



Efectos del tratamiento con sulfato de cobre (CuSO_4) sobre la calidad del agua de balsas de riego*

Ricardo González Quintero**, Irene Gallego***, Melchor Juan Cazorla****, Francisca Fuentes Rodríguez*****, Santiago Bonachela*****, José Jesús Casas*****

Effects of treatment with copper sulfate (CuSO_4) on water quality irrigation ponds

Efeitos de sulfato de cobre (CuSO_4) na qualidade da água de lagoas de irrigação

RESUMEN

Introducción. En el litoral almeriense la expansión e intensificación de la agricultura de regadío dio lugar a la construcción de balsas de riego en las últimas décadas, principalmente en áreas con elevado

desarrollo agrícola y escasez de agua. La calidad del agua de las balsas agrícolas depende, en gran medida, de la gestión que los agricultores realicen en las mismas y, con frecuencia, esta gestión no permite compatibilizar las funciones agronómicas con las ambientales. **Objetivo.** Evaluar mediante una

*Artículo original derivado del proyecto de investigación: "Conservación de la biodiversidad y gestión de la calidad del agua el balsas de riego de la agricultura intensiva", Asociado a los proyectos de excelencia junta de Andalucía, Financiado por la Junta de Andalucía entre los años 2007 y 2010. **Ingeniero sanitario, especialista en Ingeniería Ambiental, magíster en Agua y Medio Ambiente en zonas semiáridas. Investigador visitante en CIAT, Palmira-Valle, Colombia. E-mail: rgqg12@gmail.com. ***Licenciada en Ciencias Ambientales, magíster en Biotecnología, doctora en Ecología Acuática. Investigadora en Universidad de Ginebra, Ginebra-Suiza. E-mail: Irene.Gallego@unige.ch. ****Licenciado en Biología, doctor en Producción Vegetal. Investigador en Universidad de Almería, Almería-España. E-mail: mjcazorla@ual.es. *****Licenciada en Ciencias Ambientales, doctora en Biología Animal. Investigadora en Universidad de Almería, Almería-España. E-mail: ffuentes@ual.es. *****Ingeniero Agrónomo, doctor en Agronomía. Profesor titular Universidad de Almería, Almería-España. E-mail: bonache@ual.es. *****Licenciado en Biología, doctor en Biología. Profesor titular Universidad de Almería, Almería-España. E-mail: jjcasas@ual.es

Autor correspondencia: Ricardo González Quintero, email: rgqg12@gmail.com
Artículo recibido: 15/08/2015; Artículo aprobado: 20/05/2016

aproximación experimental de campo, el efecto que el tratamiento con sulfato de cobre (CuSO_4) tiene sobre la calidad del agua de las balsas de riego del sureste de España. **Materiales y métodos.** Se evaluaron, durante una campaña agrícola, algunas características físico-químicas y biológicas indicadoras de la calidad del agua para riego localizado, en 6 balsas de riego: 3 tratadas con el mencionado biocida y 3 no tratadas. **Resultados.** En las balsas tratadas la concentración de cobre mostró un pico promedio de $300 \mu\text{g L}^{-1}$ a los 10 días del tratamiento, pero a partir de los 50 días la concentración de cobre no difirió significativamente

de la medida en balsas no tratadas. **Conclusiones.** El tratamiento con sulfato de cobre afectó negativamente la calidad del agua para riego, al determinar incrementos de sólidos en suspensión y clorofila *a* planctónica en las balsas tratadas. El tratamiento inhibió el desarrollo de la vegetación acuática sumergida (VAS), aunque es posible que esta inhibición fuese también como consecuencia de un régimen de frecuentes tratamientos con biocidas en años precedentes.

Palabras clave: balsas de riego, calidad del agua, sulfato de cobre, vegetación acuática sumergida (VAS)

ABSTRACT

Introduction. In the Almería littoral, the expansion and intensification of irrigated agriculture led to the construction of irrigation ponds in recent decades, mainly in areas with high agricultural development and water scarcity. The water quality of agricultural ponds depends, largely, of the management that the farmers made, and frequently, this management does not allow compatibility between the agronomic and the environmental functions. **Objective.** Assess, using a field experimental approach, the effect of treatment with copper sulfate (CuSO_4) has on water quality of irrigation ponds in southeast of Spain. **Materials and methods.** Some physicochemical and biological characteristics indicators of water quality for drip irrigation were evaluated during a cropping season in 6 irrigation ponds including: 3

treated and 3 untreated with biocidal. **Results.** In treatment ponds, the copper concentration showed a peak average of 300mg L^{-1} at 10 days of treatment but at 50 days the copper concentration of these ponds didn't differ significantly with the untreated ponds concentration value. **Conclusions.** The treatment with copper sulfate adversely affect the quality of water for irrigation by determining increases in the concentration of suspended solids and planktonic chlorophyll *a* in the treated ponds. The treatment inhibited the development of submerged aquatic vegetation (SAV) although this inhibition may also be as a result of a regime of frequent treatments with biocides in previous years.

Key words: irrigation ponds, water quality, copper sulfate, submerged aquatic vegetation (SAV)

RESUMO

Introdução. A expansão e intensificação da agricultura irrigada na costa de Almeria levou à construção de lagoas de irrigação nas últimas décadas, principalmente em áreas com grande desenvolvimento agrícola e escassez de água. A qualidade da água dessas lagoas agrícolas depende em grande parte da gestão dos agricultores e muitas vezes esta gestão não permite que as funções agrônômicas sejam compatíveis com o meio ambiente. **Objetivo.** Avaliar por uma abordagem experimental de campo o efeito do tratamento com sulfato de cobre (CuSO_4) na qualidade da água da lagoa de irrigação no sudeste de Espanha. **Materiais e métodos.** Alguns indicadores biológicos de qualidade da água para irrigação por gotejamento físico-química foram avaliados em seis

lagoas de irrigação com dois tratamentos (com e sem CuSO_4 , com tres repetições), durante um ano agrícola. **Resultados.** Nas lagoas tratadas, após 10 dias de tratamento, a concentração de cobre mostrou um valor médio de $300 \mu\text{g l}^{-1}$, sendo significativamente maior que nas não tratadas, mas depois de 50 dias não se manteve essa diferença. **Conclusões** O tratamento com sulfato de cobre afetou negativamente a qualidade da água para a irrigação, ao determinar o aumento no teor de sólidos em suspensão e clorofila *a* planctônicas nas lagoas tratadas. O tratamento inibiu o crescimento de vegetação aquática submersa (VAS), embora esta inibição também pode ser devido a um regime de tratamentos frequentes com CuSO_4 nos anos anteriores.

Palavras chave: lagoas de irrigação, qualidade da água, sulfato de cobre, vegetacao aquatica submersa (VAS)

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos continentales, en particular los humedales, tienen funciones clave en la biosfera, principalmente por su papel como puntos calientes biogeoquímicos y de biodiversidad (Mitsch y Gosselink, 2000).

En España, la expansión e intensificación de la agricultura de regadío ha dado lugar a la construcción de balsas de riego en áreas con elevado desarrollo agrícola y con escasez de agua (las balsas de riego corresponden a reservorios de agua para el regadío de cultivos, y su diseño general es con base de piedra y hormigón, con planta y perfil cuadrangular y con estructura mayoritariamente emergente). Debido a esto, los agricultores han implantado sistemas de riego localizado más eficientes y uniformes, los cuales requieren un suministro hídrico más continuo que los sistemas de riego tradicionales. Este es el caso de la costa mediterránea del sureste de España, que constituye una de las mayores zonas de invernaderos en el mundo, con aproximadamente 38.000 ha, dedicadas a la producción hortícola intensiva (Castilla y Hernández, 2005). En la provincia de Almería, el conjunto de balsas ocupa una superficie total de lámina de agua de alrededor de 617 ha, algo menos de la mitad de la superficie total de humedales naturales existentes en la provincia, las cuales son alimentadas principalmente por aguas subterráneas (Casas, Toja, Peñalver, Juan, León y Fuentes-Rodríguez, 2012). Estos cuerpos de agua tienden a naturalizarse proporcionando hábitats alternativos para algas, plantas, invertebrados y vertebrados, frente a la acelerada pérdida y degradación de sus hábitats naturales (Casas, Toja, Bonachela, Fuentes-Rodríguez, Gallego y Juan, 2011a; Casas et al., 2012). Sin embargo, la diversidad biológica que pueden albergar las balsas agrícolas depende, en gran medida, de la gestión que los agricultores realicen en las mismas, y con frecuencia esta gestión no permite compatibilizar las funciones agronómicas con las ambientales (Casas, Sánchez-Oliver, Sanz, Furné, Trenzado y Juan, 2011b). Por ejemplo, la aplicación de sulfato de cobre es una de las prácticas de gestión más frecuente en las balsas

almerienses. La mayoría de los agricultores realizan dicha gestión con la pretensión de erradicar la vegetación acuática sumergida (VAS) que de forma natural tiende a desarrollarse en sus balsas, para así intentar mejorar la calidad del agua para riego. No obstante, estudios extensivos recientes sugieren que la aplicación de sulfato de cobre empeora la calidad del agua para riego localizado, al aumentar los sólidos en suspensión del agua (Bonachela, Juan, Casas, Fuentes-Rodríguez, Gallego y Elorrieta, 2013) y tiene efectos deletéreos sobre la biodiversidad que estas albergan (Fuentes-Rodríguez, Juan, Gallego, Lusi, Fenoy y Leon 2013).

Las balsas de riego, como componente de los agrosistemas de regadío, tienen el potencial de albergar numerosas especies de microorganismos, plantas y animales, que contribuyen a la diversificación del agrosistema, y lo hacen más resiliente frente a fuerzas externas desestabilizadoras (Altieri, 1999; Swift, Izac y Van Noordwijk, 2004). En particular, las plantas acuáticas sumergidas, en la actualidad mayoritariamente denostadas por los agricultores, tienen capacidades para aclarar el agua, mejorando su calidad para sistemas de riego localizado (Bonachela et al., 2013; Juan, Casas, Elorrieta, Bonachela, Gallego, Fuentes-Rodríguez y Fenoy, 2014), y, a su vez, crean hábitats que sirven de refugio y proveen de alimento a numerosas especies de macroinvertebrados bentónicos (Fuentes-Rodríguez et al., 2013).

El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar, mediante una aproximación experimental de campo, el efecto que el tratamiento con sulfato de cobre tiene sobre la calidad del agua en balsas de riego de la horticultura intensiva de invernadero de Almería. Para ello se seleccionaron seis balsas de riego, tres de ellas sometidas a tratamiento con sulfato de cobre, y tres sin este tratamiento, en las que se estudió la calidad del agua tras la desecación, drenaje y llenado de las balsas (al final de primavera) durante un período correspondiente a la duración de la campaña agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para el presente trabajo se seleccionaron seis balsas de riego situadas en el sureste de España, Comunidad de Andalucía, Provincia de Almería, Vega del Bajo Andarax. Las seis balsas estaban dedicadas al riego de cultivos hortícolas de

invernadero, tenían un tamaño parecido, una misma fuente de agua subterránea, y regaban superficies de finca similares (tabla I). Además, todas las balsas correspondieron a un mismo tipo constructivo, a base de piedra y hormigón con planta y perfil cuadrangular, con estructura mayoritariamente emergente, y mostraron una edad similar (tabla I).

Tabla I. Algunas características morfométricas y de manejo de las balsas de riego estudiadas

	Nombre (código)	Superficie (m ²)	Profundidad Máxima (m)	Volumen Máximo (m ³)	Tasa de renovación (días)	Dosis nominal CuSO ₄ (ppm)
Balsas no tratadas	Cortijo Rojas 1 (CR1)	343,00	1,65	566	35	0
	Cortijo Rojas 2 (CR2)	178,10	1,60	285	38	0
	Colegio (COL)	278,80	1,65	460	19	0
Balsas tratadas con Cu	Cortijo Rojas 3 (CR3)	209,20	1,30	272	23	3,30
	Vega 7 (V7)	310,50	1,62	503	15	1,90
	Vega 9 (V9)	305,30	1,50	458	15	2,30

Fuente: elaborado por los autores

Diseño experimental

Para realizar el estudio bajo dos regímenes de gestión diferentes, algunos meses antes de comenzar el experimento se hizo una prospección de la zona de estudio mediante entrevistas a agricultores. El objetivo de esta prospección fue acordar con ellos la posibilidad de realizar el seguimiento de sus balsas, durante una campaña completa, tras la desecación y dragado al final de la campaña agrícola. Finalmente se seleccionaron seis balsas, tres de ellas sometidas a tratamiento con sulfato de cobre y otras tres exentas del mencionado tratamiento con biocida (tabla I). En ambos casos el seguimiento se realizó tras el dragado de final de primavera/principios de verano y posterior inundación al inicio de la campaña de otoño. Además, se aseguró que el historial de manejo en cada grupo de balsas, con y sin tratamiento con biocida, fuese

congruente con el tratamiento que se iba a aplicar. De este modo, los agricultores dueños de las balsas tratadas con el biocida aseguraron que aplicaban tratamientos como un método rutinario de manejo, mientras que los dueños de las balsas no tratadas declararon que nunca o casi nunca habían tratado sus balsas con sulfato de cobre. Estas declaraciones se constataron en buena medida por el hecho de que los primeros presentaron balsas sin vegetación acuática sumergida y las balsas de segundo grupo mostraron vegetación antes del dragado. Las balsas que mostraron vegetación antes del dragado se muestrearon antes de efectuar la limpieza con el fin de establecer una línea base para posteriores comparaciones. El total de las balsas fue muestreado (después del dragado) desde el final del verano-principio del otoño de 2008 y durante casi un período anual que

corresponde a toda la campaña agrícola. Desde la limpieza de las balsas y su inundación, y del tratamiento con CuSO_4 (en el caso del grupo “tratadas”), se realizaron nueve muestreos, cuya frecuencia se redujo a lo largo de la campaña, durante los días 5, 10, 17, 31, 51, 91, 160, 220 y 280.

Características fisicoquímicas y biológicas del hábitat

En cada fecha de muestreo, la calidad del hábitat fue caracterizada midiendo los siguientes parámetros abióticos y bióticos en cada balsa de riego: la conductividad eléctrica, el pH y el oxígeno disuelto del agua se midieron *in situ* mediante una sonda multiparamétrica (modelo 9828, Hanna®, Padova, Italy); se obtuvieron muestras de agua integrando el perfil batimétrico de las balsas mediante un muestreador tipo tubo de plexiglass o mediante una bomba peristáltica; el volumen de agua obtenido se homogeneizó y se obtuvo 1L de agua que se filtró (APFC MILLIPORE®) en campo y se transportó en frío para su análisis posterior en laboratorio; el contenido de sólidos en suspensión se estimó por determinación gravimétrica después del secado del filtro en estufa a 80 °C (48 h); la concentración de cobre presente en la columna de agua se midió mediante el análisis de espectrofotometría de masas (HP®-4500 ICP-MS); la alcalinidad total se determinó a través de titulación ácida utilizando indicadores de viraje del pH a 4,50; adicionalmente, se realizó la medición de la concentración de clorofila *a* del fitoplancton (Chl *a*) integrando todo el perfil batimétrico mediante una sonda espectrofluorométrica de campo (FluoroProbe bbe Moldaenke®, Kronshagen, Germany); el porcentaje de cobertura de vegetación acuática sumergida se midió en cada balsa de riego y fecha de muestreo mediante el uso de un cuadrado (0.5 x 0.5 m), conteniendo una rejilla con celdas de 0.1 x 0.1 m; la cobertura en cada cuadrado se midió como el % de celdas ocupadas por vegetación del total de celdas del cuadrado. El cuadrado se dispuso sistemáticamente (cada 3 m) a lo largo de transectos paralelos (4 m de ancho), para prospectar toda la superficie de

la balsa. La escasa profundidad de las balsas y la buena transparencia del agua permitieron realizar estas operaciones desde la superficie del agua.

Análisis estadísticos

Para contrastar estadísticamente entre los grupos de balsas, “tratadas con Cu” frente a “no tratadas”, se aplicó el análisis anova de medidas repetidas (ANOVA_{mr}) para las variables dependientes medidas. Previamente, los datos se transformaron mediante la expresión $\text{Ln}(x+1)$, o arcoseno \sqrt{x} para porcentajes, con el objetivo de normalizar y homogeneizar varianzas. El umbral de significación estadística considerado fue de $p < 0,05$. Estos análisis se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico Statistica versión 7.0, y el apoyo de la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2003. El test estadístico *t* se utilizó para algunas variables dependientes, con el fin de investigar la significación estadística de las diferencias entre medias (entre las balsas tratadas con Cu y las balsas no tratadas), $p < 0,05$ para determinadas fechas en particular.

RESULTADOS

Evolución de las características del hábitat

Según los resultados del test estadístico ANOVA_{mr}, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los dos grupos de balsas, tratadas con cobre y no tratadas, para la mayoría de las variables físico-químicas y biológicas medidas durante todo el período de estudio, excepto para la concentración de Cu y el porcentaje (%) de cobertura de vegetación acuática sumergida (VAS) (Tabla 2), con valores significativamente mayores y menores, respectivamente, en las balsas tratadas.

La dinámica temporal de la concentración de cobre en la columna de agua (figura 1) en las balsas sin tratamiento varió poco entre fechas de muestreo, presentando valores relativamente bajos, en promedio $5 \mu\text{g L}^{-1}$ (figura 1). La evolución temporal del cobre en la columna de agua de aquellas balsas sometidas a tratamiento mostró

concentraciones altas durante las primeras jornadas de muestreo, hasta los 50 días desde el tratamiento. Posteriormente se evidencia una reducción considerable hasta alcanzar valores bajos muy similares a los que se presentan en

las balsas sin tratamiento a partir de los 160 días. De hecho, solo se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos de balsas en las tres primeras fechas (valores de estadístico t entre -3,70 y -5,90, $p < 0,05$).

Tabla 2. Resultados test estadístico ANOVA de medidas repetidas para las variables estudiadas en los grupos de balsas sometidas a tratamiento con Cu y no tratadas

Variable	SC	gl	F	P
Cu en agua	69,07	1	13,35	0,022
pH	$3,8 \times 10^{-6}$	1	$1,6 \times 10^{-2}$	0,906
CE	0,01	1	0,12	0,750
Alcalinidad	0,05	1	3,17	0,150
SST	0,74	1	2,46	0,192
% saturación de O ₂	0,09	1	4,23	0,109
Chl <i>a</i>	0,63	1	0,48	0,527
% VAS	2,31	1	11,62	0,027

Fuente: Elaboración propia

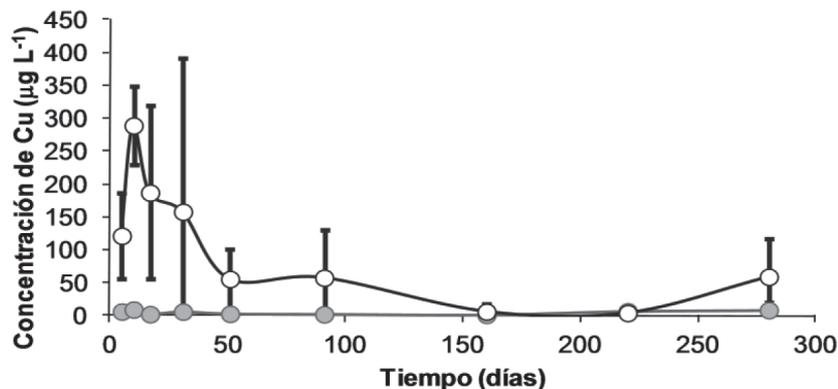


Figura 1. Evolución de la concentración de cobre a lo largo del periodo de estudio en las balsas tratadas y no tratadas

Fuente: elaborado por los autores

Los valores de pH no mostraron variaciones espacialmente notables en los dos grupos de balsas (figura 2), probablemente como consecuencia del buen tamponamiento del medio acuático, con altos valores de alcalinidad (figura 2) a lo largo de todo el período de estudio. No obstante, en

las balsas no tratadas el pH mostró un mayor intervalo de variación (7,86 - 9,46) que en las tratadas (8,04-8,78), con patrones temporales algo diferentes, con tendencia ascendente, en las primeras, y descendente, en las segundas. Estas diferencias podrían relacionarse con un efecto

de aumento del pH, y también alcalinidad, a consecuencia del tratamiento con CuSO_4 , y un aumento de la actividad fotosintética hacia el final del experimento en las balsas no tratadas cuando la cobertura de VAS alcanzó valores notables (figura 3). La conductividad eléctrica del agua varió entre 1,20 y 4,80 en todo el período

de estudio, con los menores valores obtenidos al inicio de la campaña (figura 2). Cabe destacar que en las primeras fechas, conductividad y alcalinidad mostraron tendencias de variación contrapuestas. Esto puede ser relacionado con una dependencia de la conductividad eléctrica del contenido en cloruros, más que en bicarbonatos o carbonatos.

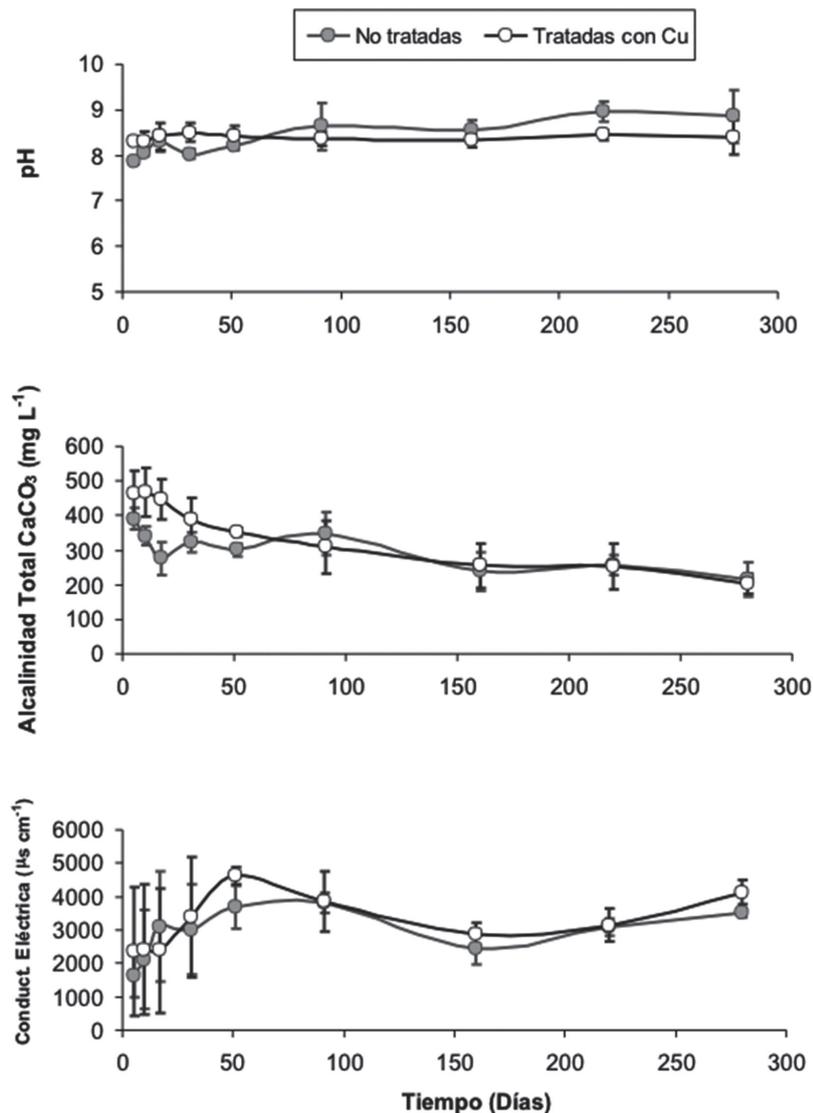


Figura 2. Evolución del pH, la alcalinidad total (CaCO_3) y conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) durante el periodo de estudio

Fuente: elaborada por los autores

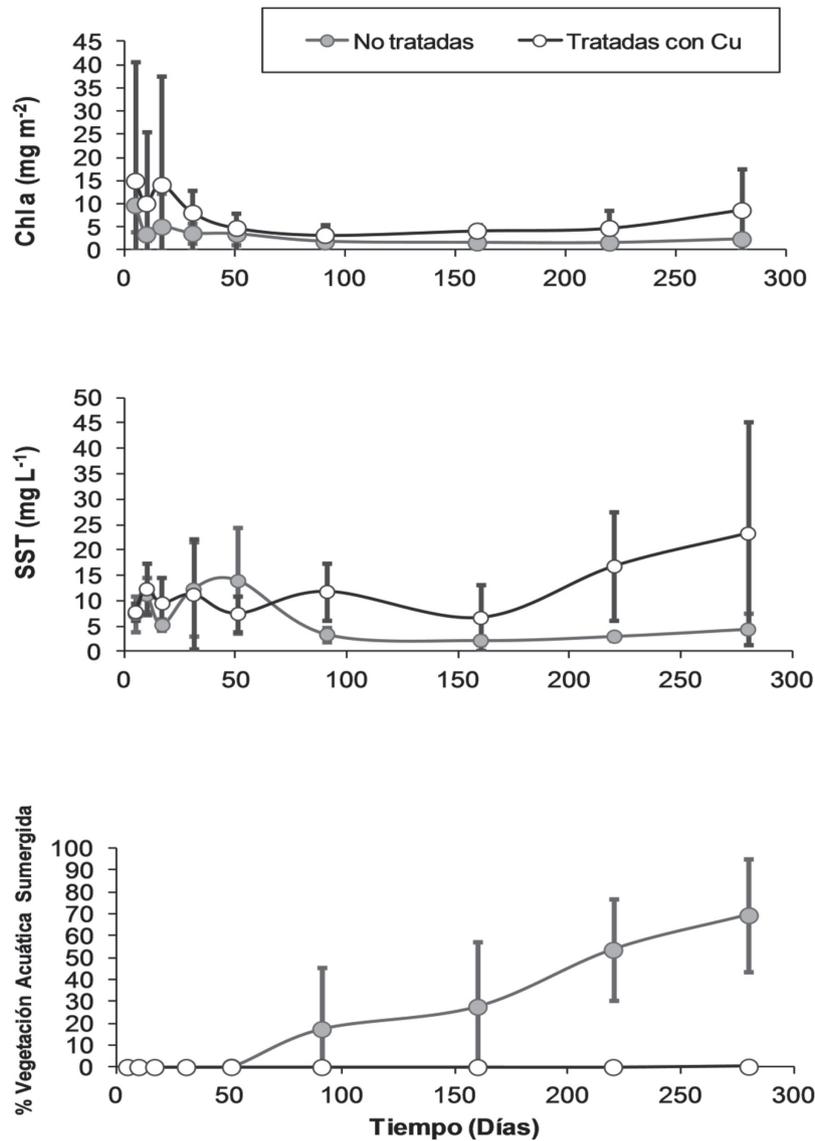


Figura 3. Evolución temporal de la concentración de Chl a, sólidos en suspensión totales y % de cobertura de vegetación acuática sumergida en las balsas de riego tratadas con Cu y no tratadas durante el periodo de estudio

Fuente: elaborada por los autores

La dosis inicial de Cu aplicada a las balsas tratadas fue en promedio de $2.25 \pm 0.95 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla I); no obstante, transcurridos 5 días desde la aplicación, la concentración del metal en el agua de la balsa fue aproximadamente 20 veces menor que la dosis nominal aplicada, aunque se observó un repunte a los 10 días. A pesar de

que existe alguna incertidumbre sobre la dosis exacta aplicada por los agricultores a sus balsas, la drástica reducción de la concentración de Cu en solo 5 días puede justificarse en buena medida por el alto pH y la alcalinidad del agua. Diferentes estudios sobre toxicidad de cobre han demostrado que un alto pH favorece la

formación de óxidos e hidróxidos de cobre insolubles (Hidmi y Edwards, 1999), y que la alta alcalinidad favorece la formación de complejos entre el carbonato cálcico y cobre que tienden a precipitar. Ambos ligandos inorgánicos conllevan a la reducción de la concentración del ion de cobre (Cu^{2+}) en el agua (Erickson, Benoit, Mattson, Leonard y Nelson, 1996). De hecho, algunos informes técnicos (Watson y Yanong, 2002) recomiendan no realizar tratamientos con Cu cuando la alcalinidad supera los 250 mg L^{-1} , ya que la efectividad del tratamiento en la práctica es nula a partir de estos niveles. En este caso, el grupo de balsas tratadas presentó una alcalinidad promedio (349 mg L^{-1}) claramente por encima de los 250 mg L^{-1} , lo que llevaría a pensar en la poca efectividad de esta práctica.

La concentración promedio de biomasa de algas del plancton fue mayor, aunque sin diferencias estadísticamente significativas, en las balsas tratadas frente a las no tratadas (figura 3). Una tendencia similar, incluso con diferencias de mayor magnitud, se observó para los sólidos en suspensión (figura 3). Esto indica la ineficacia del tratamiento con CuSO_4 , que en lugar de mejorar la calidad del agua para riego por goteo, claramente parece empeorarla. Las diferencias para ambas variables entre grupos de balsas parecen acentuarse en las últimas fechas de muestreo cuando el porcentaje de cobertura de VAS fue mayor en las balsas no tratadas (figura 3). Numerosos estudios de campo y laboratorio indican que ciertas especies de VAS tienen propiedades que contribuyen al incremento de la transparencia del agua. La VAS absorbe nutrientes del agua y del sedimento, compitiendo eficazmente con las microalgas del plancton (Ozimek, Van Donk y Gulati, 1993). Además, algunas especies de VAS pueden liberar sustancias alelopáticas que inhiben el crecimiento de algas epífitas, y en algunos casos podrían también inhibir el crecimiento del fitoplancton (Gross, Meyer y Schilling, 1996). También, la VAS contribuye sustancialmente a reducir la resuspensión de sedimentos causada

por el viento; también reduce la disponibilidad de nutrientes para el plancton y la turbidez (Carpenter y Lodge, 1986). La acción del Cu tiene un efecto directo en los cuerpos de agua leníticos de inhibición del crecimiento de la vegetación acuática sumergida (Van Donk, Gulati y Grimm., 1989; Hanazato, 1998). Aunque la concentración de Cu en las balsas disminuye de una forma rápida luego de su aplicación, las balsas tratadas han sido sometidas a tratamiento periódico (al menos una vez al año) durante años previos a este estudio. Esto pudo generar al menos una ralentización del desarrollo de la VAS, si los continuos tratamientos hubiesen mermado el banco de semillas del sedimento. Además, aunque la concentración de Cu del agua disminuyó rápidamente precipitando al sedimento, es posible que aquí pudiera haber tenido efectos deletéreos sobre las incipientes plántulas generadas por las semillas remanentes.

A lo largo del período de estudio se observó cómo los porcentajes medios de saturación de oxígeno disuelto para los dos grupos de balsas siempre estuvieron por encima del 100 % (figura 4), lo que sugiere una considerable actividad fotosintética que genera sobresaturación de oxígeno en la columna de agua. Es importante también recalcar que estos valores aumentaron con el tiempo y que en balsas no tratadas superaron en la mayoría de los casos los valores obtenidos en el grupo de balsas tratadas (aunque en conjunto sin diferencias significativas). A partir del día 220 el valor de oxígeno disuelto presentó un repunte, probablemente relacionado con el incremento de temperatura y radiación que debió estimular la fotosíntesis, sobre todo en balsas no tratadas donde la presencia de la VAS aporta una gran cantidad de oxígeno como producto de la fotosíntesis (Carpenter y Lodge, 1986). Este aspecto tiene interés desde el punto de vista agronómico, ya que altos niveles de oxígeno disuelto en el agua de riego resultan interesantes para mejorar el funcionamiento del sistema radicular del cultivo (Bonachela, Acuña y Casas, 2007).

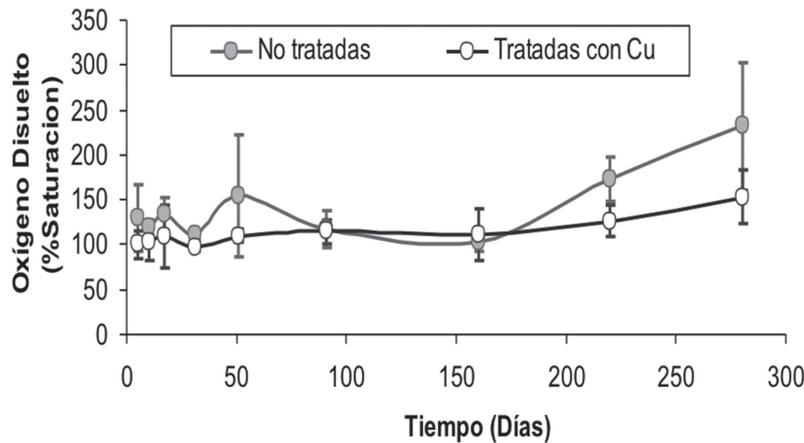


Figura 4. Evolución de la concentración de oxígeno disuelto (% de saturación) en las balsas de riego durante el periodo de estudio

Fuente: elaborado por los autores

CONCLUSIONES

- El tratamiento con CuSO_4 en las balsas de riego agrícolas no evidenció mejoras significativas de la calidad del agua, en términos de reducción de la concentración de clorofila y de sólidos totales en suspensión del agua, dos importantes variables en los sistemas de riego por goteo. Al contrario, los valores promedio de ambas variables fueron algo superiores en las balsas tratadas frente a las no tratadas, durante casi todo el período de estudio. Por ello, parece recomendable reducir o suprimir estas prácticas y preservar la VAS, para mejorar la calidad del agua para riego y el valor de conservación de la biodiversidad en estas masas artificiales de agua.
- El tratamiento con CuSO_4 inhibió el desarrollo de la VAS en el grupo de balsas tratadas.
- El mantenimiento de VAS en las balsas de riego, sobre todo cuando la vegetación alcanza cobertura notable, mejora las condiciones de oxígeno disuelto en agua, lo que, a su vez, puede resultar beneficioso para la función agronómica vía mejora del

ambiente del sistema radicular de las plantas hortícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M.A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1), 19-31.
- Bonachela, S.; Juan, M., Casas, J. J.; Fuentes-Rodríguez, F.; Gallego, I. & Elorrieta, M. A. (2013). Pond management and water quality for drip irrigation in mediterranean intensive horticultural systems. *Irrigation Science*, 31(4), 769-780.
- Bonachela, S.; Acuña, R. A. & Casas, J. J (2007). Environmental factors and management practices controlling oxygen dynamics in agricultural irrigation ponds in a semiarid mediterranean region: Implications for pond agricultural functions. *Water Research*, 41(6), 1225-1234.
- Carpenter, S. R. & Lodge, D. M. (1986). Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquatic Botany*, 26, 341-370.
- Casas, J. J.; Toja, J.; Bonachela, S.; Fuentes-Rodríguez, F.; Gallego, I. & Juan, M. (2011a). Artificial ponds in a mediterranean region (Andalusia, southern Spain): Agricultural and environmental issues.

- Water and Environment Journal*, 25(3), 308-317.
- Casas, J. J.; Sánchez-Oliver, J. S.; Sanz, A.; Furné, M.; Trenzado, C. & Juan, M. (2011b). The paradox of the conservation of an endangered fish species in a mediterranean region under agricultural intensification. *Biological Conservation*, 144(1), 253-262.
- Casas, J.J.; Toja, J.; Peñalver, P.; Juan, M.; León, D. & Fuentes-Rodríguez, F. (2012). Farm ponds as potential complementary habitats to natural wetlands in a mediterranean region. *Wetlands*, 32(1), 161-174.
- Castilla, N. & Hernández, J. (2005). The plastic greenhouse industry of Spain. *Chronica Horticulturae*, 45(3), 15-20.
- Erickson, R. J.; Benoit, D. A.; Mattson, V. R.; Leonard, E. N. & Nelson, H. P. (1996). The effects of water chemistry on the toxicity of copper to fathead minnows. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(2), 181-193.
- Fuentes-Rodríguez, F.; Juan, M.; Gallego, I.; Lusi, M.; Fenoy, E. & Leon, D. (2013). Diversity in mediterranean farm ponds: Trade-offs and synergies between irrigation modernisation and biodiversity conservation. *Freshwater Biology*, 58(1), 63-78.
- Gross, E. M.; Meyer, H. & Schilling, G. (1996). Release and ecological impact of algicidal hydrolysable polyphenols in myriophyllum spicatum. *Phytochemistry*, 41(1), 133-138.
- Hanazato, T. (1998). Response of a zooplankton community to insecticide application in experimental ponds: A review and the implications of the effects of chemicals on the structure and functioning of freshwater communities. *Environmental Pollution*, 101(3), 361-373.
- Hidmi, L. & Edwards, M. (1999). Role of temperature and pH in Cu(OH)₂ solubility. *Environmental Science & Technology*, 33(15), 2607-2610.
- Juan, M.; Casas, J.J.; Elorrieta, M.A.; Bonachela, S.; Gallego, I.; Fuentes-Rodríguez, F. & Fenoy, E. (2014). Can submerged macrophytes be effective for controlling waterborne phytopathogens in irrigation ponds? an experimental approach using microcosms. *Hydrobiologia*, 732(1), 183-196.
- Mitsch, W. J.; Gosselink, J. G. (2000). *Wetlands*, 3rd ed. John Wiley, New York.
- Ozimek, T.; Van Donk, E. & Gulati, R. D. (1993). Growth and nutrient uptake by two species of elodea in experimental conditions and their role in nutrient accumulation in a macrophyte-dominated lake. *Nutrient dynamics and retention in Land/Water ecotones of lowland, temperate lakes and rivers* (pp. 13-18) Springer.
- Swift, M. J.; Izac, A. & van Noordwijk, M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 113-134.
- Van Donk, E.; Gulati, R. & Grimm, M. (1989). Food web manipulation in lake zwemlust: Positive and negative effects during the first two years. *Hydrobiological Bulletin*, 23(1), 19-34.
- Watson, C. & Yanong, P. E. (2002). *Use of copper in freshwater aquaculture and farm ponds*. Florida: Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida.