



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



**ESTUDIOS AVANZADOS PARA PROYECTO DE
REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA
EDAR DE PINEDO EN LA FOIA DE BUNYOL CON
IMPULSIÓN MEDIANTE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.**

29 de noviembre de 2018

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente lleva desarrollando desde 2016 una línea de investigación sobre reutilización de aguas residuales urbanas y, más concretamente, un análisis de las posibilidades de reutilización del agua depurada con tratamiento terciario en Pinedo II.

Aparte de los estudios generales de tipo científico, se comenzó en 2016 por concebir un estudio previo para cubrir el déficit de la cuenca del Magro medio y bajo. En este estudio se diseñó una conducción que partía del final de la actual impulsión de Pinedo a Benifaió y elevaba las aguas del canal Júcar-Turia y allí, sin mezclarse con el agua de dicho canal, se dividía en dos ramales para complementar los riegos del citado canal en sus sectores comprendidos entre el Magro y Picassent. Desde su extremo norte se diseñaba una elevación a una balsa en Venta Cabrera, desde la cual se reabastecerían los riegos del Magro medio en la Vall d'Alcalans y desde el conducto del Magro se sustituirían los riegos del Marquesat.

Se vio, por un lado, que la zona deficitaria del Magro no sólo abarcaba su cuenca media, sino que también afectaba seriamente a los riegos de Godelleta y Cheste en el acuífero de Buñol-Cheste.

Por otra parte, los riegos del Marquesat, por su pequeña extensión y distancia a Pinedo, podrían beneficiarse de una permuta de aguas con el canal Júcar-Turia.

Por ello, se decidió reestudiar el esquema de reutilización, ampliando su ámbito en las zonas de la cuenca de la Rambla del Poyo situadas sobre las zonas más deficitarias del acuífero de Buñol-Cheste, y segregando el Marquesat para un esquema de permuta.

La infraestructura diseñada en 2017 constaba de un conducto de derivación desde Silla, directo a los sectores X y 4 de Picassent y desde allí una elevación a la balsa de Venta Cabrera. De dicha balsa partía una conducción que alimentaba los riegos de Godelleta, Turís y la Vall d'Alcalans y que concluía en una nueva balsa, de Charco Bartolo, de la que partía la conducción que alimentaba a los riegos de Cheste y Chiva.

Este esquema introducía dos grandes balsas de riego, necesarias para guardar el agua de invierno hasta su uso en verano, ya que los recursos de Pinedo se hallan en gran parte comprometidos en verano para el riego del arrozal de la Acequia del Oro.

Concluido el estudio se constataron diversos aspectos del mismo que precisaban un mayor estudio.

En primer lugar, se vio la conveniencia, por razón de su costo, de aprovechar la totalidad de la conducción a Benifaió ya que, como se verá, la derivación en

Silla no producía un ahorro sustancial en el costo de explotación. En tal caso, se propone una modificación estructural del arranque de la obra, que además, reincorpora 1.250 ha. correspondientes a los sectores de Benifaió del canal Júcar-Turía.

Por otra parte, al introducirse las balsas de Venta Cabrera y Charco Bartolo, es necesario analizar con mayor detalle su viabilidad desde el punto de vista constructivo y de riesgo.

Por último, analizado el esquema de gestión del sistema, es necesario evaluar los condicionantes e impactos en la calidad de las aguas regeneradas que provoca su permanencia durante unos meses en las balsas.

Estos tres aspectos son los que han sido desarrollados durante 2018 por tres grupos de investigación del IIAMA.

2. DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN ALTERNATIVA A LA CONEXIÓN CON LA CONDUCCIÓN PINEDO-BENIFAIÓ

Concluido el diseño del esquema de bombeos para la reutilización en la Foia de Buñol y el Marquesat en marzo de 2018, y realizado un análisis económico complementario, se pudo constatar el bajo porcentaje del costo de explotación que correspondía al bombeo B1 desde Silla, hasta los sectores X y 4 de Picassent, así como el pequeño ahorro que supondría derivar el agua para su impulsión desde el conducto actualmente construido hasta el bombeo de Silla, es decir el conducto A1.

Por contra, el costo del conducto A1 era importante, puesto que debía de cruzar mediante hincas la autovía A- 68 y las líneas férreas conectadas de Valencia-Xàtiva y Silla-Gandía y el AVE Valencia-Alicante. Además, su trazado precisaba de unas obras de conexión con el conducto actual para alojar las válvulas, que precisaba una línea eléctrica y que se debe situar en el Parque Natural de la Albufera. Esto implica una tramitación ambiental que podía alargar mucho en el tiempo el desarrollo del proyecto.

Por esta razón, se estimó conveniente redactar un estudio complementario sin alterar el conducto actualmente construido, tomando el agua a partir de su final actual en Benifaió.

Una ventaja adicional consiste en que, de este modo, se pueden incorporar al esquema de reutilización los sectores IX y San Rafael del canal Júcar-Turia, lo que redundaría en un mayor potencial de utilización del agua regenerada y, por tanto, un menor coste del agua. Este esquema añade 1.251 ha. beneficiadas por la reutilización.

2.1 Infraestructuras modificadas

En esencia, se suprime el conducto A1 con su cámara de derivación y se sustituye el conducto A2 por un conducto A2-A, reubicando su depósito de toma DP-1 al final de la conducción actualmente existente. Este depósito no cambiaría de características. Sí cambiaría el bombeo B-1, que sería sustituido por un bombeo B1-A, ligeramente mayor.

El trazado del conducto A2-A se dirige desde el final actual del conducto Pinedo-Benifaió hacia el canal Júcar-Turia, en el punto de toma del Motor de San Rafael y el sector IX, alimentando dichos sectores en sus balsas de cabecera mediante derivación, y continuaría siguiendo el camino de derivado del canal, hasta romper carga en la balsa DP-2 que no se modifica.

La figura adjunta nos muestra el trazado de esta solución.

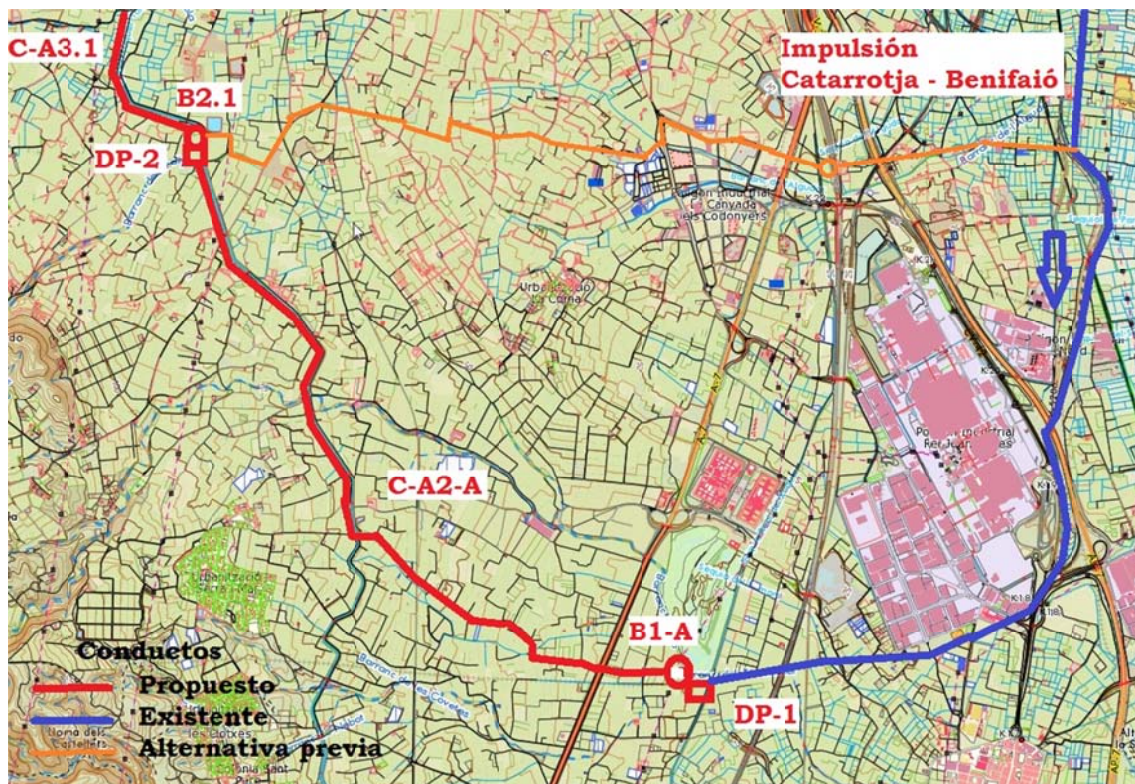


Figura N° 1. Trazado alternativo propuesto.

2.2 Modificación de los volúmenes reutilizados

La alternativa propuesta no modifica la estrategia de uso del agua de Pinedo. Únicamente incrementa la extensión de regadíos beneficiados en el canal Júcar-Turia. Como quiera que en la estación de riegos estival ya se alcanzaba el consumo máximo, el incremento de uso se produce en los riegos fuera de estación.

Las hectáreas de riego beneficiadas en el canal Júcar-Turia pasan a ser 6.530 ha. Estos sectores son iguales en su mosaico de cultivos a los previamente considerados, por lo que no se modifica la curva de demanda unitaria considerada. La demanda total pasa a ser de 46,66 hm³/año.

La nueva curva de demanda se presenta en la tabla adjunta.

Mes	Demanda	Demanda (Hm ³)
-----	---------	----------------------------

	(m ³ /ha)	
Enero	201	1,32
Febrero	396	2,28
Marzo	604	3,97
Abril	580	3,80
Mayo	799	5,25
Junio	966	11,31
Julio	1.053	6,91
Agosto	892	5,86
Septiembre	557	3,66
Octubre	259	1,70
Noviembre	46	0,30
Diciembre	46	0,30
	6.395	46,66

Tabla n° 1. Curva de demanda de los riegos del canal Júcar-Turia. Sectores 4, IX, X y San Rafael (hm³/mes).

Como no se altera el consumo previsto en punta, no se modifica la capacidad de impulsión ni la disponibilidad mensual. La mayor superficie beneficiada, sí redonda en un mayor uso fuera de la estación de riegos, de octubre a abril. Los volúmenes reutilizados se muestran en la siguiente tabla.

Mes	Disponibilidad	Demanda	Capacidad de impulsión	Volumen reutilizado canal Júcar-Turia
Enero	2,48	1,06	2,57	1,32
Febrero	2,48	1,83	2,57	2,28
Marzo	2,48	3,19	2,57	2,48
Abril	2,48	3,06	2,57	2,48
Mayo	0,48	4,22	2,57	0,48
Junio	0,48	5,10	2,57	0,48
Julio	0,48	5,56	2,57	0,48
Agosto	0,48	9,71	2,57	0,48
Septiembre	2,48	2,99	2,57	2,48
Octubre	2,48	1,37	1,57	1,70
Noviembre	2,48	0,24	1,57	0,30
Diciembre	2,48	0,24	1,57	0,30
Total				14,86 Hm³

Tabla n° 2. Recursos reutilizables en el canal Júcar-Turia. Sectores X y 4 (hm³/mes). Situación con los bombeos conectados a la red eléctrica.

Por tanto, el volumen reutilizado por el canal Júcar-Turia pasa a ser de 14,86 hm³/año, produciéndose un incremento de 1,16 hm³/año.

Al igual que en el esquema básico, es necesario que esta estación de bombeo esté conectada a la red eléctrica.

2.3 Características de la infraestructura alternativa proyectada

Las infraestructuras modificadas son la conducción C-A2-A y el bombeo B1-A. El nuevo tramo C-A2-A toma de la balsa D1 que se ha reubicado, a la cota 23,79 y la eleva hasta el canal Júcar-Turía, donde derivan sin romper carga los caudales destinados a los sectores IX y San Rafael. Este primer tramo tiene una longitud de 3.261 m. La conducción continua por el cambio de servicio del canal Júcar-Turía hasta la toma de los sectores X y 4. Este segundo tramo tiene una longitud de 3.361 m.

La longitud total del conducto es, por lo tanto, de 6.622 m., es decir, 1.190 m. más largo que el anterior. Sin embargo, hay que recordar la supresión del conducto A2.

El nuevo conducto se diseña para el caudal máximo del conducto ya existente y con la misma sección, es decir, un caudal de 1,5 m³/s y sección de diámetro Ø 1.200 mm. Se propone un conducto de PRFV con timbraje PN20 y rigidez SN2500.

El depósito DP-1 es idéntico al anteriormente propuesto, pero se reubica. Su capacidad 44.000 m³ no se altera.

La estación de bombeo B1-A se ubica en Benifaió, contigua a la Acequia Real del Júcar, poco antes de la galería que discurre bajo los cerros de Espioca. Debe ser capaz para un caudal de 1,5 m³/s. La altura geométrica es de 47 m. y la altura manométrica de 53,34 m. La potencia necesaria es de 785,7 Kw.

En estas condiciones se proponen 8 bombas con capacidad para 187,5 l/s cada una, con una carga de 60 m., más 2 bombas de reserva en rotación. Asumiendo un rendimiento $\eta = 0,8$, la potencia instalada total será de 1.228 Kw.

2.4 Modificación de los costes

El trazado alternativo supone un mayor coste de ejecución material, siendo idénticas la dificultad de los terrenos, la sección tipo y los cruces de infraestructuras.

Aplicando los mismos costes unitarios, la nueva conducción tiene un coste de ejecución, IVA incluido, de 5,62 M€. Las expropiaciones son apenas diferentes, ya que la mitad de su trazado discurre por el camino de servicio del canal Júcar-Turía.

El costo del bombeo B1 se incrementa en razón de la mayor potencia instalada, por las mayores pérdidas de carga. El coste de ejecución, IVA incluido, pasa a ser de 1,84 M€.

La tabla adjunta nos muestra el nuevo coste de las infraestructuras propuestas.

CONDUCTOS	Ejecución material	Ejecución por contrata	Presupuesto total con IVA	FASE
A2-A	3,91	4,65	5,62	1
A-3.1	2,05	2,44	2,95	2
A-3.2	0,87	1,03	1,25	2
D-1	2,10	2,50	3,03	2
D-2	3,34	3,97	4,81	2
D-3	0,78	0,93	1,12	2
D-4	0,82	0,98	1,18	2
D-5	1,28	1,52	1,89	2
	15,15	18,02	21,85	

BALSAS	Ejecución material	Ejecución por contrata	Presupuesto total con IVA	FASE
B1 Venta Cabrera	3,90	4,64	5,62	2
B2 Charco Bartolo	3,18	3,78	4,58	2
	7,08	8,42	10,20	

DEPÓSITOS	Ejecución material	Ejecución por contrata	Presupuesto total con IVA	FASE
DP1	0,44	0,52	0,63	1
DP2	0,20	0,24	0,29	1
DP3	0,20	0,24	0,29	2
DP4	0,32	0,38	0,46	2
	1,16	1,38	1,67	

BOMBEOS	Ejecución material	Ejecución por contrata	Presupuesto total con IVA	FASE
B1-A	1,27	1,51	1,84	1
B2.A	0,50	0,60	0,72	2
B2.B	0,32	0,38	0,46	2
B3	0,40	0,48	0,58	2
B4	0,30	0,36	0,43	2
	2,79	3,33	4,03	

TOTAL	26,14	31,15	37,70	
--------------	--------------	--------------	--------------	--

Tabla nº 3. Costes de ejecución de las obras (M€)

La tabla adjunta muestra las alteraciones producidas en el coste de las infraestructuras.

Infraestructura	Ejecución Material	Ejecución por contrata	Presupuesto Total con IVA
Conducto alternativo A2-A	3,905	4,65	5,62
A descontar conductos A1 y A2	-5,22	-6,21	-7,52
Bombeo alternativo B1-A	1,27	1,51	1,84
A descontar bombeo B1	-0,94	-1,07	-1,30
Alteración del coste total	-0,985	-1,12	-1,36

Tabla nº 4. Variación en el coste de ejecución de las obras (M€).

Así pues, hay una reducción de 1,36 M€ en el coste final de ejecución, que pasa a ser de 37,7 M€, es decir, una reducción del 3,5%.

A estos costes hay que añadir el coste de las expropiaciones. El cambio sin embargo resulta irrelevante respecto de la propuesta previa.

El cambio propuesto se refleja exclusivamente en el costo de la primera fase. Si se desglosa por fases el plan modificado se tiene el resultado que se refleja en la tabla adjunta.

FASE I	C. Material	C.L.	C.L. + IVA	Expropiaciones	Coste Total
Conductos	3,91	4,65	5,62	0,03	5,65
Depósitos	0,64	0,76	0,92	0,06	0,98
Bombes	1,27	1,51	1,84	0,01	1,85
	5,82	6,92	8,38	0,10	8,48

FASE II	C. Material	C.L.	C.L. + IVA	Expropiaciones	Coste Total
Conductos	11,21	13,37	16,18	0,09	16,27
Balsas	7,08	8,42	10,20	1,00	11,26
Depósitos	0,52	0,62	0,75	0,02	0,77
Bombes	1,52	1,82	2,19	0,02	2,21
	20,36	24,23	29,32	1,19	30,51

TOTAL	26,14	31,15	37,70	1,29	38,99
--------------	--------------	--------------	--------------	-------------	--------------

Tabla nº 5 Resumen de costes y distribución en fases (M€)

La primera fase totaliza una inversión de 8,48 millones de euros, y la segunda 30,51 millones de euros. Por la cota de los regadíos beneficiarios es evidente que la primera fase es mucho más rentable, sin embargo, es la segunda fase la que tiene mayor necesidad y carece de fuentes alternativas.

2.5 Amortización de las infraestructuras y coste del agua

Por último, se ha analizado el coste del agua reutilizada en las dos zonas receptoras.

En primer lugar, se determina el coste de amortización de las infraestructuras. Para ello se ha considerado una tasa de descuento del 4%. El periodo de amortización considerado ha sido de 20 años para las conducciones y depósitos, de 10 años para los bombeos y de 50 años para las grandes balsas. Las expropiaciones se amortizan a perpetuidad.

El cálculo se ha realizado sobre el costo de ejecución por contrata, excluidos impuestos.

Las amortizaciones se han desglosado por fases y se presentan en la tabla adjunta.

FASE I	INVERSIÓN	X	ANUALIDAD
Conductos	5,62	0,0736	413.632
Depósitos	0,92	0,0736	67.712
Bombeos	1,84	0,1233	226.872
Expropiaciones	0,10	0,0400	4.000
			708.216

FASE II	INVERSIÓN	X	ANUALIDAD
Conductos	16,18	0,0736	1.190.848
Balsas	10,20	0,0466	475.320
Depósitos	0,75	0,0736	55.200
Bombeos	2,19	0,1233	270.027
Expropiaciones	1,29	0,0400	47.600
			2.038.995

Tabla nº 6 Amortización de las infraestructuras

Si consideramos que los regantes del canal Júcar-Turía sólo utilizan la primera fase, mientras que los de la Foia de Bunyol utilizan ambas, la repercusión de las infraestructuras en el coste del agua de la fase I es de:

$$C_1 = \frac{708.216}{30.700.000} = 0,023\text{€/m}^3$$

y el costo para la fase II:

$$C_2 = \frac{2.038.995}{15.840.000} = 0,129\text{€/m}^3$$

El costo que deben abonar los regantes de la Foia de Bunyol por la amortización de las infraestructuras es de:

$$C_B = 0,152\text{€/m}^3$$

En este coste no se ha incluido la amortización del conducto desde Catarroja a Benifaió ya construido. Si se incluye la amortización de dicho conducto hay que incrementar estos precios.

El coste de construcción del conducto Cararroja – Benifaió, ha sido de 22.500.000 €. Por tanto, la amortización en 20 años será de 1.656.000 €. Por lo tanto,

$$C_3 = \frac{1.656.000}{30.700.000} = 0,054\text{€/m}^3$$

Esta cantidad corresponde abonarla a todos los usuarios. Por tanto el costo del bombeo para la Foia de Bunyol pasará a ser de 0,206 €/m³ y para los sectores del Canal Júcar – Turia de 0,077 €/m³

Igualmente, hay que añadir el coste de explotación y mantenimiento incluido sobre todo el costo energético que es la componente más importante.

2.6 Evaluación energética

El estudio incluye 4 impulsiones, con una de ellas dividida en dos subtramos (Canal Júcar Turia a la balsa de Venta Cabrera 1 y 2), además de la utilización de la actual estación de bombeo situada en el puerto de Catarroja. La elevación geométrica total es de aproximadamente 300 m con una impulsión necesaria de 353 m. En base a la altura necesaria, el máximo caudal previsto, y teniendo en cuenta una eficiencia global de las bombas del 0.85, la potencia necesaria pasa a ser de 3,157 kW (incluyendo la estación existente del Puerto de Catarroja), correspondiendo 2,516 kW a potencia nueva necesaria.

Bombeo	Tramo	H geométrica (m)	Perdidas (m)	H total (m)	Q (m ³ /s)	Potencia (kW)
B0	Catarroja => ARJ	22	15	37	1.5	641
B1	ARJ => CJT	53	7	60	1.5	1,039
B21	CJT => B. Cabrera 01	70	6	76	0.5	439
B22	CJT => B. Cabrera 02	60	4	64	0.5	369
B3	B Cabrera. => punto rotura	58	10	68	0.5	392
B4	B. Charco => Cheste	38	10	48	0.5	277
	Total	301		353		3,157

Tabla nº 7. Características de las impulsiones

La determinación del coste energético se ha realizado teniendo en cuenta el volumen de agua elevado (para las impulsiones B0 y B1: caudal determinado de suministro al Canal Júcar-Turía y el destinado para el resto de impulsiones, caudal constante de 0.5 m³/s), y el coste medio de la energía en España para los consumidores industriales con un consumo anual medio entre 0.5 GWh y 2 GWh al año. El coste medio de la energía para este tipo de consumidores según el informe de la Comisión Europea, del primer trimestre de 2017, es de 120 €/MWh.

Con estas hipótesis, el coste energético de elevar el agua desde el puerto de Catarroja hasta el Canal Júcar Turía es de 3.2 cts€/m³, con un coste energético anual de 1.2 Millones de euros. El coste medio final de elevar el agua hasta Cheste se sitúa en 13.0 cts€/m³.

Bombeo	Tramo	Volumen (hm ³ /año)	Energía GWh-año	Coste energético €-año	Coste medio cts€/m ³	Acumul. €-año	Acumul. cts€/m ³
B0	Catarroja => ARJ	31.1	3.69	442,681	1.42	442,681	1.42
B1	ARJ => CJT	31.1	4.39	526,432	1.69	969,113	3.12
B21	CJT => B. Cabrera 01	15.8	3.86	463,124	2.92	1,432,237	6.04
B22	CJT => B. Cabrera 02	15.8	3.25	389,999	2.46	1,822,236	8.50
B3	B Cabrera. => punto rotura	15.8	3.45	414,374	2.62	2,236,611	11.12
B4	B. Charco => Cheste	15.8	2.44	292,500	1.85	2,529,110	12.96
	Total		21.08	2,529,110	12.96		

Tabla nº 8. Coste energético de las impulsiones.

El diseño de las instalaciones de energía fotovoltaica para cada impulsión se ha realizado con el objetivo de maximizar el autoabastecimiento de energía reduciendo al mínimo el vertido de energía a la red (situación cuando la producción supera la demanda). El elemento básico de la instalación fotovoltaica es el módulo solar, para el cual se han seleccionado unas características similares a las que existen en el mercado, potencia nominal de

335 W en condiciones estándar (STC) y 250 W en condiciones de operación normal (NOCT) y una eficiencia global del 17%.

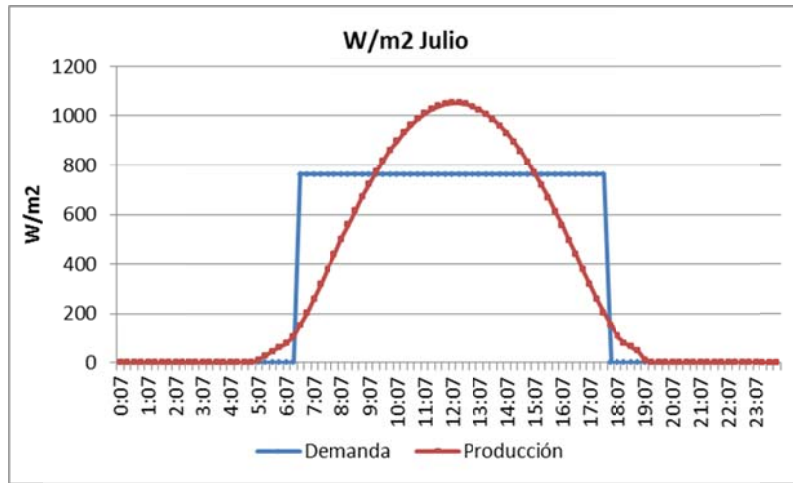


Figura nº 2. Curva de demanda y producción de energía (kW) para la el mes de julio en la impulsión desde la acequia Real del Júcar al Canal Jñucar Turia.

En el caso del bombeo desde la Acequia Real del Júcar hasta el Canal Júcar Turia, la potencia requerida del bombeo es del 1,039 kW, proponiéndose la instalación de un sistema fotovoltaico formado por 5480 módulos solares que abastecería mediante autoconsumo (2.31 GWh) el 39% de las necesidades totales de energía (5.98 GWh-año). Esta instalación formada por paneles inclinados a 36° (Ratio occupation terrain ROT=2) ocuparía una superficie total correspondiente a un cuadrado de 146 m de lado. Este cálculo se ha realizado considerando una superficie del módulo de 1.94 m².

Bomb .	Tramo	Pot. Deman . kW	Nº modulos	Lad o m	Pot. PV kW	Demana . MWh	Autocon . MWh	Compr a MWh	Vent a MWh
B0	Catarroja => ARJ	641	3340	114	835	3,689	1,414	2,275	21
B1	ARJ => CJT	1,039	5480	146	1370	5,982	2,314	3,668	40
B21	CJT => B. Cabrera 01	439	2860	105	715	3,913	1,322	2,591	106
B22	CJT => B. Cabrera 02	369	2380	96	595	3,295	1,106	2,189	82
B3	B Cabrera. => punto rotura	392	2400	97	600	3,501	1,143	2,358	58
B4	B. Charco => Cheste	277	1600	79	400	2,471	779	1,693	23
	Total	3,157	18,060		4,515	22,852	8,077	14,775	330

Tabla nº 9. Dimensionado de las instalaciones fotovoltaicas.

La inversión necesaria de las instalaciones fotovoltaicas propuestas es de 5 millones de euros. Esta inversión se ha obtenido teniendo en cuenta los actuales precios de los módulos fotovoltaicos en el mercado y los costes de instalación, considerando un coste total por vatio instalado de 0.8€/W. Para la evaluación económica se ha considerado una tasa de descuento del 4% y una pérdida de eficiencia de los módulos solares del 0.5% por año. También se han

considerado unos costes anuales de mantenimiento y limpieza del 2% de la inversión. Los resultados obtenidos muestran que la inversión se recupera (Payback) entre 5 y 6 años, teniendo una tasa interna de retorno (TIR) entre el 17%-19%, por lo que se considera que todas las inversiones son viables.

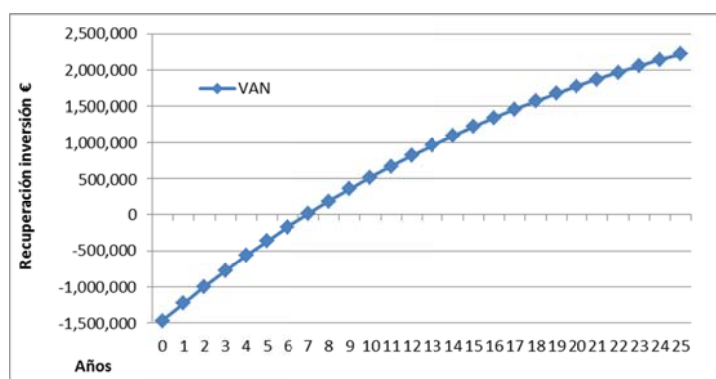


Figura nº E2. Valor actualizado neto y recuperación de la inversión, 6 años, en la impulsión de la Acequia Real del Júcar al Canal Júcar Turia .

En el bombeo del puerto de Catarroja y de la Acequia Real del Júcar se obtiene una reducción en el coste energético del 40%, pasando de un coste energético hasta el Canal Júcar Turia de 3.7 cts€/m³ a 2.3 cts€/m³, siendo el coste de amortización de las instalaciones fotovoltaicas de 0.48 cts€/m³. La reducción global en los costes por metro cubico de elevar el agua incluyendo la amortización de las instalaciones fotovoltaicas alcanza el 25%.

Bomb.	Tramo	Inversión	Payback años	TIR	Inicial Cts€/m ³	Coste energ cts€/m ³	Amortiza cts€/m ²	Total cts€/m ³	Reducción coste energético
B0	Catarroja => ARJ	895,120	6	16.1 %	1.42	0.88	0.18	1.06	38%
B1	ARJ => CJT	1,468,640	6	16.1 %	2.31	1.42	0.30	1.72	39%
B21	CJT => B. Cabrera 01	766,480	6	18.3 %	2.92	1.96	0.31	2.27	33%
B22	CJT => B. Cabrera 02	637,840	6	18.4 %	2.46	1.66	0.26	1.92	33%
B3	B Cabrera. => punto rotura	643,200	5	18.8 %	2.62	1.79	0.26	2.05	32%
B4	B. Charco => Cheste	428,800	5	19.2 %	1.85	1.28	0.17	1.46	31%
	Total	4,840,080			13.58	8.98	1.49	10.47	34%

Tabla nº 10. Costes energéticos medios de la instalación.

La estimación de la inversión necesaria no incluye los costes de ocupación ni de expropiación de terrenos correspondiente a los módulos fotovoltaicos. Por otra parte, también existe la posibilidad de disponer los paneles fotovoltaicos flotando dentro de las balsas, experiencias que ya han sido realizadas ampliamente en otros lugares.

3. CONSIDERACIONES GENERALES A LA UBICACIÓN Y DISEÑO DE LAS BALSAS PARA RIEGO

Se han proyectado dos embalses de regulación:

- La balsa de Venta Cabrera se diseña con una vaguada dominando la divisoria de aguas con el Magro, en término municipal de Montserrat. Esta balsa se sitúa en la cola de la impulsión que lleva las aguas en tres tramos hasta la divisoria de aguas con el Magro.
- La balsa de Charco Bartolo se sitúa contigua a la carretera CV-417, en término municipal de Chiva.

Las características de las balsas, según el informe realizado en 2017, son las siguientes:

<i>Balsa</i>	<i>T.M.</i>	<i>Capacidad</i>	<i>Cota de coronación</i>	<i>Cota de fondo</i>	<i>Longitud de coronación</i>	<i>Altura</i>
<i>Venta Cabrera</i>	<i>Montserrat</i>	<i>2.53</i>	<i>200</i>	<i>182.50</i>	<i>717</i>	<i>17.5</i>
<i>Charco Bartolo</i>	<i>Chiva</i>	<i>2.28</i>	<i>203</i>	<i>185</i>	<i>697</i>	<i>18</i>

Tabla N° 11. Características de los embalses

3.1 Ubicación de las balsas de regulación

Balsa de Venta Cabrera

La ubicación de la balsa de Venta Cabrera corresponde a una vaguada dominando la divisoria de aguas con el Magro, en el término municipal de Montserrat. La capacidad de la balsa es de 2,53 Hm³ y se halla entre las cotas 182,5 y 200, es decir, una altura de 17,5 m.



Figura N° 3a. Balsa de Venta Cabrera.



Figura N° 3b. Fotografías tomadas en la zona de la cerrada.

Balsa de Charco Bartolo

La balsa de Charco Bartolo se sitúa contigua a la carretera CV-417, en término municipal de Chiva. La capacidad de la balsa es de 2,28 Hm³ y se halla entre las cotas 185 y 203, es decir, con una altura de 18 m. El dique de cierre tiene una longitud de 697 m, según la traza establecida en el informe de 2017.

Si bien en el informe preliminar se planteó la ubicación de la balsa según se indica en la Figura 2, se contempla la posibilidad de plantear la traza de la presa coincidente, en la medida de lo posible, con el tramo de la carretera CV-417 a su paso por la zona de actuación.

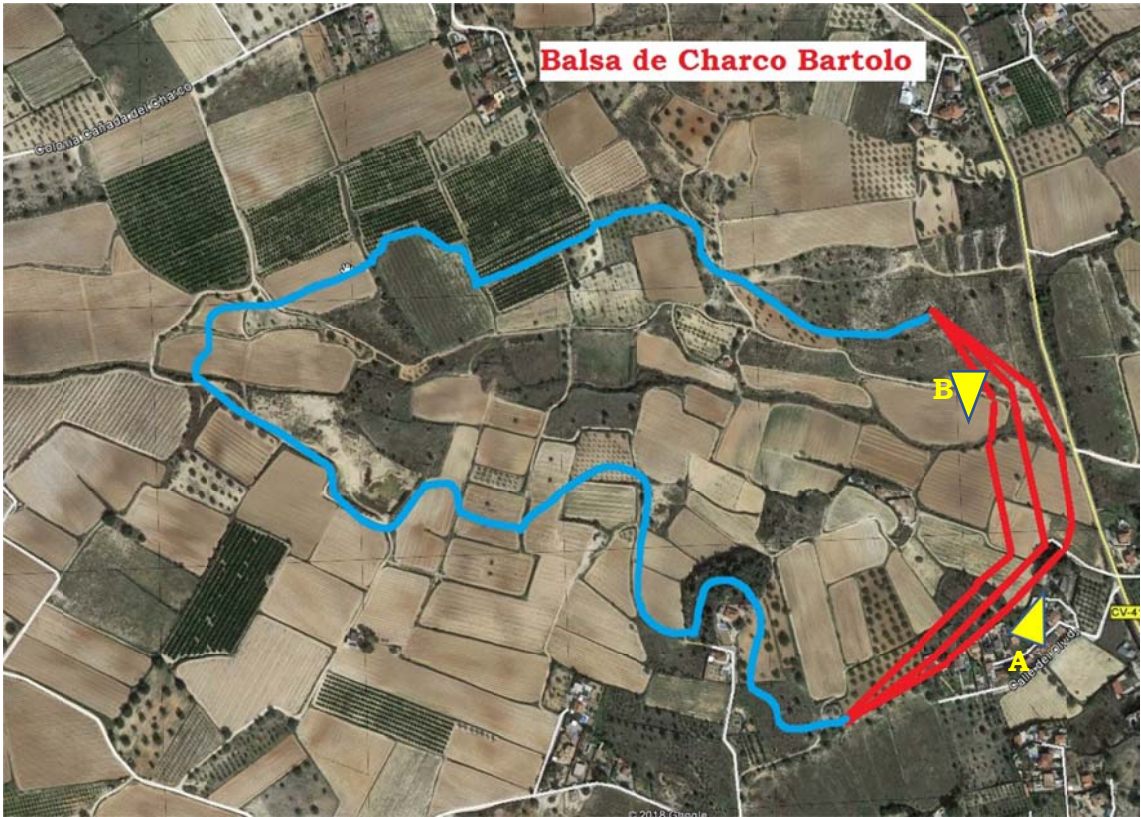


Figura N° 4a. Balsa de Charco Bartolo.



Figura N° 4b. Balsa de Charco Bartolo.



Figura N° 5a. Vista de la zona de la cerrada: (izda.) Tomada desde A, (dcha.) Tomada desde B. (abajo) Tramo de la carretera CV-417.



Figura N° 5b. Vista de la zona de la cerrada hacia aguas arriba desde margen derecha.

Esto presentaría dos ventajas:

- Permitiría adecuar el desvío del barranco en fase de construcción y disponer en margen izquierda los órganos de desagüe necesarios, coincidiendo con la traza actual del cauce.
- Permitiría el paso de la carretera CV-417 por coronación de la presa, en lugar de permanecer justo aguas abajo de la presa.

>>> Se recomienda por tanto analizar la posibilidad de ejecutar el cuerpo de presa con una traza en planta coincidente con la carretera CV-417, que pasaría por coronación una vez construida la balsa.

3.2 Idoneidad de la cerrada

No se dispone de información de calicatas o sondeos de la zona de la cerrada.

No obstante, se considera que la permeabilidad de material del vaso del embalse es potencialmente compatible con el uso al que se destinará. En caso de presentar una permeabilidad superior a la esperada se considera la posible recarga del acuífero como un beneficio para el sistema de recursos hídricos.

>>> Se recomienda confirmar la permeabilidad del material de la cerrada a fin de caracterizar y estimar las posibles filtraciones a través del vaso y su compatibilidad con la función de almacenamiento de las balsas.

3.3 Tipología

Dada las características de ambas cerradas y de las balsas a proyectar, se considera la tipología de presa de materiales sueltos.

No obstante, la selección final del subtipo de presa, ya sea homogénea, con pantalla o con núcleo, estará supeditada a la información obtenida en los estudios previos a elaborar en fase de proyecto, especialmente en función de las características del material disponible para conformar el cuerpo de presa.

Según recoge el Tomo 2 de la Guía Técnica N°2 de SPANCOLD, con título “Criterios para proyectos de presas y obras anejas – Presas de Materiales Suelos”:

- Las presas homogéneas son la solución más frecuente para presas de altura moderada, aunque con una cierta selección de los materiales, y suelen presentar una suma de taludes de 4.5 a 6.
- Las presas de núcleo son más adecuadas cuando la altura es mayor y el cimientamiento permite taludes más escarpados.
- Las presas de pantalla se emplean generalmente para presas de altura superior a la prevista.

Como conclusión preliminar, se consideran ambas balsas como presas de tipo homogéneo.

3.4 Predimensionamiento

La geología del vaso y cerrada, la topografía de ésta, la caracterización geotécnica de ambos, las propiedades de los materiales existentes en las inmediaciones, las condiciones de carga a satisfacer, y los criterios de seguridad a cumplir son las bases fundamentales de todo proyecto de presa de materiales sueltos (SPANCOLD, GT2). A partir de ellas se debe poder definir una sección tipo preliminar de la presa.

A continuación, se incluye una propuesta preliminar de sección tipo transversal para ambas balsas, a falta de su definición en detalle en fase de proyecto tras las comprobaciones pertinentes respecto a la geotecnia y materiales de la zona.

Cuando la presa se apoya sobre cimientos poco resistentes, es posible que sea la resistencia del propio cimiento la que condicione la inclinación máxima que puede darse a los taludes externos.

Según las recomendaciones del manual *Design of Small Dams (USBR, 1987)*, los taludes recomendados para presas de materiales sueltos en cimentaciones estables se sitúan en los siguientes rangos en función del material (según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos o clasificación de Casagrande):

<i>Tipo</i>	<i>Desembalse rápido</i>	<i>Clasificación del suelo</i>	<i>Aguas arriba</i>	<i>Aguas abajo</i>
Homogénea	No	GW, GP,SW,SP	Permeable No aplica	Permeable No aplica
		GC,GM,SC,SM	2.5:1	2:1
		CL,ML	3:1	2.5:1
		CH,MH	3.5:1	2.5:1

Tabla N° 12. Taludes recomendados para presas de materiales sueltos.

A continuación, se muestra la sección tipo propuesta para ambas balsas (Figura 3). A falta de la definición en detalle y ajuste definitivo en fase de proyecto en función de las características finales del material disponible que conformará el cuerpo de presa, se considera como dimensionamiento preliminar:

- *Cuerpo de presa:* Presa homogénea, con material de una cierta calidad mínima y baja permeabilidad, con talud externo 3:1 aguas arriba y 2.5:1 aguas abajo (que podría reducirse en función del material empleado).
- *Protección de paramentos:* capa de material de escollera de protección en ambos paramentos.
- *Dren horizontal:* en la base del espaldón de aguas abajo, cuyo objetivo es filtrar y drenar las aguas que puedan atravesar el cimiento. Además este dren sirve de filtro del material del cuerpo de presa. El espesor mínimo debe ser de 50 cm y su longitud debe cubrir la mayor parte de la proyección en planta del paramento aguas abajo, sin favorecer la

creación de conexiones entre el paramento de aguas arriba y el inicio del dren.

- *Filtro*: capa de material seleccionado que actúe como filtro y envolvente del material dispuesto en el dren horizontal. En caso de no disponer de material con la granulometría necesaria, podría disponerse geotextil para cumplir dicha función.
- *Repié drenante aguas abajo*: material de escollera en la base para captar las filtraciones que puedan surgir, disponiéndose una cuneta de recogida de filtraciones, contando con aforador y control de la turbidez. La definición de los parámetros de diseño de la protección tipo repié (ancho de berma, talud exterior y su altura máxima desde cimentación) deberá ajustarse en función de las características finales del material del cuerpo de presa.

Este diseño preliminar deberá reevaluarse y contemplar modificaciones tales como la ejecución de una lámina impermeable aguas arriba en caso de no contar con material lo suficientemente impermeable en el cuerpo de presa.

La Guía Técnica n°2 publicada por SPANCOLD, “Criterios para proyectos de presas y sus obras anejas”, recoge en detalle recomendaciones adicionales a cumplir para la definición de la sección tipo del cuerpo de presa.

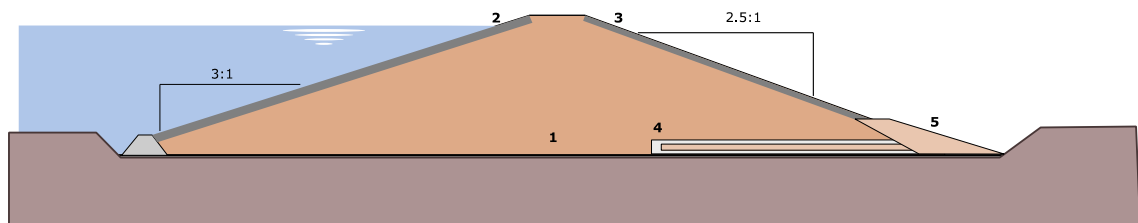


Figura N° 6. Sección tipo. Nota: (1) Material del cuerpo de presa; (2) Protección de escollera del paramento aguas arriba; (3) Protección de escollera del paramento aguas abajo; (4) Filtro-dren; (5) Repié drenante aguas abajo.

>>> Tras las consideraciones anteriores relativas al predimensionamiento, será necesario realizar los cálculos justificativos de estabilidad correspondientes al diseño definitivo de la sección tipo.

3.5 Aspectos relativos a seguridad

Introducción

La primera normativa específica de presas fue redactada en el año 1905 por una comisión del denominado Ministerio de Fomento, que elaboró la Instrucción para los Proyectos de los Pantanos (Soriano-Escuder, 2012). Posteriormente, en 1959, la rotura de la presa de Ribadelago (río Tera) ocasionó 144 víctimas mortales. Este hecho, motivó la creación de la Unidad de Vigilancia de Presas, el restablecimiento de las Comisarías de Aguas, y el inicio de los trabajos para redactar una nueva Instrucción así como la creación de una Comisión de Normas de Grandes Presas.

En 1960 el Ministerio publica de forma interna las Normas Transitorias para Grandes Presas y será dos años después, en 1962, cuando se publica la

Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas, finalmente aprobada por Orden Ministerial de 31 de Marzo de 1967.

Si bien se habían comenzado trabajos de revisión de la mencionada Instrucción, la rotura catastrófica de la Presa de Tous en 1982 puso de manifiesto la necesidad de actualización de la normativa. Así, la Dirección General de Obras Hidráulicas encargó en 1992 la redacción de una nueva normativa sobre seguridad a la Comisión de Normas para Grandes Presas, que presentó una primera propuesta en 1994.

Simultáneamente, el Consejo de Ministros de 9 de Diciembre de 1994 (BOE 14/2/1985) aprobaba la Directriz de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones que obligaba expresamente a clasificar las presas en función del **riesgo potencial** derivado de su rotura o mal funcionamiento así como a la elaboración de los correspondientes Planes de Emergencia para aquellas que resultasen clasificadas como A o B.

En marzo de 1996, se publica el definitivo **Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses**, recogiendo los trabajos de la Comisión antes citados así como las exigencias de la Directriz.

En cualquier caso, y hasta que no se desarrollen y sancionen las Normas Técnicas de Seguridad previstas en el REAL DECRETO 9/2008 de modificación del Dominio Público Hidráulico, se encuentran actualmente en vigor con mayor o menor campo de aplicación:

- La Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas (Instrucción, 1967).
- La Directriz de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (Directriz, 1985).
- El Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (Reglamento, 1996).

Normativa de aplicación

La normativa de aplicación en materia de seguridad de presas en España varía en función de la categoría de la presa (establecida en función de su “riesgo potencial”), del año en que se obtuvo la concesión, de la titularidad de la misma y de una serie de características adicionales.

En concreto, a partir de las normativas directamente relacionadas con presas y embalses, se puede deducir su propio ámbito de aplicación en función de las siguientes particularidades:

- Si son clasificadas como A, B o C en función del riesgo potencial.
- Si la fecha de entrada en explotación es anterior o posterior al 1 de Abril de 1996.
- Si la titularidad es estatal o existe concesión administrativa.
- Si su altura, longitud de coronación, capacidad de embalse, capacidad de sus órganos de desagüe o la existencia de dificultades especiales han determinado su consideración como Gran Presa.

La siguiente tabla (Soriano-Escuder, 2012) permite observar la disparidad de normativa y alcance de aplicación de la normativa para distintos casos:

Tipo de Presa	Normativa
<ul style="list-style-type: none"> • Clasificadas como C según su riesgo potencial. • Independientemente de la fecha de entrada en explotación y titularidad. • Sin dificultades especiales, que cumplan alguna de las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Altura inferior a 10 metros ➢ Altura entre 10 y 15 metros si la capacidad es inferior a 100,000 m³. 	Ninguna
<ul style="list-style-type: none"> • Clasificadas como C según su riesgo potencial. • De titularidad no estatal o con concesión anterior al uno de Abril de 1996. • Que cumplan alguna de las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Altura superior a 15 metros ➢ Altura entre 10 y 15 metros si la capacidad es superior a 100,000 m³ ➢ Altura entre 10 y 15 metros con dificultades especiales de cimentación. 	Instrucción (1967)
<ul style="list-style-type: none"> • Clasificadas como A o B según su riesgo potencial. • De titularidad no estatal o con concesión anterior al 1 de abril de 1996. • Que cumplan alguna de las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Altura superior a 15 metros ➢ Altura entre 10 y 15 metros si la capacidad es superior a 100,000 m³ ➢ Altura entre 10 y 15 metros con dificultades especiales de cimentación. 	Instrucción (1967) + Plan Emergencia
<ul style="list-style-type: none"> • Clasificadas como A o B según su riesgo potencial, o que sean Gran Presa según el Artículo 3.1 del Reglamento, es decir, que cumplan alguna de las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Altura superior a 15 metros ➢ Altura entre 10 y 15 metros con longitud de coronación superior a 500 m. ➢ Altura entre 10 y 15 metros si la capacidad es superior a 1,000,000 m³ ➢ Altura entre 10 y 15 metros con capacidad de desagüe superior a 2000 m³/s. ➢ Dificultades especiales de cimentación • De titularidad estatal o con concesión posterior al 1 de abril de 1996. 	Reglamento (1996)

Tabla N° 13. Resumen de aplicabilidad de la Normativa vigente. Fuente: Soriano-Escuder, 2012.

Por tanto, y según las características de capacidad de embalses de ambas balsas, longitud de coronación prevista y altura, es determinante considerar si las afecciones potenciales aguas abajo en caso de fallo de las presas darán lugar a su clasificación como tipo A o B, en cuyo caso, será de aplicación lo contemplado en el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.

Consideraciones en cuanto potenciales afecciones aguas abajo

Balsa de Venta Cabrera

Tras una inspección visual y el análisis preliminar de las posibles afecciones aguas abajo, a falta de los resultados de la modelación hidráulica del fallo de la balsa, se concluye que existen viviendas aguas abajo que se verían afectadas por la onda de rotura resultante de un fallo potencial, y por tanto cabe esperar que la balsa sea clasificada como A¹ en función de su riesgo potencial.

La revisión de la ortofoto y del modelo digital de terreno (MDT 5m) de la zona muestran posibles afecciones aguas abajo. La Figura 4 muestra la

¹ Presas tipo A: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.

identificación preliminar de viviendas o agrupaciones de viviendas aguas abajo de la balsa de Venta Cabrera y que podrían verse afectadas por la inundación producida por la onda de rotura en caso de fallo (para el primer tramo de aproximadamente 1.5 km-2 km).

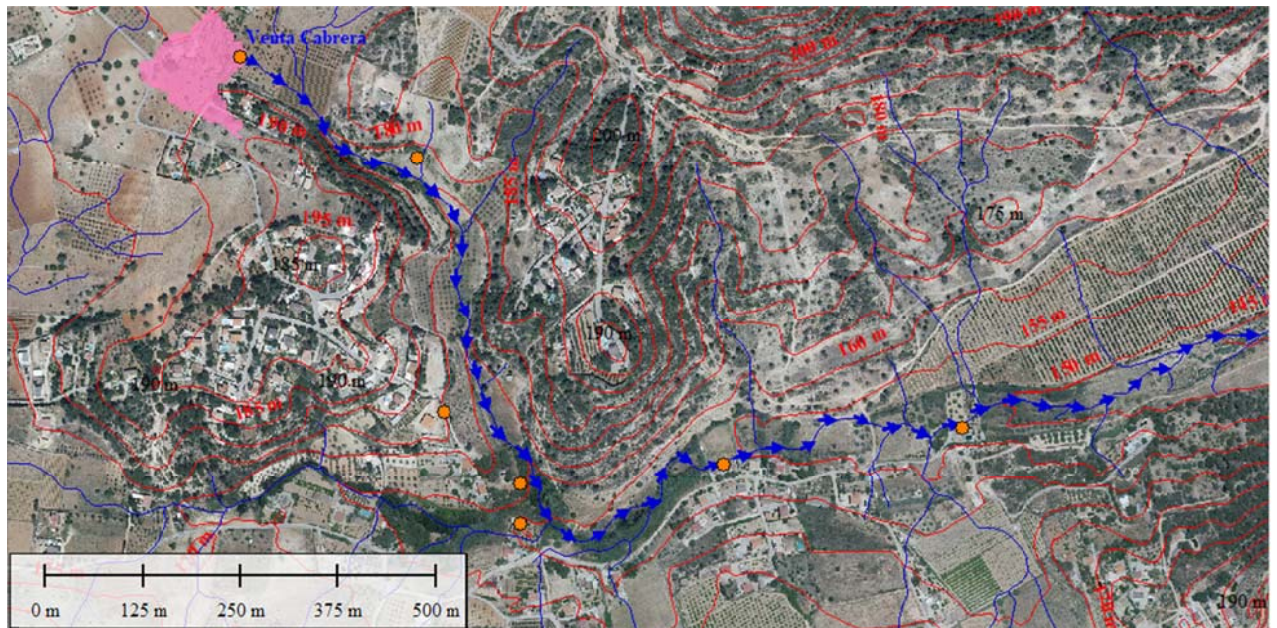


Figura N° 7. Zona aguas abajo de la balsa de Venta Cabrera.

Balsa de Charco Bartolo

Tras una inspección visual y el análisis preliminar de las posibles afecciones aguas abajo, a falta de los resultados de la modelación hidráulica del fallo de la balsa, se concluye que existen viviendas aguas abajo que se verían afectadas por la onda de rotura resultante de un fallo potencial, y por tanto cabe esperar que la balsa sea clasificada como A en función de su riesgo potencial.

La revisión de la ortofoto y del modelo digital de terreno (MDT 5m) de la zona muestran posibles afecciones aguas abajo. La Figura 5 muestra la identificación preliminar de viviendas o agrupaciones de viviendas aguas abajo de la balsa de Charco Bartolo y que podrían verse afectadas por la inundación producida por la onda de rotura en caso de fallo (para el primer tramo de

aproximadamente 1.5 km-2 (km).



Figura N° 8. Zona aguas abajo de la balsa de Charco Bartolo.

>>> Se recomienda la elaboración de un modelo hidráulico de rotura para analizar las consecuencias potenciales aguas abajo en caso de fallo de las balsas y así verificar la categoría en función de su riesgo potencial.

Consideraciones en cuanto a modos de fallo potenciales en presas de materiales sueltos
El fallo potencial en presas de materiales sueltos puede deberse a diferentes causas, entre las cuales destacan los siguientes modos de fallo, entre otros:

- **Sobrevvertido:** es el modo de fallo más frecuente en presas de materiales sueltos, correspondiendo con la erosión del cuerpo de presa por un vertido por coronación debido a una pérdida de resguardo por avenida, oleaje o sismo. En este caso, dado que son balsas de regulación, el sobrevvertido sólo podría producirse en caso de un **llenado accidental** por un fallo en el sistema de bombeo, no siendo interrumpido y dando lugar al sobrevvertido de la presa.
- **Erosión interna del cuerpo de presa y/o del cimiento:** tras el modo de fallo por sobrevvertido, es el modo de fallo más frecuente en las presas de materiales sueltos y en los cimientos de cualquier tipo de presa. Los procesos de erosión interna en los cuerpos de las presas de materiales sueltos suelen venir asociados a defectos tensionales pero también pueden deberse a la ausencia de filtros junto con la presencia de materiales no autoestables, cuyos finos pueden migrar a través de la estructura formada por las partículas más gruesas. Las precauciones que han de tomarse para combatir estos procesos son, además de los tratamientos del terreno tendentes a reducir los caudales de las posibles filtraciones y a evitar huecos, hacer disposiciones constructivas adecuadas para evitar defectos tensionales y disponer, "a priori", un buen sistema de filtros.
- **Inestabilidad de taludes de la presa:** durante la etapa de construcción o durante un desembalse rápido, que en caso de generar presiones intersticiales altas pueden dar lugar a deslizamiento del espaldón de aguas arriba.

- **Asientos excesivos:** durante la etapa de construcción, durante el llenado o la vida útil de la presa. Dichos asientos pueden estimarse conociendo el comportamiento del cimiento y evitarse con una adecuada compactación del cuerpo de presa, sin embargo deben considerarse las posibles deformaciones de carácter diferido.

>>> Se recomienda el desarrollo de una sesión de identificación de modos de fallo en fase de proyecto que permita identificar los posibles mecanismos que puedan conducir al fallo o mal funcionamiento de las balsas de regulación.

Consideraciones en cuanto a seguridad hidrológica

Dada la naturaleza de la infraestructura, deberá tenerse en cuenta el posible **llenado accidental** por fallo del sistema de bombeo.

Deben estudiarse las posibles aportaciones al embalse, aunque por la ubicación planteada, no se espera que sean de gran magnitud por encontrarse en cotas altas o fuera de cauce.

Consideraciones en cuanto a seguridad hidráulica

En fase de proyecto, deberá prestarse especial atención a los órganos de desagüe de ambas presas, así como a la respuesta hidráulica del cauce aguas abajo, considerando los usos del suelo y viviendas próximas al mismo que deben haberse estudiado en profundidad y revisarse de forma periódica para analizar las afecciones potenciales de las operaciones de desagüe que puedan preverse o la suelta incontrolada de caudales por un fallo o mal funcionamiento de las balsas.

Para el diseño de los mismos deberá tenerse en cuenta la aportación de la cuenca vertiente a cada embalse (que resultara de poca magnitud al situarse en cotas altas y/o fuera de cauce) más las aportaciones por la lluvia que se produzca sobre la superficie del embalse.

>>> A este respecto, se recomienda la elaboración de modelos digitales de elevación, incorporando cartografía actualizada sobre viviendas y usos del suelo, y la confección de modelos hidráulicos que permitan estudiar dichas afecciones.

Caracterización geológica, geotécnica y sísmica del emplazamiento

No se dispone de información procedente de sondeos o caracterización del terreno en las ubicaciones previstas para ambas balsas de regulación.

Cuando en las inmediaciones se dispone de zonas de préstamo y existe un material relativamente impermeable (con permeabilidad inferior a 10^{-5} cm/s), puede optarse por emplear dicho material para el cuerpo de presa. Es conveniente disponer de material de granulometría amplia y bien graduado.

>>> Debe caracterizarse la geotecnia del vaso del embalse y del contacto presa-cimiento en cada localización para proporcionar la información necesaria para la fase de proyecto. Por tanto, es necesario un estudio geológico-geotécnico (para caracterizar el material tanto del fondo del vaso del embalse, de la cerrada y en las laderas), para caracterizar resistencia, estabilidad e impermeabilidad del material sobre el que se

apoyará la presa. También deben caracterizarse los materiales disponibles para la ejecución del cuerpo de presa en ambas ubicaciones.

REFERENCIAS

SPANCOLD (2015): Criterios para proyectos de presas y obras anejas – Presas de Materiales Suelos, Guía Técnica de Seguridad de Presas N°2, Tomo 2, Comité Nacional Español de Grandes Presas.

USBR (1987): Design of small dams, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Third Edition, 1987.

Soriano Peña, A., Escuder Bueno, I. (2008): El comportamiento de las presas y la gestión integral de su seguridad. Revista de Obras Públicas, ISSN 0034-8619, N°. 3493, 2008, págs. 89-108.

4. CONDICIONANTES E IMPACTOS EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS

En el Convenio 2017, “Informe sobre la reutilización de aguas residuales de Pinedo en la Foia de Bunyol” (UPV, 2017), se determinó la factibilidad de aportar recursos de agua procedentes de la EDAR de Pinedo a los regadíos deficitarios de la Foia de Bunyol (regantes de Godelleta y Cheste-Chiva) para reducir las extracciones del acuífero de Bunyol-Cheste (masa 080.140) y conseguir con ello la suficiente holgura en su explotación. Se hizo un prediseño del sistema hidráulico necesario para el aprovechamiento de las aguas residuales regeneradas de Pinedo. Para ello se parte de la conducción ya construida y sin uso desde Catarroja a Benifaió. Con el fin de poder maximizar el aprovechamiento de las aguas regeneradas, incluidas las producidas fuera de la temporada de riego, es necesario dotar en cola de una regulación que se evalúa en 4,7 Hm³ (dos balsas de regulación, una en Venta Cabrera y otra en Charco Bartolo). Este sistema es capaz de aprovechar un volumen anual total de 29,5 Hm³/año, de los cuales se suministra un volumen anual de 15,8 Hm³/año a la Foia de Bunyol y 13,7 Hm³/año al Canal Júcar-Turia.

Así, la existencia en este proyecto de dos balsas de regulación conlleva analizar los posibles efectos en la calidad del almacenamiento en balsas, la adecuación de la calidad del efluente para su uso potencial para riego (fundamentalmente por parte de la legislación vigente y de los impactos sobre suelo y cultivo) y los cambios requeridos en la fertilización de cultivos.

Como marca el Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, y su guía de aplicación, se debe controlar la calidad del agua regenerada en función de su uso. El Anexo I del RD marca los valores máximos admisibles de distintos parámetros en función de los usos a los que está destinada el agua regenerada. En el caso que nos ocupa estaríamos hablando del uso agrícola. Existen algunos parámetros que siempre hay que controlar, como son los indicadores microbiológicos Nematodos intestinales y *Escherichia coli*, y los indicadores físico-químicos sólidos en suspensión y turbidez. Además dependiendo del tipo de aplicación o destino del agua regenerada, el RD de reutilización obliga a controlar otro tipo de parámetros, como *Legionella* spp. en caso de que se produzca aerosolización, o el nitrógeno y el fósforo total en el caso de recarga de acuíferos o llenado de estanques con riesgo de eutrofización. Además, en función de la autorización de vertido será necesario controlar algunos otros parámetros. No hay que olvidar que cuando se trate de sustancias peligrosas, se debe además asegurar el respeto de las Normas de Calidad Ambiental (NCAs).

Como se apunta en la Guía de aplicación del RD de Reutilización, debe estudiarse la calidad del agua en el punto de aplicación ya que sus características han podido cambiar desde el momento del suministro, especialmente si el agua se almacena. Pueden agudizarse los problemas de olores, crecimiento de las algas y fitoplancton, así como aumento de la turbidez.

El RD 1620/2007 de Reutilización, en su Artículo 5. Criterios de calidad, obliga a que las aguas regeneradas cumplan en el punto de entrega los criterios de calidad según usos establecidos en su anexo I.A. En dicho Anexo

IA se fijan los criterios de calidad del uso agrícola en función del uso y tipo de cultivos concretos. En el caso que nos ocupa, según datos proporcionados por las propias comunidades de regantes, un 60% de la zona regable está dedicada al cultivo de cítricos, un 20% al cultivo de la vid y un 20% frutales (caqui principalmente y algo de albaricoque). Por ello, consideramos la calidad 2.3. “Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana”. Además el RD 1620/2007 de Reutilización marca que para el uso agrícola el agua regenerada no debe superar otros parámetros generales. Así, en la tabla 14 se muestra los valores máximos admisibles para el agua regenerada.

Parámetro y valores máximos admisibles		
Nematodos intestinales 1 huevo/10L	Conductividad 3,0 dS/m	Relación de Adsorción de Sodio (RAS): 6 meq/L
<i>Escherichia coli</i> 10.000 UFC/100mL	Boro: 0,5 mg/L,	Cromo: 0,1 mg/L
Sólidos en suspensión 35 mg/L	Arsénico: 0,1 mg/L	Cobre: 0,2 mg/L
Turbidez no se fija límite	Berilio: 0,1 mg/L	Manganeso: 0,2 mg/L
<i>Legionella spp</i> 100 UFC/L	Cadmio: 0,01 mg/L	Molibdeno: 0,01 mg/L
Sustancias peligrosas NCAs	Cobalto: 0,05 mg/L	Níquel: 0,2 mg/L
	Selenio : 0,02 mg/L	Vanadio: 0,1 mg/L

Tabla Nº 14. Valores máximos admisibles para el agua regenerada (RD 1620/2007)

Pero además del cumplimiento o no de la legislación, se debe estudiar la calidad del agua regenerada desde el punto de vista del impacto al cultivo, fundamentalmente por el problema de salinización. Generalmente las aguas usadas para riego llevan diferentes tipos de sales, con distintos elementos que pueden provocar cambios a medio y/o largo plazo en el terreno o incluso generar reacciones tóxicas en las plantas (Fipps, 2003). El estudio de las aguas para riego suele realizarse en base a la cantidad total de sales, mediante los sólidos disueltos totales (TDS) o la conductividad eléctrica (EC), y la dureza de sodio, mediante el SAR (sodium adsorption ratio) o ESP (exchangeable sodium percentage). Rowe y Abdel-Magid (1995) marcan los límites recomendados para diferentes constituyentes del agua para riego a corto y largo plazo. Dichos elementos son: aluminio, arsénico, berilio, boro, cadmio, cromo, cobalto, cobre, flúor, hierro, plomo, litio, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, vanadio y zinc.

El agua regenerada que llega al sistema diseñado proviene de la EDAR de Pinedo I, cuyas características fisicoquímicas se recogen en el “Estudio multidisciplinar de la potencialidad de la reutilización de agua de la EDAR de Pinedo para uso agrícola” de la Universitat de València en 2016 (UV, 2016). En dicho informe se estudia además la modificación del esquema de tratamiento de Pinedo I para potenciar la reutilización agrícola de su efluente al generar un agua con alto contenido en nitrógeno y fósforo. Dado que el destino del efluente es la reutilización agrícola, también se apunta en dicho documento

que sería necesario incluir un tratamiento terciario compuesto por una etapa de filtración y desinfección ultravioleta, para eliminar sólidos en suspensión y patógenos. En la tabla 15 se muestran los parámetros del efluente actual de Pinedo I y del efluente simulado en dicho informe (UV, 2016). En tabla 16 se muestra también los datos recopilados en el informe de UV (2016) provenientes de la EPSAR.

Parámetro (mg/L) Media+sd	Efluente Pinedo I	Modificación Pinedo I
DQO total	45 ± 12	40
DQO soluble	<i>información no disponible</i>	28
DBO5 total	13 ± 3	
DBO5 soluble	<i>información no disponible</i>	
N total	37,5 ± 4,3	41,5
N total soluble	<i>información no disponible</i>	40,8
N-NO3	4,1 ± 1,2	0,1
N-NH4	28,3 ± 6,0	40,5
P total	2,9 ± 0,4	4,7
P total soluble	<i>información no disponible</i>	4,5
P-PO4	<i>información no disponible</i>	4,5
SS	20 ± 8	8
%SSV	<i>información no disponible</i>	

Tabla N° 15. Efluente actual de Pinedo I y del efluente simulado (modificado de UV, 2016)

(mg/L)	Pinedo I
Boro	0,15
Arsénico	<0,002
Cadmio	<0,040
Cromo	0,120
Cobre	<0,04
Manganeso	<0,04
Níquel	0,08
RAS (meq/L)*	2,40

Tabla N° 16. Efluente de Pinedo en 2013 (Modificado de UV, 2016)

*La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) es calculada mediante $RAS = Na / ((Ca + Mg) / 2)^{1/2}$

Así, con estos dos condicionantes (criterios para riego y calidad del agua entrante en el sistema), debemos determinar la calidad del agua que finalmente alcanzará los cultivos, tras el almacenamiento en las dos balsas.

- La balsa de Venta Cabrera (B1) se sitúa en el término de Monserrat, con una capacidad de 2,53 Hm³ y se halla entre las cotas 182,5 y 200, con una altura de 17,5 m. Posee una superficie de 22,40 Ha. Esto se consigue con un dique de cierre de 717 m de desarrollo y un volumen de 218100 m³.
- La balsa de Charco Bartolo (B2), situada en el término de Chiva, posee una capacidad de 2,28 Hm³ y se halla entre las cotas 185 y 203, con una altura de 18 m. Posee una superficie de 30,42 Ha. El dique de cierre tiene una longitud de 697 m y una cubicación de 163300 m³.

Ambas balsas se van llenando a razón de 1,32 Hm³/mes durante todo el año. En invierno, la demanda es menor que la entrada, por lo que se va acumulando en las balsas lo que no se necesita al tiempo que se consume. Así, en abril conseguimos acumular 4,77 Hm³ entre las dos balsas. En los meses de verano (mayo, junio, julio, agosto, septiembre) la demanda es mayor de lo que entra, por lo que empieza a hacerse uso de lo almacenado. En mayo y junio existe aún bastante agua almacenada para poder cubrir la demanda. Sin embargo, en julio, agosto y septiembre no existe ya agua almacenada que pueda cubrir la demanda, por lo que en estos meses el agua entra en continuo y sale según la demanda de riego.

Mes	Disponibilidad de agua regenerada (Hm ³)	Demanda (Hm ³)	Bombeo de agua reutilizada. Enviado a Foia de Bunyol (Hm ³)	Déficit a cubrir (Hm ³)	Volumen almacenado (Hm ³)
Octubre	3,8	1,07	1,32	-	0,25
Noviembre	3,8	0,32	1,32	-	1
Diciembre	3,8	0,4	1,32	-	0,92
Enero	3,8	0,23	1,32	-	1,11
Febrero	3,8	0,21	1,32	-	1,11
Marzo	3,8	1,17	1,32	-	0,15
Abril	3,8	1,09	1,32	-	0,23
Mayo	1,8	1,55	1,32	0,23	-
Junio	1,8	3,35	1,32	2,03	-
Julio	1,8	4,89	1,32	3,57	-
Agosto	1,8	4,32	1,32	3	-
Septiembre	3,8	2,47	1,32	1,15	-
	37,6	21,07	15,84	9,98	4,77

Tabla N° 17. Disponibilidad, demanda, déficit y volumen almacenado (UPV, 2017)

El agua almacenada se reparte entre las dos balsas por igual, pero toda el agua que va a la balsa B2 Charco Bartolo, debe pasar por primero por la Balsa B1 Venta Cabrera. Por tanto en la balsa de Venta Cabrera hay mayor renovación. Así, en la figura 9 puede observarse durante dos ciclos anuales los volúmenes mensuales que entran al sistema, que salen (para riego) y los que existen almacenados en las balsas (en total). Como hemos comentado anteriormente, en los meses de julio, agosto y septiembre el volumen sobrante es nulo (todo lo que entra se consume), por lo que en el mes posterior la salida es continua (todo lo que entra sale directamente)

En las figuras 10 y 11 se muestra los volúmenes de cada una de las balsas. Son cálculos aproximados, y deberían determinarse con mayor precisión en función de las necesidades de riego de cada una de las zonas. En este caso hemos supuesto que las dos zonas requieren la misma cantidad mensual de agua para riego.

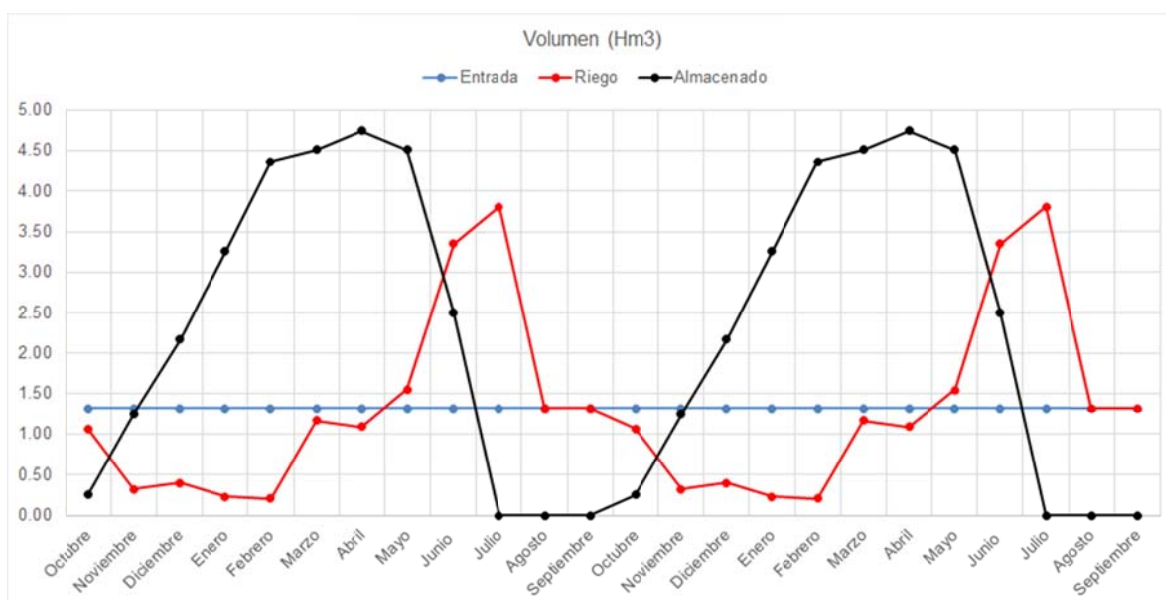


Figura N° 9. Volúmenes del sistema

El agua que sale de la balsa 1 se dedica una parte para riego de la zona intermedia entre ambas balsas (suponemos la mitad de la demanda mensual) y la otra parte entra en la balsa 2 para el riego de la zona posterior. En el caso de la balsa 2, el agua que entra proviene de la balsa 1 y el agua que sale se dedica a riego. Se observa, como anteriormente hemos comentado, que en los meses de verano (julio, agosto, septiembre) toda el agua que entra se dedica a riego, por lo que el sobrante en esos meses es nulo.

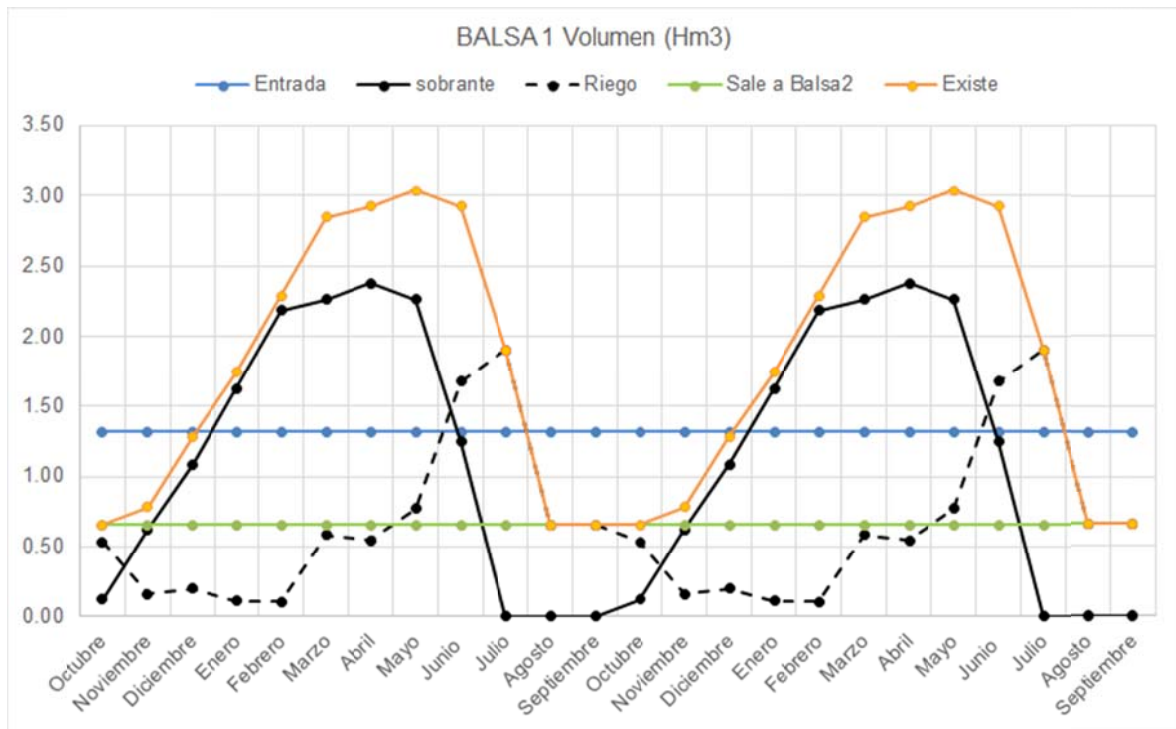


Figura N° 10. Volúmenes en Balsa 1

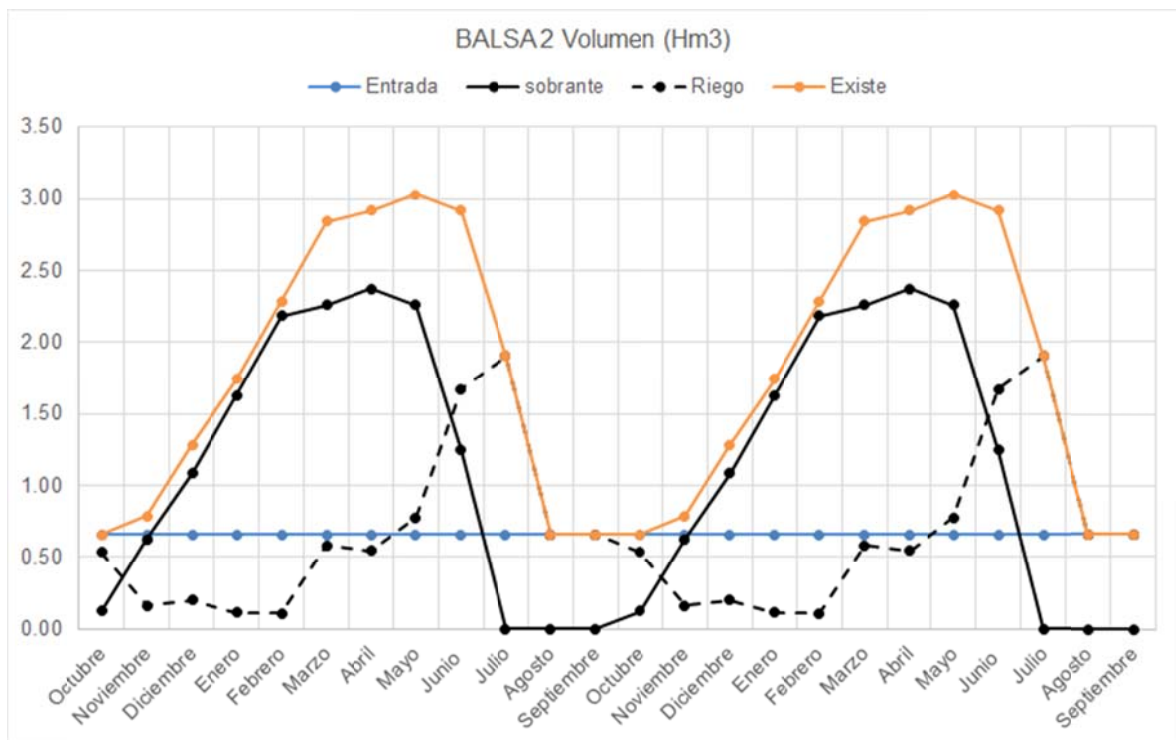


Figura N° 11. Volúmenes en Balsa 2

En función de la superficie de lámina de agua de las dos balsas de regulación diseñadas para este sistema, éstas no se considerarían en base a la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) como un tipo de masa de agua artificial (“Balsas artificiales con una superficie de lámina de agua igual o superior a 0.5 km²”).

Sin embargo, estas balsas podrían definirse como un ecosistema acuático léntico de interior. Como apunta Camacho et al. (2009) para estimar correctamente la calidad del agua en este tipo de ecosistema se debe tener en consideración diversos aspectos:

1. Factores físicos
2. Factores físico-químicos del agua
3. Factores biológicos
4. Factores antrópicos

En un ecosistema acuático, la temperatura es un regulador importante de la mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en éste. En particular, la temperatura, junto a los nutrientes y a las condiciones de luz, controlaría la producción primaria. En un ecosistema lacustre (lago, embalse,...) en el que el tiempo de residencia del agua es elevado, generalmente se almacena calor y se produce unos modelos característicos de comportamiento térmico. Dependiendo de la localización geográfica, el agua acumulada en el ecosistema puede tener tendencia a estratificarse térmicamente, formándose tres capas diferentes: una caliente, bien mezclada, en la capa superior (epilimnion), una fría, densa, la capa más profunda (hipolimnion) y una capa intermedia con un gradiente muy fuerte de temperatura (metalimnion) donde se sitúa la termoclina. El agua en el hipolimnion puede tener hasta 10° C menos que en el epilimnion y en la termoclina el gradiente de temperatura puede ser hasta de 2 °C cada metro.

Es importante conocer si puede llegar a producirse una estratificación en algunos lagos y embalses, ya que afectará a la calidad del agua. De hecho, los mayores cambios derivados de la actividad biológica tienen lugar en los embalses estratificados térmicamente. En la capa superficial el fitoplancton frecuentemente prolifera y libera oxígeno, y de ese modo la concentración se mantiene cerca de los niveles de saturación la mayor parte del año. Por el contrario, en la capa profunda, la descomposición de la biomasa sumergida, la falta de mezcla y luz solar, pueden dar lugar a condiciones anóxicas.

Obviamente, para lagos y embalses ya existentes, la mejor indicación de que existe estratificación es la medida directa de perfiles verticales de temperatura. Sin embargo, para futuros embalses, o para aquellos en los que es imposible su medición, existen métodos para estimar si es probable la estratificación. Con estos métodos puede conocerse a priori si un lago o embalse tiene tendencia a estratificarse, estimando su potencial de estratificación.

Algunos autores (Ford & Johnson, 1986) han indicado que tendrán tendencia a estratificarse los ecosistemas lacustres que posean una profundidad media mayor de 10 m y un tiempo de residencia mayor de 20 días. Este tiempo de residencia es el tiempo promedio que una partícula de agua permanece en el interior del lago o embalse, y puede estimarse como el cociente entre el volumen medio de agua y el caudal medio. Este tiempo de residencia puede variar de días a semanas en algunos embalses hasta años en los lagos naturales.

Se ha establecido un criterio para determinar la posibilidad o no de estratificación térmica en un lago o embalse, a partir del número de Froude densiométrico modificado (Norton et al., 1968) (Ecuación 1)

$$Fd = \frac{L \cdot Q}{Dm \cdot V} \sqrt{\frac{1}{g \cdot e}}$$

Ecuación 1. Número de Froude densiométrico modificado, Fd.

En esta ecuación 1, L es la longitud del lago o embalse (m), Dm es la profundidad media (m), Q es el caudal medio (m³/s), V es el volumen del lago o embalse (m³), e es el gradiente vertical promedio normalizado de densidad (10⁻⁶ m⁻¹) y g es la aceleración de la gravedad. Así, cuando Fd << 1/π el lago o embalse estará fuertemente estratificado, cuando Fd >> 1/π el lago o embalse estará bien mezclado y cuando Fd ≈ 1/π el embalse o lago estará débilmente o intermitentemente estratificado. Haciendo uso de dicha ecuación, en ambas balsas el Número de Froude densiométrico modificado es mayor de 1/π, por lo que pueden considerarse como bien mezclado. Sin embargo, debería calcularse con mayor precisión en función de las dimensiones de la lámina de agua en cada momento del año (longitud, volumen, profundidad), y del caudal mensual.

Sin embargo, la naturaleza exacta de la estratificación térmica está controlada por diversos factores, entre los que se incluyen las características climáticas, además de las dimensiones del lago o del embalse. De hecho, el potencial de estratificación depende no sólo de la profundidad del lago o embalse o de la batimetría, sino también de otros factores como el intercambio de calor, la mezcla del viento o incluso el caudal de salida. Esta estimación debería comprobarse con mayor fiabilidad haciendo uso de balances térmicos en cada momento del año (Norton et al., 1968).

En el caso que nos ocupa, en principio hay que pensar que se produce mezcla completa en ambas balsas, por la entrada y salida continua de agua y porque en los meses donde podría producirse estratificación (verano) el agua no llega a almacenarse. Considerando entonces la mezcla completa en ambas balsas, el agua que sale de cada balsa tendrá las características de la mezcla.

La mezcla de agua tendrá unas características fisico-químicas en función de las características del agua de entrada, proveniente de la EDAR de Pinedo I, y de las condiciones ambientales de la zona que generarán unas temperaturas del agua diferentes en cada época del año. Así, las concentraciones de los diferentes parámetros fisico-químicos en la mezcla deben calcularse teniendo presente la temporalidad de los caudales, las temperaturas estimadas del agua y las concentraciones del agua de entrada.

Los parámetros que pueden considerarse conservativos, como la salinidad, podrían ser estimados mediante simples balances de masas. Pero el problema surge en aquellos parámetros que no son conservativos, como los nutrientes, nitrógeno y fósforo. De hecho, uno de los principales problemas que podríamos encontrarnos en estas balsas, es la posible eutrofia y por tanto unas variaciones en los nutrientes como nitrógeno y fósforo. Un ecosistema acuático eutrófico suele ser un problema a la hora de gestionar, por el aumento de la producción y biomasa de productores primarios (fitoplancton, macrófitos,...); modificación de las características del hábitat por la transformación de la vegetación; producción de sustancias tóxicas por determinadas algas; disminución del oxígeno del agua al finalizar las situaciones de proliferación de algas; problemas de sabor y olor,...

El estado trófico de un ecosistema acuático puede definirse como la relación entre el estado de nutrientes del ecosistema y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo, y conocerlo es fundamental a la hora de gestionarlo. Aunque tanto el nitrógeno como el fósforo contribuyen a la eutrofización, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación (EPA, 2011). En la mayor parte de los casos, el factor de limitación en aguas dulces es el fósforo y en aguas salinas suele ser el nitrógeno (excepto en el mar Mediterráneo donde es el fósforo). En nuestro caso, la relación molar nitrógeno:fósforo de entrada al sistema (proveniente del efluente de Pinedo I) es 28,6 y por ello consideraremos que el fósforo es el nutriente limitante (N:P>16). El estado trófico (Vollenweider, 1980) puede ir desde la oligotrofia con bajo nivel de nutrientes hasta la hipertrofia con gran abundancia de nutrientes

Existen numerosos modelos de eutrofización para estudiar los nutrientes en lagos y embalses de mayor o menor complejidad que depende básicamente de los datos disponibles y del ecosistema. Generalmente los modelos simples se abordan en base al balance de masas del nutriente limitante, esto es, el fósforo para las balsas. Así, se usa el fósforo total como la variable indicadora del estado trófico. Uno de los modelos más simples (EPA, 2011) estima que el fósforo en equilibrio en un lago o embalse situado en una zona templada podría estimarse mediante la ecuación 2.

$$P_{eq} = \frac{L_p}{\frac{Hm}{T_w} (1 + \sqrt{T_w})}$$

Ecuación 2. Fósforo en equilibrio para lagos templados

En esta ecuación, T_w es el tiempo de renovación de la balsa medido en años (Volumen/caudal), Hm es la profundidad media de la balsa y L_p es la carga total externa de fósforo ($mg/m^2año$) (ecuación 3)

$$L_p = I_p \cdot Hm$$

Ecuación 3. Carga total externa de fósforo

I_p ($mg/m^3año$) es la tasa de carga de fósforo por unidad de volumen de la balsa, que puede calcularse mediante la ecuación 4.

$$I_p = \frac{\text{entradas de P } \left(\frac{mg}{año}\right)}{V}$$

Ecuación 4. Tasa de carga de fósforo

En la figura 12 se muestra la concentración de fósforo en equilibrio (P_{eq}) para ambas balsas.

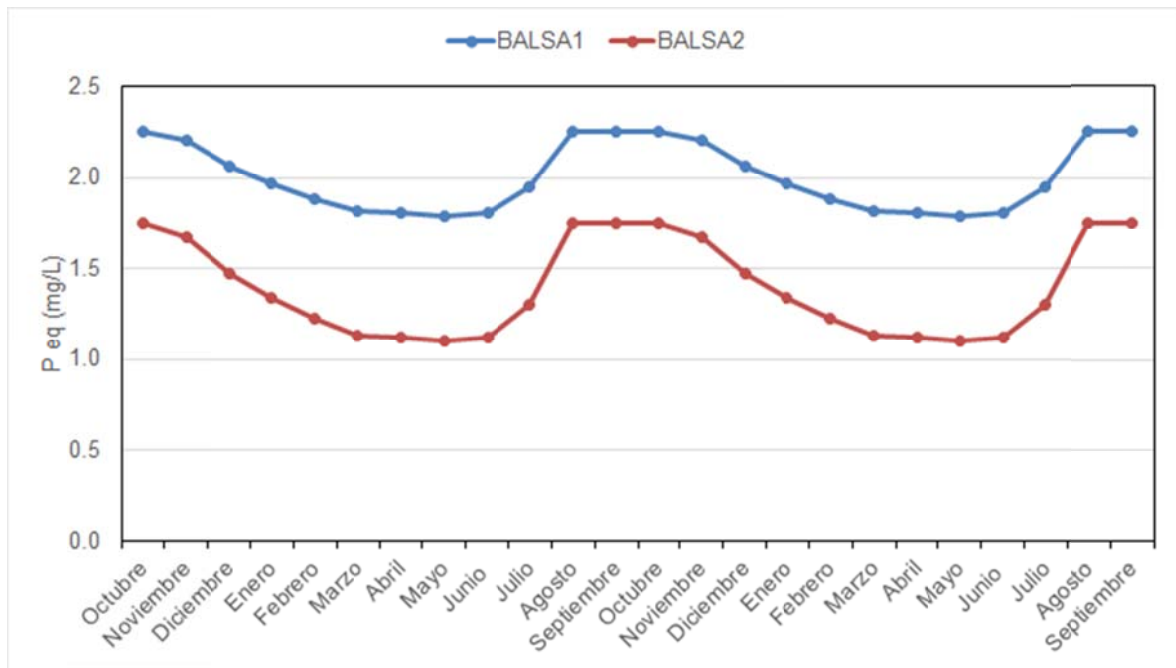


Figura N° 12. Concentración de fósforo en equilibrio (P_{eq}) para ambas balsas.

Las concentraciones en las balsas para el nitrógeno se observan en la figura 13.

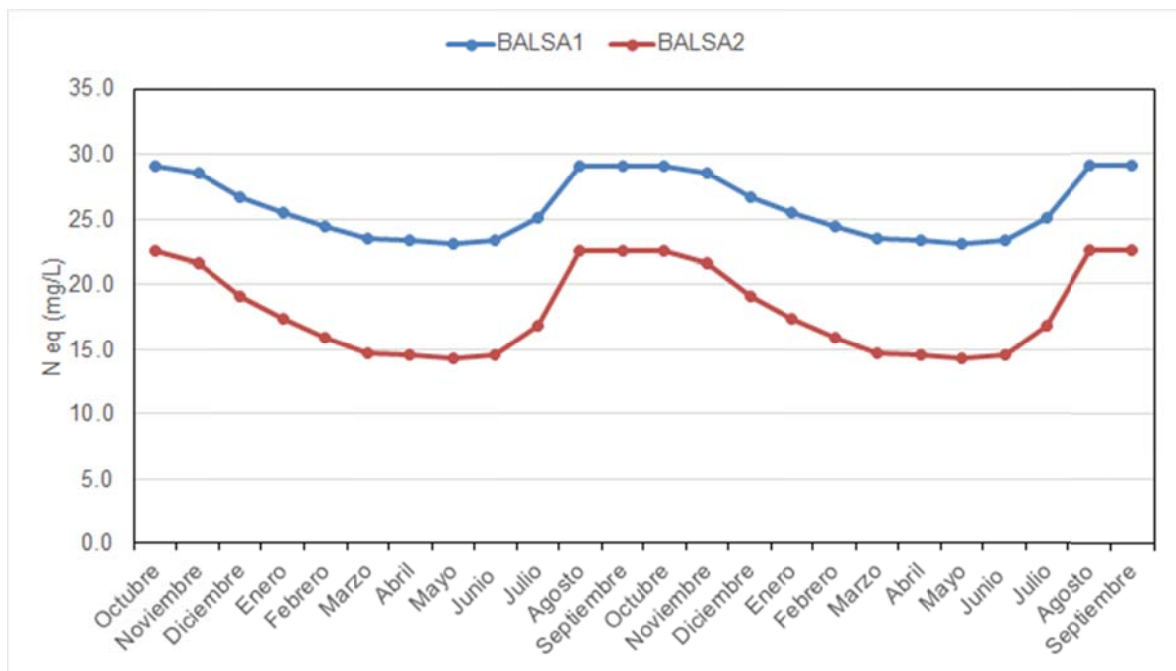


Figura N° 13. Concentración de nitrógeno en equilibrio (N_{eq}) para ambas balsas.

En este modelo simple, la concentración en las balsas es menor que el fósforo o el nitrógeno a la entrada del sistema debido a la tasa de sedimentación. De hecho en este modelo simple se considera que el cambio en la concentración de fósforo con el tiempo en la balsa es igual al aporte agregado por unidad de volumen menos las pérdidas por sedimentación y por descarga. Asumiendo que el lago está totalmente mezclado y que su volumen es constante. Por ello

estos resultados se deben considerar totalmente preliminares y sería necesario un estudio más detallado con un modelo más complejo (WASP por ejemplo) que tenga presente también las variaciones temporales en la temperatura del agua y las tasas biogeoquímicas del ciclo de nutrientes. Además, hay que tener presente que el fósforo sedimentado en las balsas permanecerá en ellas, en el fondo, generando la conocida “carga interna de fósforo”. Este fósforo interno podrá pasar a estar disponible en la columna de agua en determinadas condiciones de oxígeno o de requerimientos de las comunidades fitoplanctónicas, empeorando incluso más la calidad del agua.

Estos valores de fósforo y nitrógeno obtenidos otorgarán a las balsas un estado ecológico hipertrófico, con muy altos valores de clorofila. La clorofila es un estimador útil y simple de la densidad del fitoplancton y ha sido ampliamente utilizado en los modelos para predecir la densidad de algas en lagos. Existe una estrecha relación entre la clorofila y la concentración de fósforo total en la mayoría de los lagos situados en zonas templadas con limitación en fósforo, como es nuestro caso (Vollenweider, 1980). Así, la clorofila (Cla) puede estimarse mediante la ecuación 5:

$$\text{Log Cla} = 1,45 \cdot \log(1000 \cdot \text{Peq}) - 1,14$$

Ecuación 5. Clorofila en zonas templadas limitado por el fósforo

donde Peq se expresa en mg/L y Cla en µg/L. De esta manera, la clorofila en las balsas se observa en la figura 14, con muy elevados valores, signo de hipereutrofia.

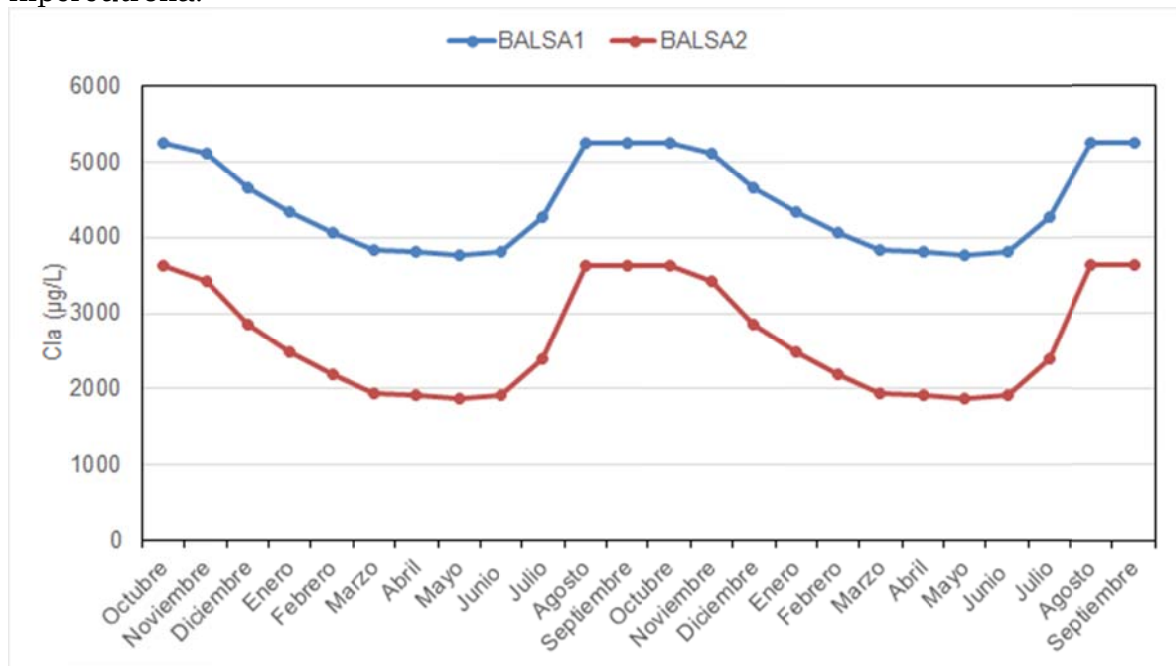


Figura N° 14. Clorofila (Cla) para ambas balsas.

Respecto a la calidad del agua para riego, el RD de Reutilización, marca la calidad 2.3. “Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana”, con los criterios de la tabla 1.

Se da por hecho que las aguas provenientes de la EDAR Pinedo I no deberían poseer Nematodos intestinales, Escherichia coli, ni Legionella spp, en caso

contrario debería incorporar un tratamiento terciario, para conseguir un efluente con características de calidad adecuadas.

La EDAR de Pinedo procesa aguas residuales de origen urbano, en las que la contaminación por metales pesados no debería constituir un problema. Respecto a los sólidos en suspensión, si seguimos el mismo modelo aplicado para los nutrientes, los sólidos en cada balsa serían los mostrados en la figura 15, que estarían por debajo de lo requerido en el RD de Reutilización.

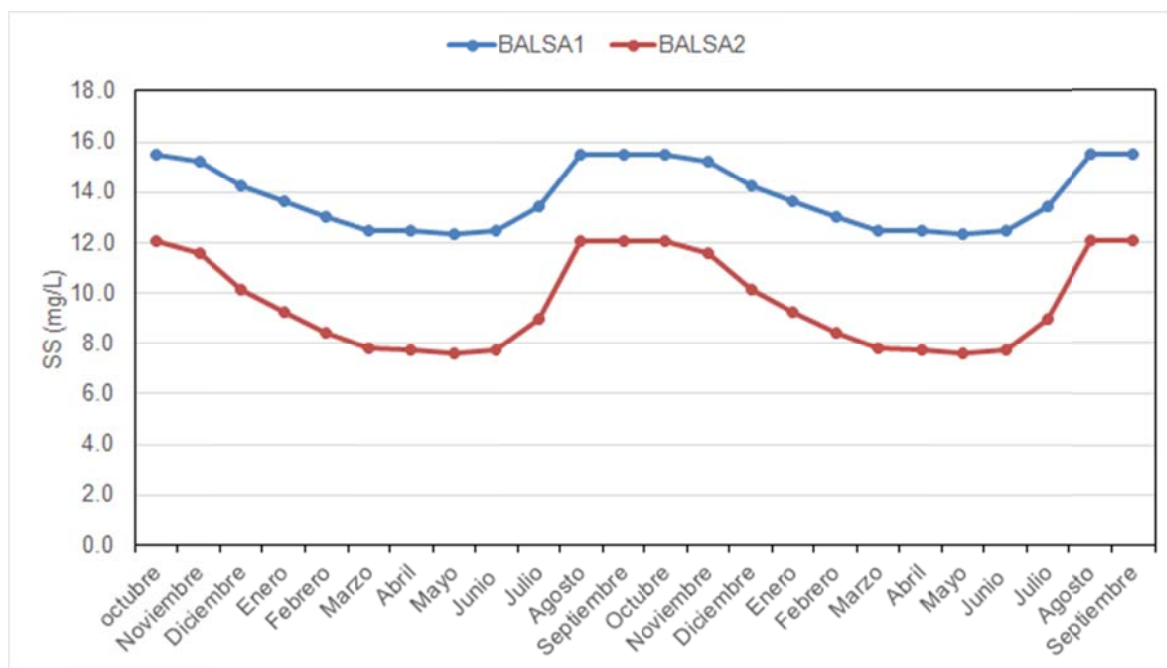


Figura Nº 15. Concentración de sólidos suspendidos para ambas balsas.

Respecto a sustancias peligrosas, en el informe de la Universitat de València, 2017 (UV, 2017), se muestran las concentraciones observadas en el afluente de la EDAR de Pinedo en los años 2012-2013. Para la comprobación de que dichas sustancias están por debajo de las NCAs y/o de los valores máximos admisibles sería necesario contar con las concentraciones de dichas sustancias en el efluente.

Respecto al resto de parámetros:

- Cromo: el efluente de Pinedo I supera el valor máximo admisible.
- Boro, arsénico, cobre, manganeso, níquel: el efluente de Pinedo I está por debajo del valor máximo admisible.
- Conductividad, berilio, cobalto, selenio, molibdeno y vanadio: no se poseen datos del efluente de Pinedo I.
- Cadmio: el límite de detección del parámetro en el efluente de Pinedo I supera el valor máximo admisible, por lo que se desconoce el cumplimiento
- La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en el efluente de Pinedo I está por debajo del valor máximo admisible, pero se necesitaría un estudio más detallado de RAS en las balsas.

Así, en este informe previo se ha realizado una primera aproximación a la calidad de las aguas de las balsas, pero es necesario un modelado a mayor nivel incluyendo las variaciones temporales, una mayor cantidad de datos de

partida e información real del efluente de Pinedo I (incluyendo concentraciones temporales, no medias anuales) para asegurar la posibilidad real de que dichas aguas puedan ser utilizadas para riego.

REFERENCIAS

- Camacho, A., Borja, C., Valero-Garcés, B., Sahuquillo, M., Cirujano, S., Soria, J.M., Rico, E., De la Hera, A., Santamans, A. C., García de Domingo, A., Chicote, A. & Gosálvez, R.U. (2009). 31 Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos de interior. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 412 p.
- Environmental Protection Agency (2011). “Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs”, General Books, United States. ISBN: 9781234174194.
- Fipps, G. (2003). Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies. Texas A&M AgriLife Extension Service
- Ford, D.E. & Johnson, L.S. (1986) “An assessment of reservoir mixing processes. Technical Report E-86-7”, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2010). Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas
- Norton, W.R., Roesner, L.A. & Orlob, G.T. (1968) “Mathematical models for predicting thermal changes in impoundments”, EPA Water Pollution Control Research Series, US Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas
- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica
- Rowe, D.R. & I.M. Abdel-Magid. (1995). Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse. CRC Press, Inc. 550pp.
- Universitat de València (2016). Estudio multidisciplinar de la potencialidad de la reutilización de agua de la EDAR de Pinedo para uso agrícola
- Universitat de València (2017). Estudio multidisciplinar para evaluar la presencia de posibles contaminantes y su trazabilidad en aguas regeneradas y en el medio costero marítimo
- Universitat Politècnica de València (2017). La reutilización de aguas residuales de la EDAR de Pinedo en la Foia de Bunyol
- Vollenweider, RA, Members of the Technical Bureau (1980). “Conclusions of the OECD Cooperative program on eutrophication”, en Unesco Nature and resources 16, 3.

