

MEMORIA CIENTÍFICO-TÉCNICA DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS

**Estudio para la determinación de la eficacia
del uso de bolas flotantes en el recubrimiento
de embalses de agua de riego**

Octubre 2014

MEMORIA CIENTÍFICO-TÉCNICA DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS

Estudio para la determinación de la eficacia del uso de bolas flotantes en el

recubrimiento de embalses de agua de riego

ÍNDICE:

1. Datos de la empresa solicitante de la prestación de servicios.....	3
2. Datos del equipo de investigación que presta el servicio.....	3
3. Antecedentes.....	4
4. Justificación de la colaboración.....	6
5. Objetivo del estudio/prestación de servicios.....	6
6. Diseño experimental y Metodología empleada.....	7
6.1. Emplazamiento y características del diseño experimental.....	7
6.2. Parámetros físico-químico-microbiológicos cuantificados.....	11
6.3. Equipamiento y reactivos empleados.....	12
7. Resultados.....	13
7.1. Evaporación del agua.....	13
7.2. Seguimiento de parámetros físico-químicos.....	14
7.3. Análisis microscópico y recuento en cámara Neubauer.....	20
8. Estudio preliminar del mercado potencial que tendría la comercialización del sistema.....	22
8.1. Precios del agua de riego en España.....	22
8.2. Embalses de riego en España.....	23
9. Conclusiones.....	27
10. Bibliografía.....	27
11. Anexo 1: Histórico de parámetros climáticos durante los tres meses del estudio.	

1. Datos de la empresa solicitante de la prestación de servicios.

Nombre de la Empresa: Plasticuero S.L.U CIF: B-03672623

Gerente de la Empresa: Manuel Francés

Razón social: Polígono Industrial el Rubial, calle 3, número 18. Villena, Alicante. C.P. 03400

Actividad empresarial: empresa auxiliar del calzado. Inyección de suelas y otros accesorios (EVA y TR). Se trata de una empresa con más de 50 años de experiencia en el sector auxiliar del calzado, en particular, en la producción de suelas para calzado de niño y adulto. Más recientemente, y bajo la marca de Feliz Caminar, ha abierto una nueva línea de producción de calzado laboral y otros elementos (rodilleras, plantillas, etc.) fabricados con EVA, favoreciendo así la flexibilidad y ligereza de estos productos.

Para más detalles consultar la siguiente página web: <http://www.felizcaminar.com/>

Con el objetivo de explorar y abrir nuevos mercados, la empresa plantea ahora una línea de producción de sistemas flotantes para el recubrimiento de embalses. La prestación de servicios cuyos resultados aquí se recogen está vinculada a esta nueva línea de actuación de la empresa.

2. Datos del equipo de investigación que presta el servicio.

Nombre del Departamento: Agroquímica y Bioquímica. División de Bioquímica y Biología Molecular. Adscrito a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante.

Directora del Departamento: María José Bonete Pérez. Catedrática de Bioquímica y Biología Molecular.

Grupo de investigación al que pertenecen los investigadores participantes en la prestación de servicios: Biotecnología de Extremófilos. Este grupo de investigación está constituido por un total de 14 investigadores de entre los cuales, tres de ellos han participado en el desarrollo de esta prestación de servicios: María José Bonete Pérez (directora del grupo de Investigación: ha coordinado las tareas realizadas y ha revisado la memoria final de resultados), Rosa María Martínez Espinosa (responsable de la ejecución de la prestación de servicios: ha realizado las analíticas físico-químicas y ha elaborado la memoria de resultados) y Basilio Zafrilla Requena (ha realizado los *visu* a microscopía óptica y el recuento de microorganismos). Para más información sobre el grupo de investigación puede consultarse la siguiente web:

<http://cvnet.cpd.ua.es/GruposInvestigacion/DatosGrupo.aspx?id=115329&tipo=A>

3. Antecedentes.

Los embalses de agua tanto naturales como artificiales se han convertido en motivo de interés para gestores e investigadores dada la importancia de las masas de agua que almacenan, en particular en zonas geográficas relativamente secas como el sureste de la península Ibérica. Si nos centramos en los embalses artificiales, estos se han creado básicamente con dos objetivos:

- i) aumentar y mejorar la gestión de las reservas de agua (ya sean para el consumo humano o para riego).
- ii) contribuir a la implantación de instalaciones que permiten obtener energía eléctrica.

La gestión y el mantenimiento de los embalses, tanto naturales como artificiales, presenta algunos inconvenientes y problemas de gran calado que han de ser paliados mediante la puesta en marcha de actividades de gestión y mantenimiento que eviten las pérdidas de agua y aumenten la vida media útil del embalse. Entre los problemas con los que se enfrenta la gestión de embalses (naturales o artificiales) podemos destacar los siguientes:

i) Evaporación de agua: este fenómeno es promovido básicamente por la acción del viento y de la radiación solar sobre las masas de agua almacenadas en los embalses. Gracias a este fenómeno, cada año se pierdan cantidades ingentes de agua ocasionando graves pérdidas en los embalses y por tanto daños en su gestión. La evaporación es especialmente significativa durante los meses de verano (en concreto en regiones áridas y semiáridas como el sureste Español) y da lugar a pérdidas de agua que suponen un gasto considerable en la gestión de los embalses, en particular en aquellas regiones y/o países dónde el precio del m^3 de agua es elevado.

Para el caso de embalses de riego, estas pérdidas pueden representar un porcentaje importante del volumen total de agua que almacenan, lo que resulta en una baja eficiencia de almacenamiento, y por ende, afecta negativamente la eficiencia global de los sistemas de distribución de agua para riego. Actualmente existen en la cuenca del Segura más de 13.000 embalses de regulación de riego, con una superficie evaporante del orden de 5.000 Ha, lo que supone una de las mayores concentraciones de este tipo de infraestructuras agrarias en el mundo. El elevado número de embalses de esta región se debe a la existencia de:

- Embalses de comunidades de regantes, sobre todo en las abastecidas mediante el transvase Tajo-Segura o a partir de aguas subterráneas: es necesario disponer de grandes balsas para adaptar la disponibilidad temporal de los recursos a las demandas de los cultivos.

- Embalses pertenecientes a agricultores individuales: existe una falta de adaptación de los sistemas de distribución de agua (que generalmente están organizados mediante turnos) a las modernas técnicas de riego localizado y de alta frecuencia, que requieren un suministro a la demanda. Por esta circunstancia los agricultores se ven obligados a construir numerosas balsas de reducido tamaño en sus explotaciones que les permita adaptar la organización por turnos a sus necesidades continuas de agua para riego. En muchos casos, además están justificados por la necesidad de incrementar la disponibilidad de recursos hídricos mediante la mezcla de aguas de distintas calidades y origen diverso.

Considerando que la evaporación potencial de agua en la cuenca del Segura oscila entre los 1600 y 2000 mm por año, se puede realizar una estimación de las pérdidas de agua por evaporación en embalses del orden de 60 Hm³. Estas pérdidas suponen un 20% del volumen medio anual de agua trasvasado a la Región de Murcia mediante el acueducto Tajo-Segura, y equivalen al volumen de agua producido en la mayor de las desaladoras de agua marina proyectadas en nuestro país. Además, la mayoría de los embalses se localiza en las zonas costeras, donde la agricultura alcanza mayor rentabilidad económica y, por tanto, la incidencia de estas pérdidas de agua adquiere una gran trascendencia económica.

ii) Existencia de fenómenos de erosión y aparición de sedimentos: la erosión del suelo en las zonas limítrofes con el embalse (natural o artificial) es una gran amenaza para el mismo ya que supone un aporte continuado de arenas, margas, calizas, etc. que deterioran la calidad del agua almacenada y las características propias de la estructura del embalse. Este fenómeno es tanto mayor cuanto más peculiar es el emplazamiento del embalse en términos de la topografía de la zona, pendiente de formaciones montañosas aledañas, naturaleza de la cubierta vegetal, coeficiente de erodabilidad, etc. También se ha de tener en cuenta que actividades humanas realizadas en las cercanías de los embalses tales como la minería, agricultura, etc. contribuyen a la erosión del terreno y a la posterior aparición de sedimentos en los embalses.

iii) Eutrofización de aguas: embalses de todas las dimensiones que albergan aguas ricas en materia orgánica o compuestos nitrogenados con poca oxigenación son un nicho ideal para la proliferación de diatomeas, cianobacterias y microalgas. Las comunidades de microalgas que se desarrollan en los embalses pueden dar lugar a la aparición de toneladas de biomasa que al crecer en estos medios deterioran la calidad de las aguas y generan un lodo que acaba precipitando en el fondo de los embalses, lo cual dificulta el mantenimiento de los embalses y acorta la vida media útil de los mismos. Las tareas de limpieza y eliminación de la biomasa causan graves pérdidas en las empresas/instituciones que gestionan estas instalaciones. Además, algunas especies de cianobacterias y microalgas producen toxinas durante su crecimiento (Ej: microcistinas) que excretan al agua del embalse, deteriorando gravemente la calidad de esas masas de agua y poniendo así en peligro a animales y cultivos que pueden posteriormente entrar en contacto con esas masas de agua.

Partiendo de todo lo anteriormente descrito, salta a la vista que es urgente poner en marcha estudios que permitan la mejora de la gestión de los embalses minimizando la evaporación de agua y reduciendo los efectos que favorecen la eutrofización de las aguas o la acumulación de sedimentos en las mismas. Con el objetivo de reducir la evaporación del agua, numerosos grupos de investigación de todo el mundo y empresas, principalmente centroeuropeas y americanas han diseñado e implementado técnicas específicas que se resumen en:

- Aplicación de aceites o sustancias flotantes sintéticas poco volátiles, sistemas de mezcla para romper la estratificación térmica, aplicación de colorantes que modifiquen el albedo (la reflexión de la luz solar del agua) empleo de árboles como cortavientos, uso de balsas flotantes de restos de madera de eucalipto etc. Estas técnicas por ahora se consideran poco adecuadas para su empleo en embalses como consecuencia de su baja eficiencia o incompatibilidad con el uso del agua para riego.

- Como alternativa a las técnicas mencionadas en el apartado anterior, más recientemente están surgiendo planteamientos que utilizan coberturas de sombreado de materiales ligeros y porosos (generalmente rafias de polietileno) o bien pequeñas formas geométricas de plástico (esferas, cuadrados, etc.) que flotan en el agua creando así una cobertura sobre el embalse. La primera aproximación ha sido abordada por grupos de investigación de la Universidad Politécnica de Cartagena y propietarios de embalses del sureste español (Murcia, principalmente), mientras que la segunda estrategia, ha sido por el momento sólo explorada en centroeuropa y Estados Unidos. Por el momento, éstas parecen ser las soluciones más desarrolladas y óptimas, dado que permiten su instalación en embalses de gran tamaño mediante estructuras cableadas y procedimientos de bajo coste y arrojan cifras de reducción en la evaporación del agua superiores al 80%. Este importante ahorro, junto con el alto coste que está alcanzando el agua de riego en el sureste español, justifica la viabilidad económica de su aplicación en los cultivos de alta rentabilidad propios del sureste español: cultivos, forzados en invernaderos, hortícolas, frutales, etc.

Por esta circunstancia ya son varias las empresas que ofrecen soluciones comerciales para la instalación de coberturas de sombreado en embalses de riego.

4. Justificación de la colaboración/prestación de servicios.

La empresa Plasticuero S.L.U. está estudiando la posibilidad de abrir una nueva línea de producción basada en la fabricación de esferas u otras formas geométricas que puedan ser utilizadas para cubrir los embalses de riego y evitar así la evaporación de agua y el crecimiento de algas causantes de la eutrofización de las masas de aguas. Este último fenómeno, así como la acumulación de sedimentos en el fondo del embalse contribuyen a disminuir la vida media de los embalses y a empeorar la calidad del agua almacenada.

5. Objetivo del estudio.

Determinar la eficacia del uso de bolas flotantes para el recubrimiento de embalses de agua. La eficacia de la tecnología se ha estudiado desde dos puntos de vista diferentes:

i) en qué grado se reduce la evaporación del agua en los embalses recubiertos con el sistema de recubrimiento producido por la empresa.

ii) cómo varía la composición físico-química y microbiológica del agua cuando se comparan embalses recubiertos con el sistema producido por la empresa y embalses no recubiertos.

Finalmente el estudio recoge un análisis preliminar del potencial mercado que tendría la empresa a la hora de explotar la comercialización del sistema.

6. Diseño experimental y Metodología empleada.

6.1. Emplazamiento y características del diseño experimental.

Para alcanzar los objetivos en un corto espacio de tiempo que permita a la empresa valorar la viabilidad del proyecto, se ha trabajado con masas de agua de pequeñas dimensiones (pequeñas balsas de agua) situadas en el término municipal de Villena (Alicante) cuyo emplazamiento exacto es: N 38° 37' 5'', O 0° 50' 7''. Dichas balsas se encuentran en el centro del llamado paraje de las Tiesas, partida rural de Villena, situada al sureste de su término municipal, entre el río Vinalopó, la autovía A-31 y la Peña Rubia. Su terreno se caracteriza por la abundancia en carbonatos y calizas en general.

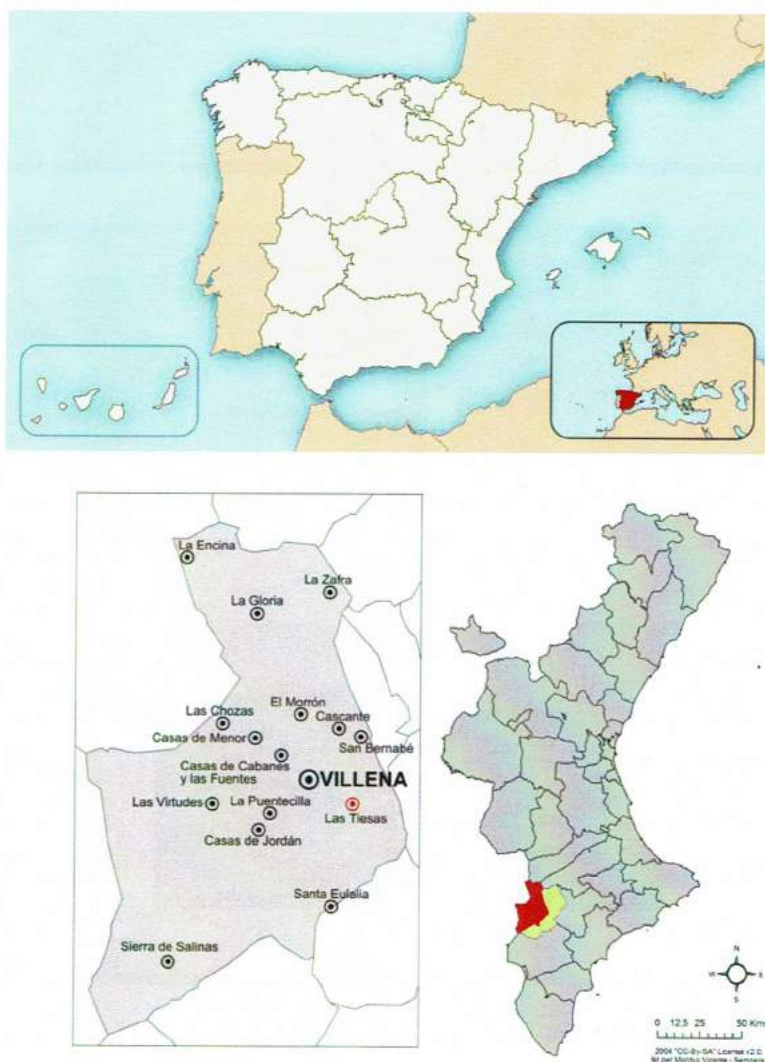


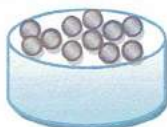
Figura 1: Mapas para la localización del emplazamiento de las balsas de agua utilizadas para el estudio.

Para el estudio de una de las masas de agua (la de menor volumen) se ha utilizado una balsa sin cubrir y otra cubierta de bolas flotantes por la empresa, siendo la primera el ensayo control de la segunda. Asimismo, se ha utilizado otra balsa cubierta de mayores dimensiones para explorar la viabilidad del escalado en el recubrimiento. Por tanto, se ha trabajado con tres masas de agua según representa el siguiente esquema:

Masa de agua 1: ensayo control (pequeña escala)



Masa de agua 2: ensayo bolas flotantes (pequeña escala)



Masa de agua 3: ensayo bolas flotantes (escala media)

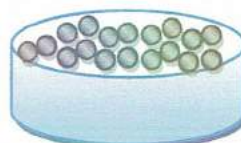
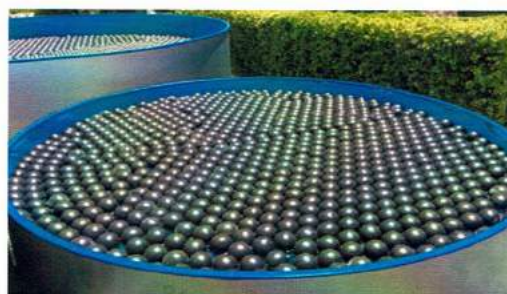


Figura 2: Resumen del diseño del experimento.



Balsa 1



Balsa 2. Al fondo Balsa 3



Balsa 3.

A



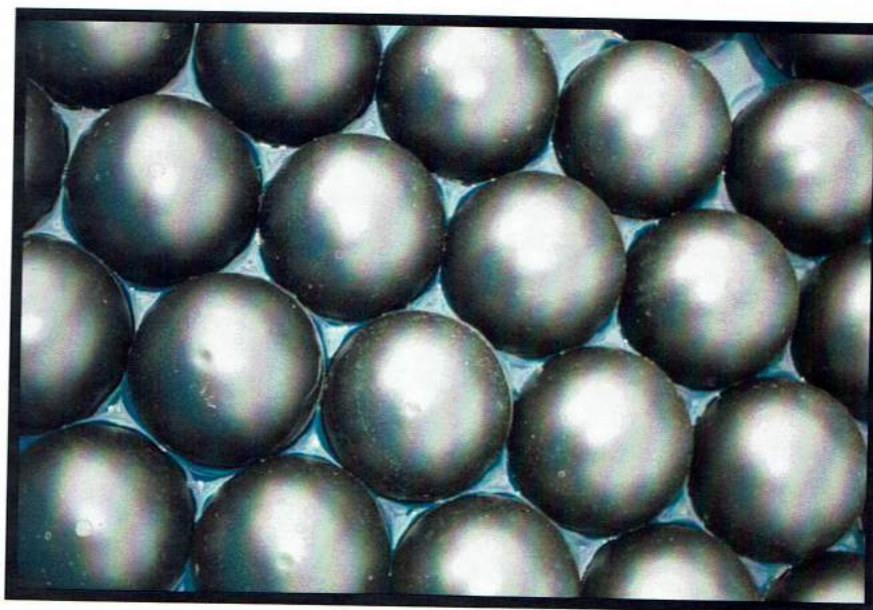
Fotografía 1: A) Detalle de las balsas utilizadas para el estudio. Las dimensiones para cada una de ellas se especifican en la tabla 1. B) Panorámica con las tres balsas de agua utilizadas.

Tabla 1: Dimensiones de las balsas de agua utilizadas.

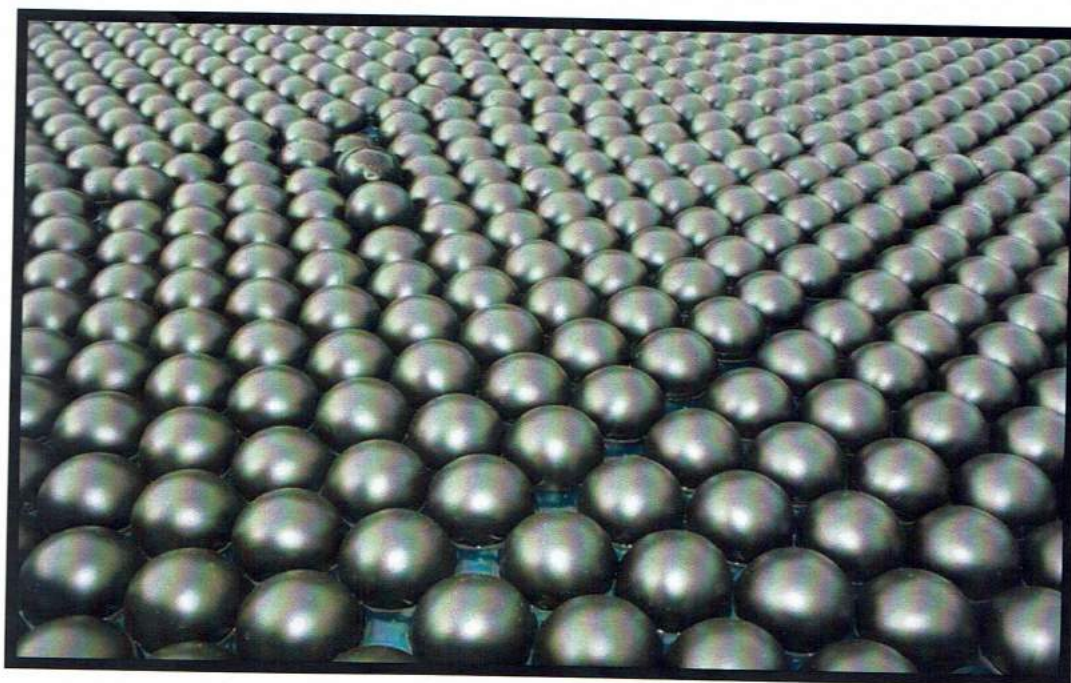
Parámetros (dimensiones)	Balsa 1 (pequeña)	Balsa 2 (pequeña + bolas)	Balsa 3 (grande + bolas)
Diámetro y altura	300 x 62 cm	300 x 62 cm	450 x 90 cm
Capacidad máxima	3,95 m ³	3,95 m ³	12,71 m ³
Capacidad real de llenado	3,3 m ³	3,3 m ³	8,75 m ³
Superficie de la balsa	7,068 m ²	7,068 m ²	15,90 m ²
Nº bolas para recubrir aprox.	0	707	1590

Las bolas flotantes han sido fabricadas por la empresa solicitante de la prestación de servicios. Dichas bolas son huecas y tienen un diámetro de 4 cm. Están fabricadas con polietileno

de alta densidad (HDPE) y han sido rellenas con agua. La cantidad de agua inyectada por bola ha sido la justa para darles peso y garantizar su flotabilidad. Teniendo en cuenta el diámetro de cada bola se ha calculado el número de bolas necesarias para el recubrimiento (100 bolas/m^2 aproximadamente) (ver tabla 1).



Fotografía 2: Detalle de la disposición espacial regular de las bolas flotantes. Obsérvese la estructura regular en forma de hexágono que crean las bolas.



Fotografía 3: Detalle De la disposición ordenada de las bolas sobre la superficie de agua.

Durante los meses de Junio-Agosto de 2014 se han tomado medidas de la columna de agua de cada balsa dos veces a la semana y se han recogido muestras semanales de agua de las tres balsas para realizar análisis físico-químico-microbiológico cuyos resultados se resumen en el apartado 7 de esta memoria.

6.2. Parámetros físico-químico-microbiológicos cuantificados.

Parámetros físico-químicos:

pH: medida de la concentración de iones hidrógeno presentes en una disolución problema dada a una temperatura concreta. Se ha utilizado el *Método instrumental*: pH-meter Basic 20 + de Crison. Medidas basadas en el cálculo de la diferencia de potencial existente entre un electrodo de vidrio y el electrodo de referencia, ambos sumergidos en una misma solución a una temperatura concreta.

Conductividad eléctrica: medida de la capacidad que tiene una muestra de agua para transmitir la corriente eléctrica. Esa capacidad es directamente proporcional a la concentración de sales presentes en la muestra. Se ha utilizado el *Método instrumental*: Conductímetro Mettler Toledo SevenMulti.

Evaporación del agua: cambio en el estado físico del agua provocada entre otros por acción del viento y el incremento de temperatura. El agua pasa de estado líquido a estado gaseoso provocando la pérdida de agua en las masas de agua líquidas en las balsas de agua. Se ha medido la variación de la altura en la columna de agua de las balsas de estudio.

Nitratos: cuantificación de la concentración de nitrógeno que hay en forma de nitrato: NO_3^- . Es una de las formas nitrogenadas más abundantes en suelos y aguas próximos a zonas agrícolas sometidas a procesos de abonado intensivos). Se ha utilizado un método espectrofotométrico basado en una digestión previa de la muestra de agua con ácido clorhídrico. La absorbancia a 220 y 275 nm de las muestras se ha medido en un espectrofotómetro Jasco V-530 UV-Vis.

Nitritos: cuantificación de la concentración de nitrógeno que hay en forma de nitrito: NO_2^- . Es una forma nitrogenada altamente tóxica para la mayor parte de seres vivos. Para su cuantificación se ha usado el método colorimétrico Griess empleando un espectrofotómetro Jasco V-530 UV-Vis para la determinación de la absorbancia de las muestras a 540 nm.

Amonio: cuantificación de la concentración de nitrógeno que hay en forma de amonio: NH_4^+ . Es una de las formas nitrogenadas más abundantes en suelos y aguas próximos a zonas agrícolas sometidas a procesos de abonado intensivos. Se ha utilizado un método colorimétrico basado en la reacción del fenol hipoclorito con el amonio. La absorbancia final de las muestras se ha determinado mediante un espectrofotómetro Jasco V-530 UV-Vis.

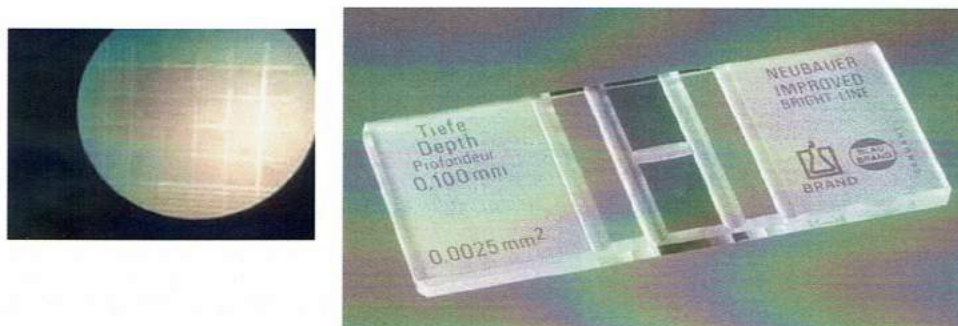
Demanda Química de Oxígeno: cantidad de oxígeno consumido por materia susceptible de ser oxidada (inorgánica principalmente) presente en el medio. Se ha utilizado como método la oxidabilidad por permanganato.

Turbidez: medida en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) de la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad. Para su cuantificación se ha utilizado un turbidímetro HACH modelo 2100P.

Parámetros microbiológicos (microalgas):

Densidad óptica 600 nm: es una medida de la luz absorbida por parte de partículas/células en suspensión en el agua. Para su cuantificación se ha utilizado un biofotómetro de la casa Eppendorf con una celda 8,5 mm /light center height. El seguimiento de la variación en este parámetro permite analizar el aumento de la biomasa en las masas de agua.

Recuento celular por cámara de Neubauer: se había previsto realizar un recuento celular por citometría en aquellas muestras en las que hubiese evidencia de microalgas. La carga celular es tan pequeña en las muestras de agua que finalmente se ha optado por hacer un recuento celular en cámara de Neubauer.



Fotografía 4: Detalle de una pequeña cámara de Neubauer utilizada para el recuento de células en las muestras de agua en fresco.

Visu microscopía óptica. Se ha realizado un visu de las muestras en fresco utilizando un microscopio óptico equipado con objetivos 10X y 40X. Se han analizado las muestras de agua así como el precipitado aparecido sobre las bolas y el precipitado en el fondo de las balsas.

6.3. Equipamiento y reactivos empleados.

Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico su ministrados por las casas MERK, PANREAC y SIGMA-ALDRICH. El instrumental utilizado (ver sección anterior para cada caso), forman parte del equipamiento de la División de Bioquímica y Biología Molecular de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante y fueron calibrados antes de su uso para las analíticas.

7. Resultados.

7.1. Evaporación del agua.

Tal y como se ha indicado en apartados anteriores, durante el transcurso del estudio se han realizado dos medidas a la semana de la altura de la columna de agua de cada balsa. De esta manera, tomando como referencia la altura de la columna de agua a tiempo cero se ha cuantificado la pérdida de agua por evaporación.

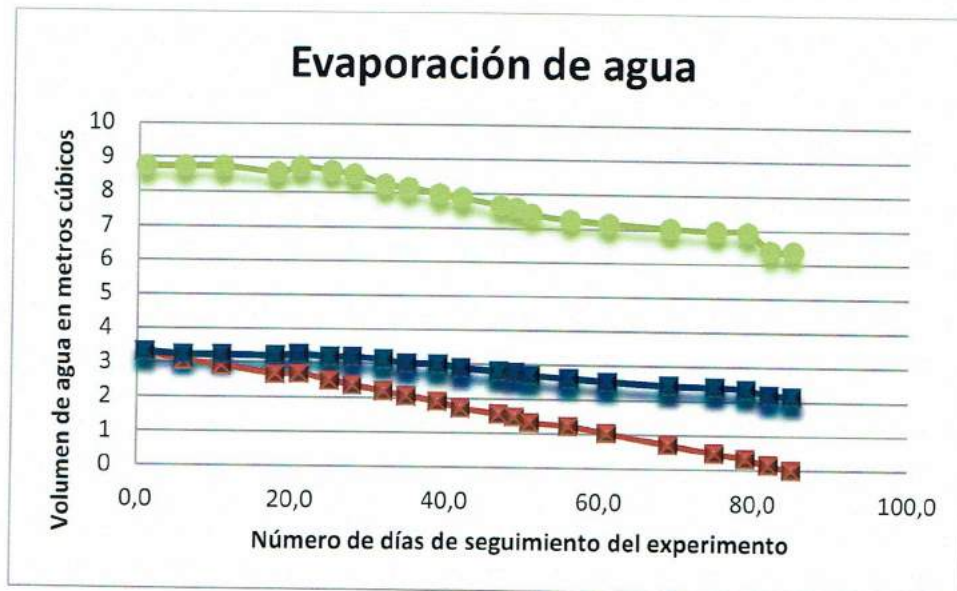


Figura 3: Evolución de la evaporación de agua en las balsas entre los meses de Junio y Agosto de 2014. Rojo: balsa 1; Azul: balsa 2 y Verde: balsa 3.

A partir de la figura 3 se puede comprobar que la evaporación de agua en la balsa 1 ha sido del 100% dada la elevada temperatura ambiental registrada en el período de estudio y la escasez de lluvias del mismo período. La evaporación de agua de la balsa 2 (recubierta) supone un 35 %, mientras que la registrada en la balsa 3 supone un 27 %.

Si se hiciese un cálculo aproximado de las pérdidas económicas por evaporación de agua (asumiendo un precio de 0,72 euros/m³) nos encontraríamos ante unas pérdidas de 2.31 euros para la balsa 1 (3,3 m³ de agua evaporados: 100% evaporación), 0.84 euros para la balsa 2 (1,17 m³ de agua evaporados: 35% evaporación) y 1.70 euros para la balsa 3 (2,35 m³ de agua evaporados: 27 % evaporación). En el anexo 1, se han recogido valores medios de temperatura, lluvia y velocidad del viento para todos los días del período del estudio. Esos resultados ayudan a comprender la elevada evaporación que tiene lugar durante el estudio ya que las temperaturas medias diarias son elevadas, hay rachas de viento moderado a fuerte en varios episodios y las precipitaciones son escasas.

Aunque la pérdida económica relativa a la evaporación es casi despreciable, el volumen de agua perdido gracias a este proceso no lo es tanto, por lo que se considera que este sistema es muy eficiente en términos de reducción de la evaporación consiguiendo una reducción media de la misma del 31 % en las condiciones ensayadas.

La fotografía 5 muestra una panorámica de las balsas a finales de octubre. Nótese la completa evaporación del agua en la balsa 1, así como los sedimentos acumulados en el fondo de la misma.



Fotografía 5: Estado de las balsas a fecha 29 de agosto de 2014.

7.2. Seguimiento de parámetros físico-químicos.

pH

Los valores de pH en las tres balsas se han mantenido en el intervalo de 7,6-8,4 encontrando cambios más significativos en la balsa 1 que en el resto. En líneas generales el valor de pH ha aumentado durante el tiempo de estudio se asocia con la llegada a las balsas de agua a través del viento de carbonatos en suspensión procedentes del suelo de la zona (con suelo rico en calizas).

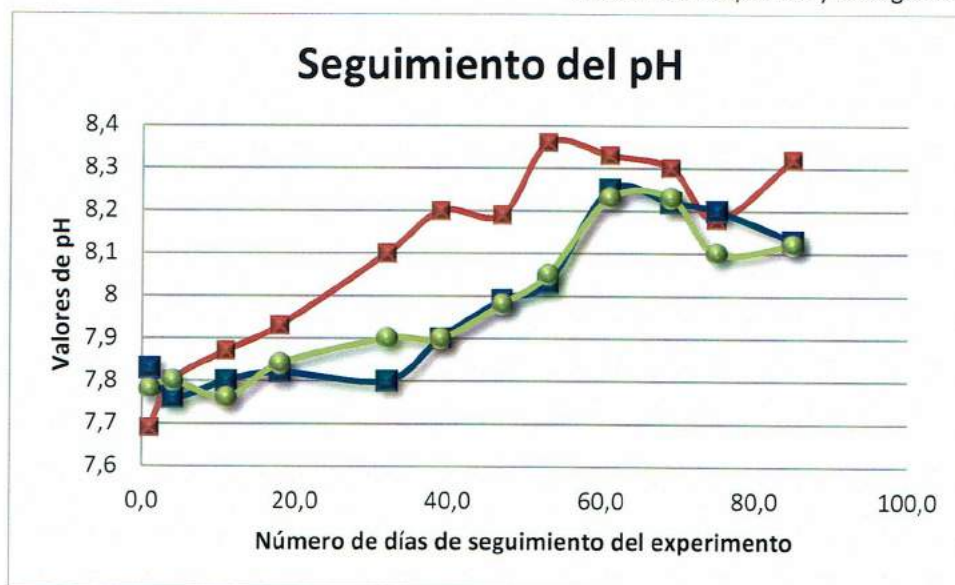
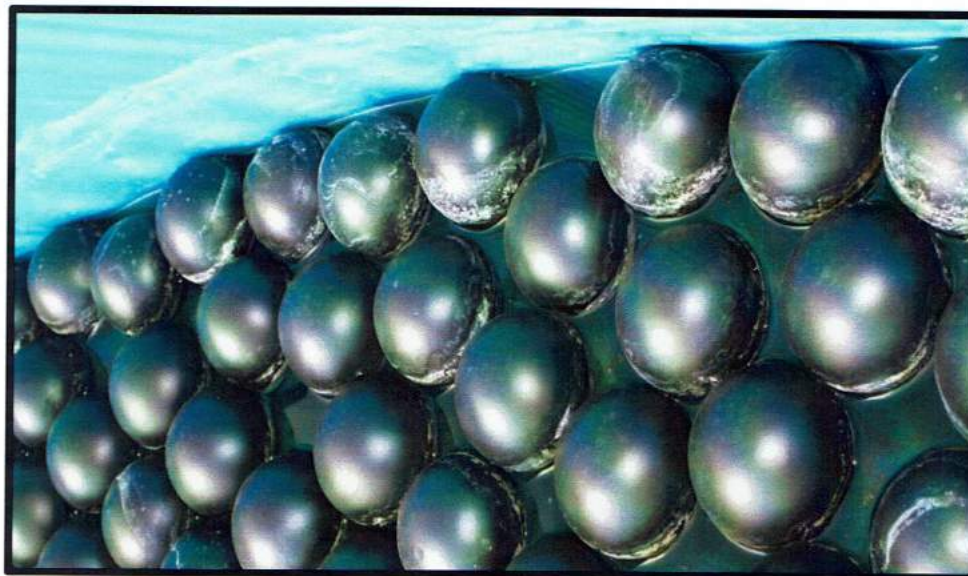


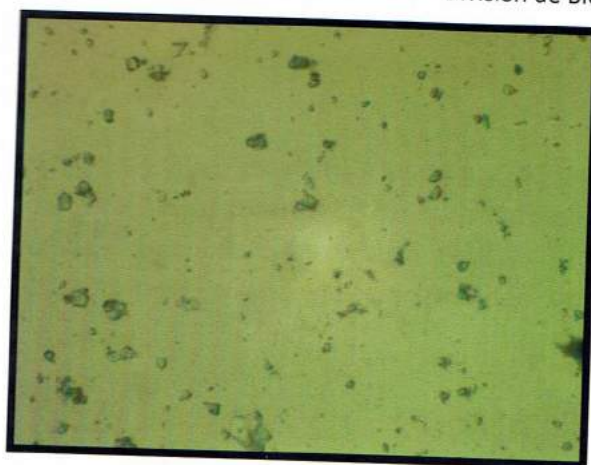
Figura 4: Evolución de la evaporación de agua en las balsas entre los meses de Junio y Agosto de 2014. Rojo: balsa 1; Azul: balsa 2 y Verde: balsa 3.

Estas partículas de carbonato que en suspensión llegaban hasta las balsas, se han depositado sobre las bolas creando una costra blanquecina que adquiría mayor dimensión a medida que pasaban las semanas. Dicha costra se puede apreciar en la fotografía 5.



Fotografía 6: Detalle de los depósitos de carbonato sobre las bolas del sistema de recubrimiento.

Hacia el final del período de estudio se escogieron al azar bolas de las balsas que presentaban la costra blanquecina para proceder a su estudio por microscopía óptica, obteniendo los resultados que aparecen en la fotografía 6, en la que claramente se aprecian cristales de carbonatos. Dicho cristales también fueron identificados en el precipitado del fondo de las balsas junto con arenas y fibras vegetales.



Fotografía 7: Fotografía de microscopía óptica del raspado de costra blanca formada sobre las bolas de las balsas. Objetivo 10X.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se mantiene prácticamente estable en valores que van desde 1200 y hasta 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las balsas dos y tres (ambas recubiertas con bolas). Estas lecturas sufren pequeñas oscilaciones puntuales que pueden ser debidas al aporte de sales y otros sedimentos a las balsas como producto de la acción del viento o de la llegada de pequeños insectos. Resulta especialmente significativo el aumento de conductividad eléctrica en la balsa 1 donde la lectura de la conductividad llega hasta valores de 4.62 mS/cm. El hecho de que se trate de agua en una balsa sin cubrir explica este dato ya que la entrada/llegada de sedimentos, fibras vegetales, pequeños insectos etc. es más acusada (la masa de agua está totalmente expuesta al medio).

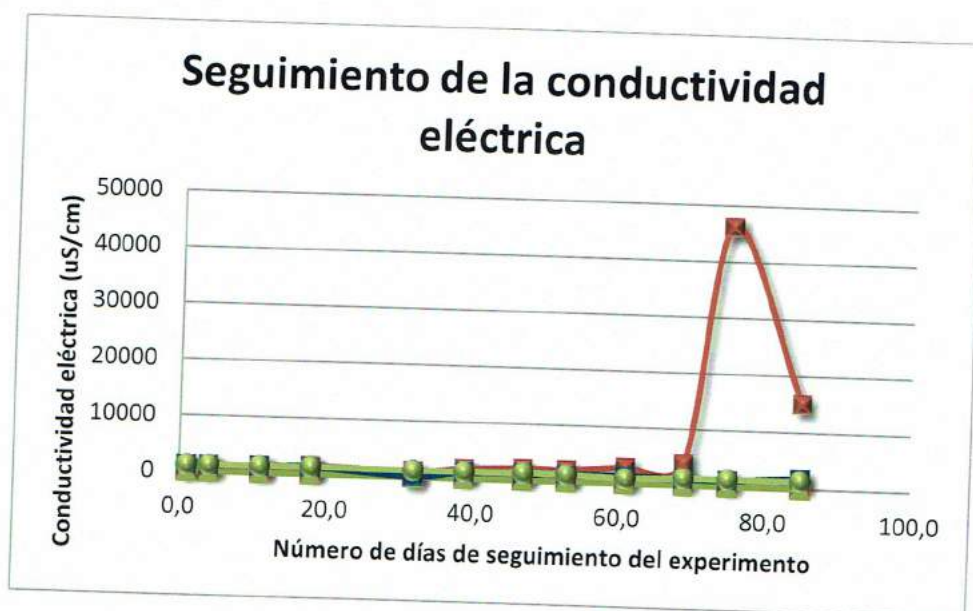


Figura 5: Evolución de la conductividad eléctrica en las balsas entre los meses de Junio y Agosto de 2014. Rojo: balsa 1; Azul: balsa 2 y Verde: balsa 3. La conductividad eléctrica se muestra expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Densidad óptica y Turbidez

Ambos parámetros permiten estudiar la presencia de partículas en suspensión en las masas de agua, ya sean inorgánicas u orgánicas. La turbidez se ha empleado aquí para evaluar cambios en la transparencia de las columnas de agua mientras que las medidas de absorbancia a 600 nm se han utilizado para estimar la presencia de células de microalgas u otros microorganismos.



Figura 6: Evolución de la densidad óptica medida a 600 nm en las balsas entre los meses de Junio y Agosto de 2014. Rojo: balsa 1; Azul: balsa 2 y Verde: balsa 3.

Mientras que el aumento de la densidad óptica no es significativo en las balsas 2 y 3, sí lo es en la balsa uno, identificando en ese caso dos picos máximos de absorbancia que podrían coincidir con el comienzo de crecimiento de microorganismos e incrementos en el aporte de sedimentos a la masa de agua. El descenso de densidad óptica entre los días 45 y 60 puede ser debido a la precipitación de esas partículas (ya sean orgánicas o inorgánicas) propiciando así la aparición de sedimentos en el fondo de la balsa 1.

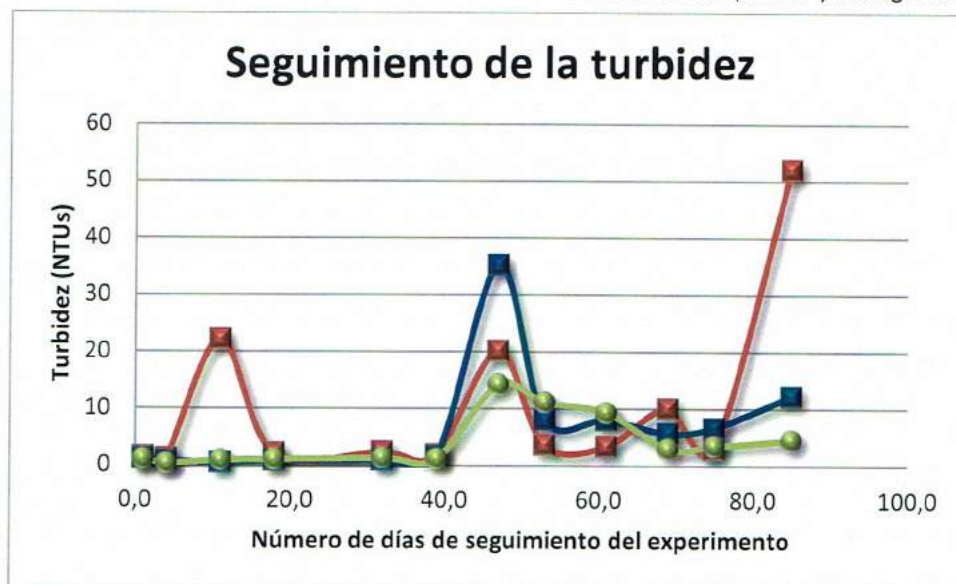


Figura 7: Evolución de la turbidez en las balsas entre los meses de Junio y Agosto de 2014.
Rojo: balsa 1; Azul: balsa 2 y Verde: balsa 3.

Respecto a la turbidez se observa un patrón similar al mostrado por la densidad óptica de manera que la balsa 1 (descubierta) es la que más aportes recibe por tanto la claridad y transparencia del agua es menor que en las otras dos balsas. Se distinguen claramente 3 picos de máxima turbidez en las balsas que son más acusados en la balsa 1. Esto indica que hay episodios localizados de aporte de partículas en las tres balsas siendo más significativos en la balsa 1. Este dato se correlaciona con la presencia de sedimentos que después se ha detectado en el fondo de las balsas siendo de mayor importancia el volumen de sedimentos encontrado en el fondo de la balsa 1.

Nitratos, nitritos y amonio

En relación a los nitratos, se aprecia un aumento paulatino de su concentración que es especialmente relevante en la balsa 1 tal y como cabía esperar debido a una mayor exposición al medio y al efecto concentrador que tiene la evaporación masiva del agua en esta balsa. Este aumento de concentración altera la calidad del agua haciéndola menos idónea para el riego si ese incremento siguiera dándose en las masas de agua.

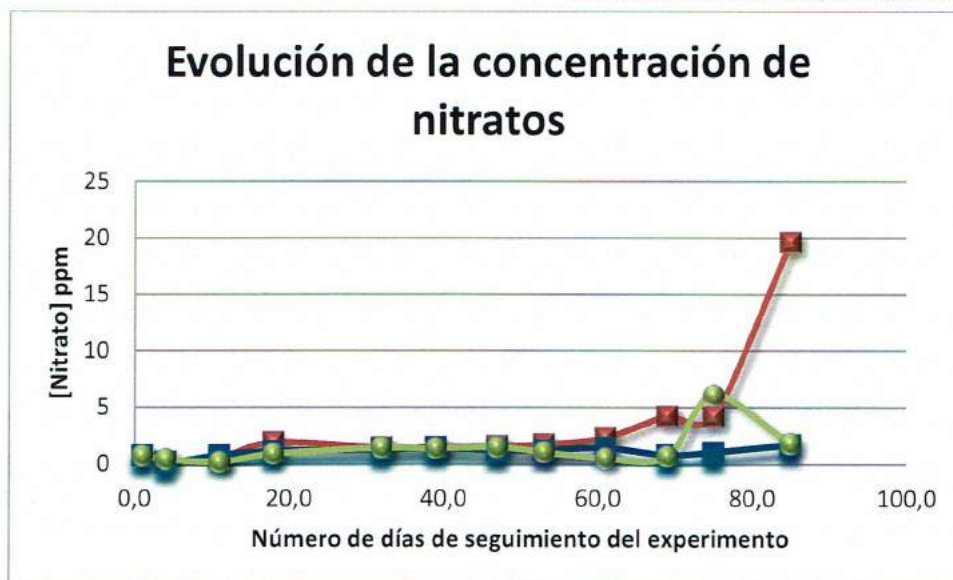


Figura 8: Evolución de la concentración de nitratos en las balsas entre los meses de Junio y Agosto de 2014. Rojo: balsa 1; Azul: balsa 2 y Verde: balsa 3. La concentración de nitrato se expresa en ppms.

En cuanto a los nitritos, cabe resaltar que no se ha detectado este compuesto ni en el momento de llenado de las balsas ni durante el transcurso del estudio. De haber aparecido, sería un indicador para identificar la toxicidad del agua.

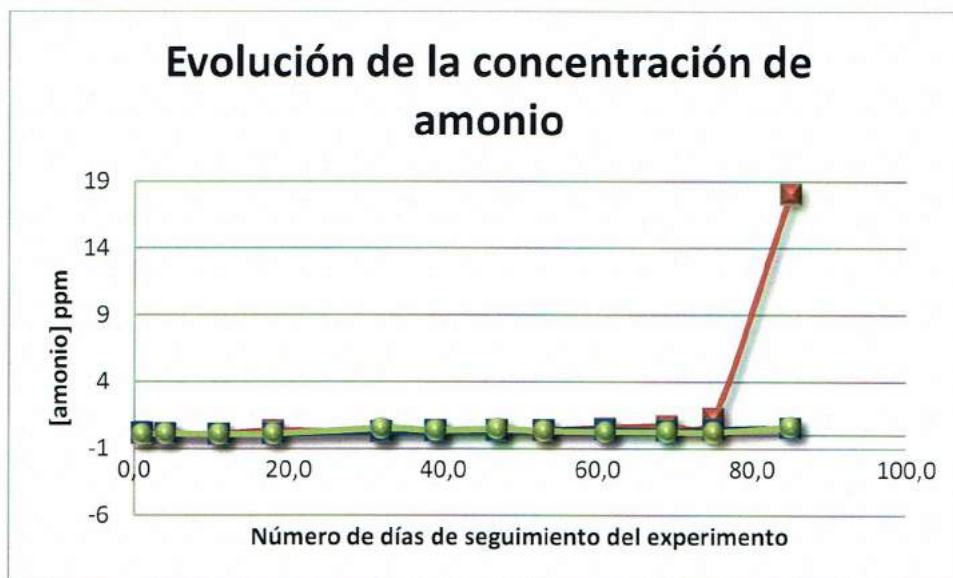


Figura 9: Evolución de la concentración de amonio en las balsas entre los meses de Junio y Agosto de 2014. Rojo: balsa 1; Azul: balsa 2 y Verde: balsa 3. La concentración de amonio se expresa en ppms.

Por último, el seguimiento de la concentración de amonio en las muestras de agua ha revelado que la concentración de este compuesto nitrogenado aumenta considerablemente en la balsa 1, siendo menos significativo su aumento en las otras dos balsas. La explicación a este dato se fundamenta de la misma que la expuesta para el nitrato: la mayor exposición al entorno de la

balsa 1 así como el efecto de aumento de concentración de solutos por evaporación del agua explican este valor elevado para la concentración de amonio.

Demanda química de oxígeno.

Se ha estimado la demanda química de oxígeno en el agua de riego que se usó para el llenado de las balsas (tiempo cero del estudio) así como la demanda química de oxígeno a principios de agosto de julio en las tres balsas encontrando los siguientes valores:

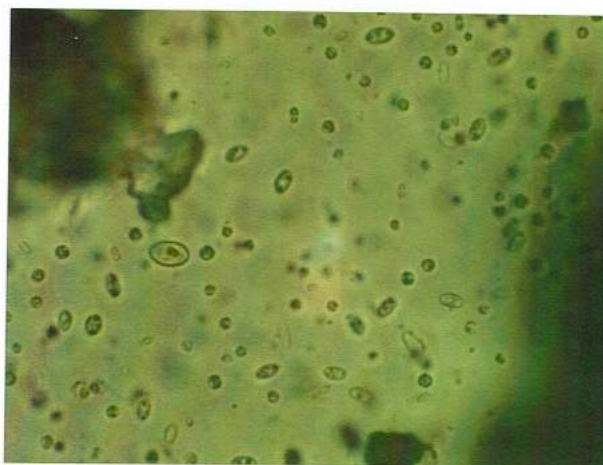
Tabla 2: Valores de DBO en muestras de agua tomadas en distintos momentos del estudio.

Muestra de agua	Demanda Química de oxígeno (mgO ₂ /L)
Agua de riego en el momento del llenado	32
Agua balsa 1 (05/08/2014)	66
Agua balsa 2 (05/08/2014)	43
Agua balsa 3 (05/08/2014)	40

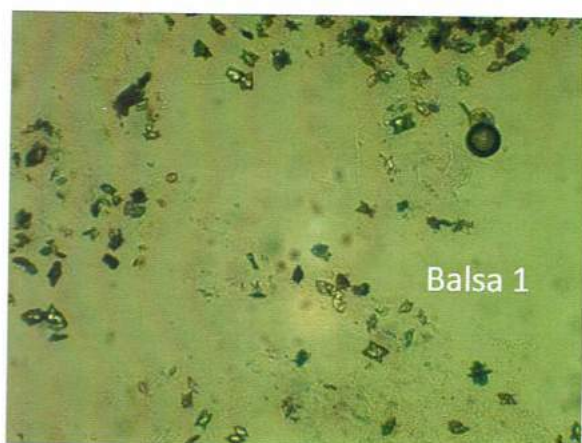
Como puede deducirse de los datos de la tabla anterior, la cantidad de oxígeno consumida por materia (orgánica e inorgánica) presente en el agua que es susceptible de oxidarse es mayor en el agua procedente de la balsa 1. Este dato es el dato esperado puesto que ya los parámetros estimados previamente indicaban que la cantidad de partículas en suspensión en esa masa de agua era superior al de las otras dos balsas.

7.3. Análisis microscópico y recuento en cámara Neubauer.

El estudio microbiológico de las muestras de agua se ha completado realizando un visu de las muestras en fresco y recuento de células en los casos en los que ha sido posible. Sólo se detectaron células en el sedimento precipitado en el fondo de la balsa 1 y en la columna de agua de dicha balsa. Ha sido realmente difícil detectar células en las otras dos balsas de agua si bien sí presentaban restos de partículas inorgánicas, fibras vegetales y algún pequeño insecto.



Fotografía 8: Fotografía de microscopía óptica de restos del fondo de la balsa 1. Se aprecian diatomeas y clorofíceas. Objetivo 10X.



Fotografía 9: Fotografía de microscopía óptica de muestras de la columna de agua de las distintas balsas. Se aprecian diatomeas, clorofíceas fibras vegetales y cristales de carbonatos en la balsa 1 mientras que en las otras dos sólo son apreciables fibras vegetales, algún cristal de carbonato. Puesto que la biomasa generada es poca (debido a la duración del experimento: 3 meses), se ha realizado un recuento con cámara de Neubauer, encontrando menos de 1000 células/mL en el agua de la balsa 1 (baja biomasa).

8. Estudio preliminar del mercado potencial que tendría la comercialización del sistema.

El agua es en general un recurso escaso en la península Ibérica, en particular en el sur. En la Comunidad Valenciana y de la Comunidad de Murcia en 2014 se está dando una situación difícil ya que la cuenca del Júcar presenta un volumen total de agua embalsada cercano a 1392 hm³ (representa el 42% de la capacidad de embalse). El trasvase Tajo-Segura también se encuentra en situación crítica, pues los embalses que garantizan el trasvase se encuentran con una capacidad mínima de agua de 381 hm³ lo que supone un descenso del 22 % en el agua almacenada para el embalse Buen Día y de 238 hm³ (-29%) para el embalse Entrepeñas. Se considera que la sequía ha dañado más de 180 mil hectáreas en el sureste Español, las pérdidas económicas se estiman en más de 350 millones de euros. Estos datos ponen en evidencia la necesidad de plantear:

- La construcción de nuevos embalses para trasvases desde otras cuencas.
- Explorar nuevas técnicas para la gestión de los usos y almacenamiento del agua y de los mecanismos de conservación de los propios embalses.
- Considerar el aporte de agua que realizan las plantas desaladoras existentes.

8.1. Precios del agua de riego en España.

Los datos que se presentan a continuación se han obtenido de Hispagua (Sistema Español de Información sobre el Agua) con fecha 15 Septiembre de 2014:

http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/Tarifas_agua/introduccion.html#canones

En España, los usos del agua se distribuyen principalmente en los siguientes sectores:

Abastecimiento a núcleos urbanos: 4.300 Hm³/año; 14% del consumo.

Industria: 1.900 Hm³ /año; 6% del consumo total.

Regadío: 24.200 Hm³; aproximadamente el 80% del agua total consumida.

Actualmente, los precios de los servicios del agua en España son en general bajos, tanto en los servicios destinados a uso urbano, debido a la existencia de subvenciones públicas, como en los servicios de agua para riego (excepto en los que usan aguas subterráneas), ya que es grande la importancia de los servicios de captación, embalse y transporte de aguas superficiales cuyos costes son reducidos (media de 0,02 €/m³).

Como consecuencia del desarrollo del turismo, el consumo para uso urbano, que supone entre el 8 y 10 % del consumo de agua, se prevé que aumente, precisamente en las zonas donde el agua es más escasa y se emplea con finalidades de ocio (zonas verdes, piscinas, campos de golf, etc.). El consumo de la industria (12-15%) se mantiene como consecuencia de las medidas de ahorro que se están implantando para reducir costes y efluentes contaminantes. El pago medio de los regantes por los servicios de agua de riego se ha estimado en 263 €/Ha al año, mientras que el importe medio de los pagos por los servicios del agua urbana por habitante se ha estimado en 102,06 €/hab/año.

El precio del agua en España, varía de unas regiones a otras; las diferencias entre el importe medio de los pagos de los servicios del agua en los diferentes territorios de nuestro país, se puede deber a variaciones en los tipos y calidad de los servicios prestados y a las inversiones realizadas. *En las cuencas del mediterráneo y en las Islas, los costes en alta representan una parte mayor de los costes totales ya que la escasez de **aguas superficiales** (con un coste en alta de alrededor de **0,02 €/m³**) hace que una parte importante de los servicios (más del 40%) se presten con **aguas subterráneas** (con costes unitarios de hasta **0,39 €/m³** e incluso de **0,72 €/m³**) o con aguas trasvasadas y desaladas.*

8.2. Embalses de riego en España.

A continuación se presenta una relación de datos relativos a embalses de gran tamaño registrado en la España. Estos datos están actualizados a septiembre de 2014. (http://www.mirandoalcielo.com/?page_id=162):

Capacidad embalses:	55343 hm ³	(100%)
Agua embalsada	34804 hm ³	(62.89%)
Variacion Sem. Anterior:	-187 hm ³	(-0.34%)
Agua embalsada (2013):	37469 hm ³	(67.70%)
Agua embalsada (Media 10 años):	27864 hm ³	(50.35%)

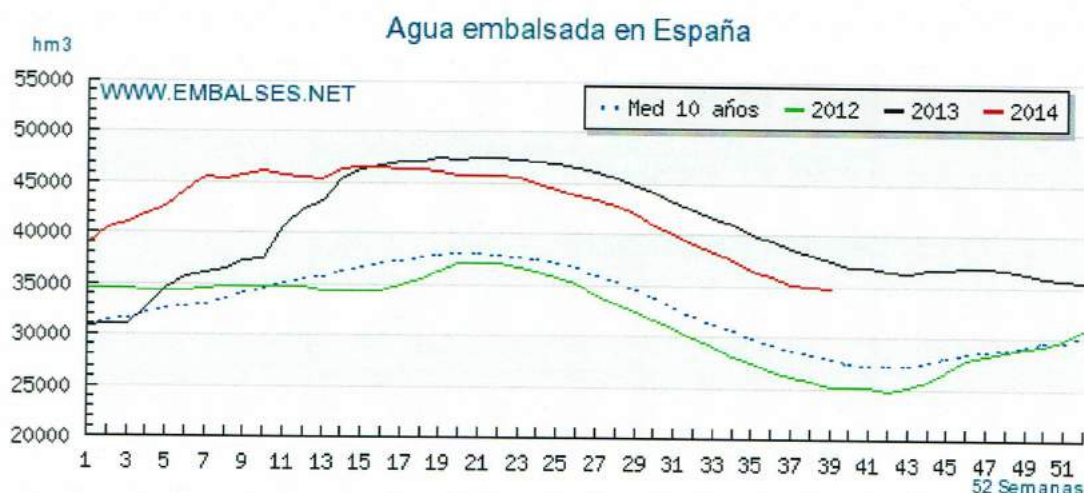


Figura 10: Evolución del volumen de agua embalsada en España.
<http://www.embales.net>/La mayor parte de agua almacenada en embalses se encuentra en presas y balsas localizadas en el sur de la Península Ibérica:

Presas	1300
Balsas	>50.000 Andalucía: 16.543 Murcia: 11.000 Alicante: 2.700 Extremadura: 1.400

Estado de los embalses por provincias.

Provincia	Capacidad	Embalsada		Variación	
Alava	223	147	65.92%	-2	-0.90%
Albacete	727	456	62.72%	1	0.14%
Alicante	315	185	58.73%	0	0.00%
Almeria	231	27	11.69%	0	0.00%
Asturias	509	269	52.85%	-10	-1.96%
Avila	290	148	51.03%	-2	-0.69%
Badajoz	7598	5816	76.55%	10	0.13%
Barcelona	274	225	82.12%	-1	-0.36%
Burgos	139	90	64.75%	-4	-2.88%
Caceres	6627	3948	59.57%	36	0.54%
Cadiz	1800	1336	74.22%	-3	-0.17%
Cantabria	586	349	59.56%	-11	-1.88%
Castellon	221	46	20.81%	1	0.45%
Ciudad Real	512	383	74.80%	0	0.00%
Cordoba	3411	2608	76.46%	-3	-0.09%
Cuenca	1134	756	66.67%	-9	-0.79%

Girona	294	252	85.71%	-1	-0.34%
Granada	1190	783	65.80%	-2	-0.17%
Guadalajara	2931	714	24.36%	-11	-0.38%
Guipuzcoa	29	20	68.97%	0	0.00%
Huelva	872	609	69.84%	-4	-0.46%
Huesca	2393	1498	62.60%	-3	-0.13%
Jaen	2297	1619	70.48%	-7	-0.30%
La Coruña	359	212	59.05%	-23	-6.41%
La Rioja	136	42	30.88%	-3	-2.21%
Leon	1795	584	32.53%	-16	-0.89%
Lleida	1071	757	70.68%	-27	-2.52%
Lugo	895	429	47.93%	-29	-3.24%
Madrid	1060	750	70.75%	-10	-0.94%
Malaga	627	413	65.87%	-2	-0.32%
Murcia	149	42	28.19%	1	0.67%
Navarra	1019	454	44.55%	-18	-1.77%
Orense	1595	1121	70.28%	-7	-0.44%
Palencia	488	173	35.45%	-7	-1.43%
Pontevedra	363	269	74.10%	-4	-1.10%
Salamanca	3422	2895	84.60%	-30	-0.88%
Segovia	84	41	48.58%	-1	-1.18%
Sevilla	957	643	67.19%	3	0.31%
Soria	267	138	51.69%	-3	-1.12%
Tarragona	237	220	92.83%	-2	-0.84%

Teruel	187	93	49.73%	-1	-0.53%
Toledo	451	242	53.66%	-1	-0.22%
Valencia	1910	489	25.60%	3	0.16%
Valladolid	6	6	100.00%	0	0.00%
Zamora	1814	1117	61.58%	-10	-0.55%
Zaragoza	1866	1390	74.49%	25	1.34%

Estado de los embalses por cuencas.

Cuenca	Capacidad	Embalsada	Variación
Tajo	11012	5639	51.21% 15 0.14%
Guadiana	8635	6448	74.67% 7 0.08%
Guadalquivir	8101	5873	72.50% -9 -0.11%
Ebro	7524	4811	63.94% -43 -0.57%
Duero	7520	4882	64.92% -66 -0.88%
Norte	3655	2075	56.77% -51 -1.40%
Júcar	3336	1306	39.15% -6 -0.18%
C. Atl. Andaluza	1878	1377	73.32% -2 -0.11%
C. Med. Andaluza	1177	683	58.03% -5 -0.42%
Segura	1141	679	59.51% 2 0.18%
Galicia Costa	684	446	65.20% -27 -3.95%
Cataluña Interna	677	571	84.34% -2 -0.30%
Pais Vasco Interna	21	14	66.67% 0 0.00%

9. Conclusiones.

El sistema de bolas flotantes reduce la evaporación de agua en un 70%, por tanto contribuye a la reducción de gastos para los regantes en tanto que se minimizan las pérdidas de agua embalsada por evaporación de la misma. ***Este sistema es por tanto amigable con el medio ambiente, reduciría las pérdidas de agua dulce continentales embalsadas y mejoraría los protocolos de gestión de los embalses y mecanismos de regadío.***

Los parámetros físico-químicos-microbiológicos del agua se han mantenido mucho más constantes (y menos alterados respecto al agua de llenado) en las balsas cubiertas que en la balsa sin cubrir. ***Por tanto, el sistema contribuye al mantenimiento de la calidad del agua de riego.*** Esto es especialmente importante en aquellas masas de agua que se destinan al riego de cultivos muy sensibles a cambios en el pH o la salinidad del agua. ***La eutrofización de las aguas queda ralentizada o incluso impedida por el sistema de bolas flotantes*** ya que se minimiza la llegada de sedimentos y materia orgánica a la masa de agua y la interacción de la luz con el agua también queda impedida (principales factores promotores del crecimiento de las algas en aguas).

La cantidad de sedimentos en el fondo de las balsas ha disminuido significativamente en las balsas cubiertas respecto a la descubierta. ***Este hecho resulta de interés para la gestión y mantenimiento de embalses y filtros de conducción de agua de regadío ya que así se palia la formación de lodos, fangos y costras de precipitación que disminuyen la vida media útil de los embalses.***

10. Bibliografía.

Juan GR (2014) El problema del agua en la Comunidades Valenciana y de Murcia se complica. Agua y Riego. Vol. 5, Nº 1: 29-30, España.

Maestre Valero JF (2011) Efectos de la aplicación de coberturas de sombreo suspendidas sobre balsas de riego. Universidad Politécnica de Cartagena. Tesis Doctoral. 159 páginas. <http://hdl.handle.net/10317/2036>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1986) Cuantificación de nitrato mediante ultravioleta. In: Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III. Dirección General de Política Alimentaria, pp 246–247

Weatherburn MW (1967) Phenol hypochlorite reaction for determination of ammonia. Anal Chem 39:971

Snell, C.D. and Snell, C.T. (1949) Colorimetric Methods of Analysis, 2, pp. 802–807. Van Nostrand, New York.

Páginas webs consultadas:

http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/Tarifas_agua/informacion.html#informacion

Sistema Español de Información sobre el Agua

<http://www.fenacore.org/>

Federación Nacional de comunidades de regantes de España.

<http://www.embalses.net/>

Embalses y pantanos en España

<http://www.plataformaagua.org/>

Plataforma tecnológica española del agua.

<http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/plan-nacional-de-regadios/texto-completo/>

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

http://www.meteoclimatic.net/perfil/ESPVA0300000003400A?screen_width=1280

Web oficial de la estación meteorológica de "Los Cabezos" Villena, Alicante.

11. Anexo 1: Histórico de parámetros climáticos durante los tres meses del estudio.

Los datos han sido tomados de <http://www.eltiempo.es/villena.html?v=historico>

Temperaturas medias diarias:



Precipitaciones medias diarias:



Velocidad media diaria del viento:

