

Ultrasonidos para el control de algas en aguas regeneradas almacenadas en balsas de riego

(Recibido: 07/03/2016; Aceptado: 26/05/2016)

Maestre Valero, J.F.¹; Martínez-Álvarez, V.²; Soto-García, M.³; Pedrero-Salcedo, F.⁴

¹ Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Murcia, España, Tel: +34-968325658. Fax: +34-968327031,

² Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Murcia, España

³ Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 22, 30201 Cartagena, Murcia, España

⁴ Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Campus Universitario de Espinardo, 30100, Murcia, España

Email: josef.maestre@upct.es

Resumen. El almacenamiento de agua regenerada en balsas de riego favorece la proliferación de algas que pueden afectar negativamente a los sistemas de riego. Este estudio evaluó el efecto de los ultrasonidos sobre parámetros físico-químicos y microbiológicos y sobre la presencia de algas en el agua almacenada en las balsas. Dos equipos de ultrasonidos se instalaron en dos de las cuatro balsas seleccionadas. Los resultados muestran que los ultrasonidos pueden controlar el crecimiento de microalgas, mejorar la calidad del agua almacenada y así evitar problemas de obturación en los sistemas de riego.

Palabras clave. Calidad del agua; Balsas de riego; Reutilización de agua.

Abstract.

Algae growth in water stored in agricultural water reservoirs may affect negatively the irrigation system. This study aimed to evaluate the effect of the ultrasounds on the water quality by measuring physical-chemical-microbiological parameters and algae concentration in water reservoirs. Two ultrasound emitting devices were installed in two of the four reservoirs selected for the study. Results show that ultrasounds can control microalgae growth, improving the quality of the water and hence reducing clogging problems in the irrigation systems.

Keywords. Water quality; Water reservoirs; Water reuse.

1. Introducción

En las regiones áridas y semiáridas, como el sureste de España, la disponibilidad de agua de riego en cantidad y calidad suficiente se ha convertido en un factor limitante de la actividad agrícola que ha potenciado la competitividad por los recursos hídricos. En estas regiones, donde la escasez y la disponibilidad de agua varían estacionalmente, las balsas de riego son una instalación común para garantizar el suministro de agua a los cultivos pues permiten amortiguar el desfase temporal que se produce entre la disponibilidad de los recursos y su demanda. En el caso particular de la Cuenca del Segura, región donde se ha realizado este ensayo, existen más de 15.000 balsas de riego (Maestre-Valero et al., 2011).

A pesar de los beneficios expuestos y de que son requisito fundamental para la sostenibilidad del riego en esta cuenca deficitaria, la gran cantidad de nutrientes que a menudo contienen las aguas de riego almacenadas en balsas, junto con las condiciones climáticas adecuadas, provocan el crecimiento y desarrollo de algas de tamaño microscópico que pueden provocar problemas técnicos y de calidad del agua (Brainwood et al., 2004). Además, cuando el agua almacenada se destina a riego localizado, se

producen frecuentemente obturaciones de los emisores que afectan principalmente a la uniformidad de aplicación de agua de riego en parcela, lo cual conduce a variaciones en el crecimiento y reducciones en la productividad del cultivo (Adin y Sacks, 1991). Este último inconveniente se agudiza más aún cuando se almacenan aguas regeneradas pues la concentración disponible de nutrientes es más elevada y favorece el desarrollo de algas.

En la bibliografía se pueden encontrar diferentes técnicas de mejora de la calidad del agua almacenada dirigidas a reducir principalmente la presencia de micro y macro algas, como son las técnicas biológicas de implementación de paja de cebada (Purcell et al., 2012) o introducción de bacterias de secreción de enzimas líticas (Peng et al., 2003) en el agua, las técnicas químicas de adición de alguicidas como el sulfato de cobre o el permanganato potásico y las técnicas físicas como el uso de coberturas de sombreo suspendidas o flotantes (Martínez-Álvarez et al., 2009) y los ultrasonidos (Heng et al., 2007).

Entre estas técnicas, este estudio evaluó el efecto de los ultrasonidos sobre la presencia de algas y sobre los parámetros físico-químicos y microbiológicos de interés agronómico del agua regenerada almacenada en balsas de riego.

2. Materiales y métodos

2.1. Las balsas de riego y los ultrasonidos

El ensayo se llevó a cabo en cuatro balsas de riego. Tres de ellas almacenaron aguas regeneradas (AR) (San Javier; SJ, Alcázares 1; AC1 y Alcázares 2; AC2) y en dos de las balsas que almacenaron aguas regeneradas se instalaron equipos de ultrasonidos (1 equipo por balsa; modelo TISU XXI). Los equipos se instalaron a principios de junio de 2014. La balsa restante almacenó agua del transvase Tajo – Segura; TS. Los sistemas de tratamiento de ultrasonidos para el control de algas son sistemas submarinos de sonido, de alta especificidad y que emiten ondas de sonido ultrasónico para destruir las algas. Las ondas originan la rotura de los diferentes orgánulos celulares tales como las vacuolas, la pared celular o la membrana y las vesículas de gas de las algas verde-azuladas (Rajasekhar et al., 2012). La Tabla 1 muestra las características de las balsas.

Tabla 1. Características de las balsas seleccionadas en el experimento.

Balsa	Tipo agua	Dimensiones (m) (L x A x P)	Caudal depuradora (m ³ /día)
TR	TS	450x120x6	-
SJ	AR	120x70x4	Invierno = 7.000 Verano = 15.000
AC1*	AR	110x105x2	Invierno = 5.000 Verano = 10.000
AC2*	AR	100x13x2	Invierno = 5.000 Verano = 10.000

* Instalación de un equipo de ultrasonidos

2.2. Ensayo y calidad del agua

El experimento se realizó durante 3 meses, desde final de mayo a final de agosto de 2014. Cada dos semanas se recogieron muestras de agua de cada balsa (1L), que se transportaron directamente al laboratorio en nevera portátil y se almacenaron a 5°C antes de ser procesadas. Se realizaron análisis en el laboratorio tanto físico-químico como microbiológico. Los análisis físicoquímicos consistieron en la determinación mediante (ICP-OES ICAP 6500 Duo Thermo, Inglaterra) de la concentración de los macronutrientes (Na, K, Ca, Mg), micronutrientes (Fe, B, Mn) y metales pesados (Ni, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) y los sólidos en suspensión (filtrado a vacío en un matraz Kitasato con embudo Buchner y pesada de filtros; poro = 0,47 mm y estufa a 105°C). Los análisis microbiológicos consistieron en la detección del número total de *E. coli* presente en un volumen de 100 mL, por el método de filtración por membrana. Además, se realizaron registros para el perfil de profundidad de la calidad del agua in situ mediante una sonda multiparamétrica modelo Hidrolab DS.5 (OTT hidromet, Kempton, Alemania) dotada de sensores para determinar temperatura, conductividad eléctrica (CE) y clorofila-

a (Cl-a; proxy de microalgas). Las muestras y sondeos se tomaron y realizaron siempre en el espacio horario de entre la 13:00 h y 16:00 h (GMT).

Adicionalmente, se evaluó de forma visual la evolución de la cantidad de macrófitas en las balsas de riego durante el periodo de ensayo.

3. Resultados y discusión

Los parámetros físico-químicos analizados in situ no presentaron variaciones en el perfil de profundidad, de modo que los resultados para estos parámetros muestran el valor medio para todo el perfil de profundidad en cada fecha de muestreo.

Conductividad eléctrica (CE)

Las balsas AC1, AC2 y SJ presentaron valores más elevados de salinidad que TR, durante el periodo de muestreo (Fig. 1a). La evolución de la CE en las tres balsas de almacenamiento de aguas regeneradas fue similar, mostrando una reducción progresiva en la época estival (debido al aumento del caudal tratado) y un aumento al finalizar la misma (Fig. 1b).

Clorofila-a (Cl-a) y sólidos en suspensión (SS)

La concentración de Cl-a (proxy de microalgas) en todos las balsas ensayadas permaneció en un rango de valores entre 5 - 15 µg/l; excepto en AC1, AC2 y SJ al inicio del ensayo antes de la instalación de los equipos de ultrasonidos en AC1 y AC2. Durante los dos primeros muestreos (mayo y junio), la concentración de Cl-a de la balsa SJ presentó valores elevados (35-40 µg/l) y la concentración de Cl-a en las balsas AC1 y AC2 osciló entre 15 - 30 µg/l (Fig. 2a). Una vez se instalaron los equipos de ultrasonidos, se observó una reducción significativa en la concentración de Cl-a y por tanto de microalgas en las balsas AC1 y AC2 que alcanzó a finales de junio valores en torno a 5 µg/l. A pesar de que en la balsa SJ no se instaló ningún equipo de ultrasonidos, se detectó una reducción similar en la concentración de Cl-a a las balsas AC1 y AC2. Esta reducción se atribuyó principalmente a las frecuentes limpiezas manuales de las algas (*Potamogeton Pectinatus* y *Cladophora Glomerata*) en la balsa SJ realizadas por los operarios de la EDAR (Figura 3).

Como era de esperar, la concentración de sólidos en suspensión (SS) mostró una cierta relación con la concentración de Cl-a (Fig. 2b). Esta relación fue más elevada para las balsas que mostraron una mayor cantidad de macroalgas en descomposición (SJ > AC1 > AC2 > TR). Es importante señalar que solamente en el segundo muestreo la balsa SJ presentó valores de SS superiores a los máximos establecidos por el Real Decreto 1620/2007 que regula la reutilización de las aguas regeneradas para usos agrícolas en el caso 2.1 (SS = 20 mg/L).

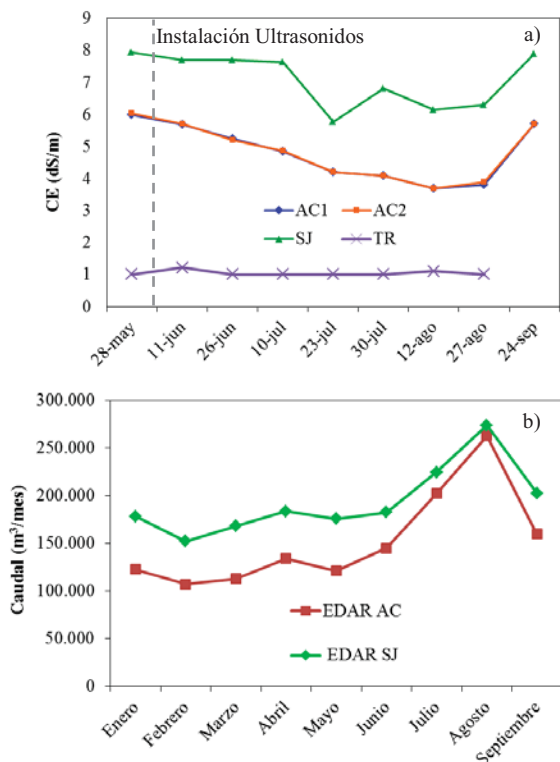


Figura 1. Evolución de (a) la conductividad eléctrica (CE) para las balsas AC1, AC2, SJ Y TR y (b) del caudal de las EDAR de Los Alcázares y San Javier en el periodo de muestreo.

Escherichia coli (E-coli)

La concentración de *E-coli* se encontró bajo el valor máximo admisible del Real Decreto 1620/2007 para el uso agrícola más restrictivo (100 UFC/100 mL). El valor medio de la concentración de *E-coli* durante el periodo de ensayo y a partir de la instalación de los equipos de ultrasonidos fue de 17,4 UFC/100 mL y 23,4 UFC/100 mL en las balsas AC1 y AC2, respectivamente, mientras que en las balsas SJ y TR estos valores fueron algo superiores 32,5 UFC/100 mL y 31,9 UFC/100 mL, respectivamente. Los valores inferiores de *E-coli* en las balsas AC1 y AC2 se atribuyen a un efecto combinado de la aplicación de ultrasonidos (Toscano et al., 2013) y a un proceso de depuración natural producido por la incidencia de la radiación solar (Sala y Millet, 1997).

Elementos nutricionales

Los macronutrientes como nitrógeno y fósforo son una preocupación ambiental por sus roles como factores limitantes en el crecimiento de plantas acuáticas que pueden causar la degradación de la calidad del agua y la aceleración del proceso de eutrofización. En las balsas de aguas regeneradas estudiados, la concentración de PO_4^{3-} fue superior al límite establecido de riesgo de eutrofización (1,5 mg/l) (Sawyer et al., 1994), particularmente en SJ donde tanto las concentraciones de NO_3^- , PO_4^{3-} y K fueron superiores a los de AC1 y AC2 (Tabla 2). Tras comparar los valores de NO_3^- , PO_4^{3-} y K del efluente proporcionados por ESAMUR (Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia; datos no mostrados), no se observó ningún efecto del embalsamiento ni de los

ultrasonidos en la concentración de los mismos, debido probablemente al corto tiempo de residencia de las aguas de riego en las balsas. En la balsa TR, los valores durante todo el ensayo fueron inferiores a los límites de riesgo de eutrofización.

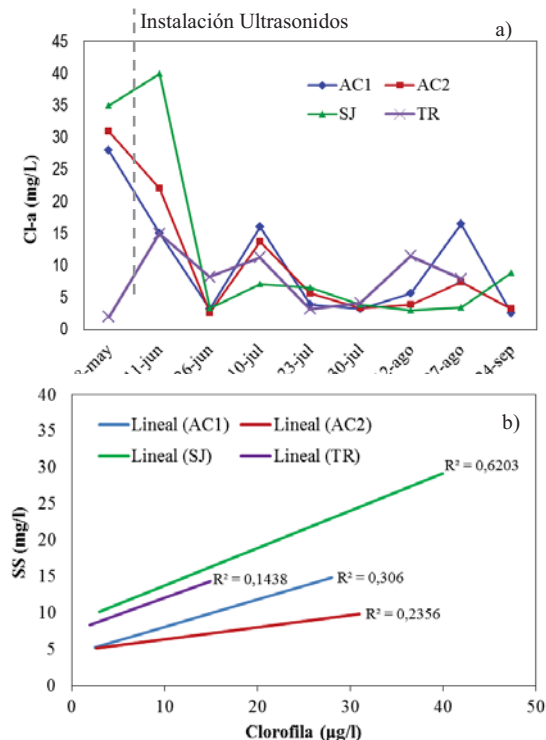


Figura 2. Evolución de (a) la concentración de la clorofila-a y (b) regresiones lineales entre la concentración de clorofila-a y los sólidos en suspensión para las balsas AC1, AC2, SJ Y TR en el periodo de muestreo.



Figura 3. Limpieza manual de la balsa SJ durante el periodo del ensayo.

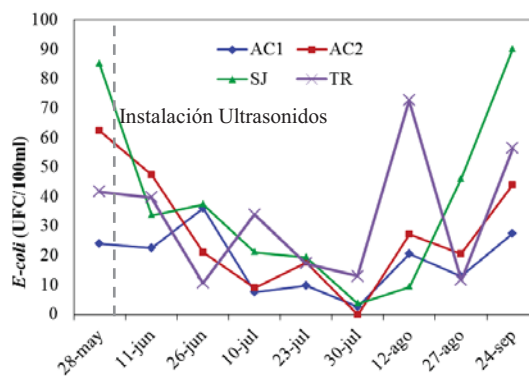


Figura 4. Evolución de la concentración E-coli para las balsas AC1, AC2, SJ Y TR en el periodo de muestreo.

En el caso de los elementos fitotóxicos, Cl^- y Na^+ presentaron concentraciones muy superiores en las balsas con agua regenerada, especialmente la balsa SJ. En cuanto al B, se observó una concentración

menor de 1 mg/L en las balsas AC y SJ. Estos valores elevados de Na⁺, Cl⁻ y B podrían inducir toxicidad en cultivos como por ejemplo naranjo, melocotonero, alcachofa, etc. (Navarro, 2010).

Tabla 2. Valores medios de concentración de macronutrientes, micronutrientes y aniones en las balsas (TR, AC1, AC2 y SJ) durante el ensayo.

	TR	AC1	AC2	SJ
Macronutrientes				
Na ⁺ (mg/L)	66,51	729,18	753,52	1218,03
K (mg/L)	6,19	39,91	40,31	56,55
Ca (mg/L)	81,87	151,28	151,6	156,28
Mg (mg/L)	44,12	148,63	153,35	201,83
P (mg/L)	0,10	1,92	1,85	2,66
S (mg/L)	78,20	223,28	224,92	232,02
Micronutrientes				
B (mg/L)	0,11	0,92	0,91	0,88
Mn (mg/L)	0,23	0,61	0,61	0,77
Aniones				
Cl ⁻ (mg/L)	99,1	1132,8	1054,8	1899,4
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,93	2,32	2,34	4,72
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	1,00	5,41	4,78	6,28
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	233,9	677,8	628,9	671,9

3. Conclusiones

Aunque el almacenamiento de las aguas de riego produce múltiples beneficios tanto hidráulicos como físico-químicos y biológicos, en regiones semiáridas con un alto potencial agrícola como la Región de Murcia, el crecimiento de algas puede suponer un factor determinante en el deterioro de la calidad del agua de riego.

La implantación de equipos de ultrasonidos permite controlar el crecimiento de microalgas, manteniendo la concentración de éstas en valores aceptables para evitar problemas de obturación en los sistemas de riego. La concentración de sólidos en suspensión presentes presentó cierta relación con la concentración de clorofila-a (microalgas). A nivel de macroalgas, la aplicación de ultrasonidos parece mejorar la calidad del agua almacenada, aunque no es capaz por sí solo de garantizar su control.

No se ha observado ningún efecto de los ultrasonidos sobre la concentración de macronutrientes, micronutrientes, aniones y la conductividad eléctrica.

La combinación de ultrasonidos, junto con la probable desinfección natural del agua por efecto de la radiación solar, ha mostrado ser eficaz para evitar el crecimiento de E-Coli en las balsas de riego por encima de los umbrales permitidos por el RD 1620/2007 para el uso más restrictivo (calidad 2.1; máx = 100 UFC/100 mL). La existencia de limpieza manual ha sido un aspecto importante a considerar en los resultados finales obtenidos.

Referencias

- [1] Adin, A. & Sacks, M. (1991). Dripper clogging factors in wastewater irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 117 (6), 813–826.
- [2] Brainwood, A., Burgin, S. & Maheshwari, B. (2004). Temporal variations in water quality of farm dams: impacts of land use and water sources. *Agricultural Water Management*. 70, 151–175.
- [3] Heng, L., Jun, N., Wen-jieb H. & Guibaia, L. (2007). Algae removal by ultrasonic irradiation–coagulation. *Desalination* 239,191–197.
- [4] Maestre Valero, José Francisco (2011). Efectos de la aplicación de coberturas de sombreo suspendidas sobre balsas de riego. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena.
- [5] Martínez-Alvarez, V., Leyva, J.C., Maestre-Valero, J.F., Gorriz, B.M. (2009). Economic assessment of shade-cloth covers for agricultural irrigation reservoirs in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management* 96 (9), 1351-1359.
- [6] Navarro, T.M. (2010). Reutilización de aguas regeneradas. Aspectos tecnológicos y jurídicos. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua.
- [7] Purcell, D., Parsons, S.A., Jefferson, B., Holden, S., Campbell, A., Wallen, A., Chipps, M., Holden, B. & Ellingham, A. (2012). Experiences of algal bloom control using green solutions barley straw and ultrasound, an industry perspective. *Water and Environment Journal* 2, 148–56.
- [8] Peng, C., Wu, G., Xi, Y., Xia, Y., Zhang, T. & Zhao, Y. (2003). Isolation and identification of three algae-lysing bacteria and their lytic effects on bluegreen algae (cyanobacteria). *Research of Environmental Sciences* 16, 37–40.
- [9] Rajasekhar, P., Fan, L., Nguyen, T. & Roddick, F.A. (2012). A review of the use of sonication to control cyanobacterial Blooms. *Water Research* 46, 4319–4329
- [10] Sala, L. & Millet, X. (1997). Aspectos básicos de la reutilización de las aguas residuales regeneradas para el riego de campos de golf. Apuntes de las jornadas técnicas del golf, 1995.
- [11] Sawyer, C., McCarty, P. L., & Parkin, G.F. (1994). *Chemistry for Environmental Engineering*. Fourth Ed. p. 552–566 y 596–601.
- [12] Toscano, A., Hellio, C., Marzo, A., Milani, M., Lebre, K., Giuseppe, L., Cirelli, G.L. & Langergraber, G. (2013). Removal efficiency of a constructed wetland combined with ultrasound and UV devices for wastewater reuse in agriculture. *Environmental Technology*, 34:15, 2327–2336.