

Comportamiento del herbicida fluometurón en un suelo de olivar enmendado con organoarcilla bajo condiciones de campo

B. Gámiz, R. Celis, G. Facenda, M.C. Hermosín, J. Cornejo

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), CSIC, Avenida Reina Mercedes 10, Apartado 1052, 41080, Sevilla, España. E-mail: bgamiz@irnase.csic.es

Resumen

Las arcillas modificadas con cationes orgánicos u organoarcillas suelen presentar buenas propiedades adsorbentes para muchos plaguicidas y se han propuesto en diferentes aplicaciones dirigidas a reducir la movilidad de estos compuestos tras su aplicación a los suelos agrícolas. En trabajos previos realizados en condiciones de laboratorio, observamos que la modificación de una montmorillonita de Wyoming (SWy-2) con el catión orgánico de origen natural espermina (SPERM) daba lugar a una organoarcilla (SW-SPERM) con una afinidad muy elevada por el herbicida fluometurón y que la adición de SW-SPERM a suelos aumentaba el poder de retención de éstos y reducía la lixiviación del herbicida. El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar el efecto de la adición de SW-SPERM a un suelo de olivar mediterráneo en la persistencia, lixiviación y escorrentía del herbicida fluometurón bajo condiciones reales de campo. Se utilizaron dos parcelas de 4 x 1 m, una sin enmendar y otra enmendada con SW-SPERM a 0.2 kg/m², a las que se aplicó fluometurón a 3 kg/ha. Se tomaron muestras de suelo a diferentes tiempos y profundidades (0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm) y se determinó la cantidad de herbicida en las mismas así como en las aguas de escorrentía procedentes de cada parcela. En la parcela enmendada con SW-SPERM, el herbicida persistió durante más tiempo en los primeros 0-5 cm de suelo, presentando una menor lixiviación en comparación con la parcela sin enmendar. Las concentraciones de herbicida en las aguas de escorrentía de la parcela enmendada con SW-SPERM fueron superiores que en las aguas procedentes de la parcela sin enmendar, probablemente por la mayor persistencia del herbicida en el horizonte más superficial y el posible arrastre de herbicida asociado a partículas de arcilla. Los resultados apuntan a que SW-SPERM podría ser útil como enmienda de suelos para aumentar el tiempo de residencia de fluometurón en la zona radicular, controlando el posible riesgo por escorrentía del herbicida o aplicando la organoarcilla a una cierta profundidad en el suelo para protegerla de la escorrentía.

Introducción

El uso intensivo de herbicidas ha generado en el sur de España una gran alarma social con motivo de los repetidos episodios de contaminación de aguas destinadas al abastecimiento público que han tenido lugar, asociados a los últimos inviernos altamente lluviosos. Los problemas causados por el uso intensivo de herbicidas se agravan en los suelos de Andalucía, y en especial en los suelos de olivar, porque la mayoría de ellos son pobres en materia orgánica y poseen una escasa capacidad de retención para compuestos orgánicos como los plaguicidas, favoreciendo que se produzcan procesos de lixiviación de los agroquímicos (Hermosín et al. 2009, 2012). Por otra parte, muchos suelos de olivar presentan pendientes pronunciadas, lo que hace que tras episodios de intensas lluvias se produzcan unas escorrentías que pueden transportar importantes cantidades de herbicidas hasta aguas superficiales (Albarrán et al., 2003; Cabrera et al., 2007; Hermosín et al., 2009). Este problema adquiere especial relevancia en regiones de clima mediterráneo, ya que en ellas son frecuentes los episodios de cortas pero intensas lluvias que pueden provocar grandes pérdidas de suelos y de los agroquímicos aplicados a los mismos, especialmente si las precipitaciones tienen lugar poco después de la aplicación del producto fitosanitario (Ramos y Porta, 1994; Reichenberger et al., 2007). Estas pérdidas restan eficacia al producto y, a menudo, hacen necesario repetir su aplicación, lo que agrava aún más el riesgo de contaminación (Celis et al., 2007). En este contexto, la búsqueda de estrategias encaminadas a incidir sobre los procesos que afectan a la dinámica de los herbicidas aplicados a los suelos de olivar es de indudable interés, particularmente aquellas dirigidas a aumentar el proceso de retención y disminuir la movilidad del plaguicida.

Las organoarcillas, minerales de la arcilla modificados con cationes orgánicos, presentan una elevada afinidad por compuestos orgánicos y han sido muy estudiadas como adsorbentes de plaguicidas. Se obtienen a partir de la simple reacción de intercambio de los cationes inorgánicos interlaminares del mineral de la arcilla por cationes orgánicos, lo que cambia la naturaleza del mineral de hidrofílica a hidrofóbica (Cornejo et al., 2008a). Existen múltiples trabajos que abordan las aplicaciones de las organoarcillas como adsorbentes de plaguicidas para la depuración de aguas, para actuar como soportes en formulaciones de liberación lenta del plaguicida o para actuar como barreras inmovilizantes en suelos

(Cruz-Guzmán et al., 2004, 2005; Trigo et al., 2009); sin embargo, es escasa la información existente acerca de su utilidad como enmiendas de suelos agrícolas para aumentar la capacidad de retención de los mismos para plaguicidas móviles con el fin de aumentar su tiempo de residencia en la zona radicular y así aumentar su eficacia y reducir su dispersión en el medio ambiente (Rodríguez-Cruz et al., 2007; Cornejo et al. 2008b).

En un estudio previo de laboratorio, encontramos que la modificación de una montmorillonita de referencia (SWy-2) con el polication orgánico espermina (SPERM) daba como resultado una organoarcilla (SW-SPERM) con una afinidad muy elevada por herbicidas del grupo de las fenilureas, como el fluometurón, y que la adición de esta organoarcilla a un suelo típico mediterráneo aumentaba la capacidad de retención del suelo para el herbicida y disminuía su lixiviación (Gámiz et al., 2010). En este trabajo se evalúa el efecto de la aplicación de la organoarcilla SW-SPERM a un suelo de olivar en la persistencia y movilidad del herbicida fluometurón bajo condiciones reales de campo, con el fin de confirmar los beneficios de la adición de la organoarcilla para aumentar la retención y atenuar la movilidad del herbicida bajo condiciones ambientales reales.

Materiales y métodos

El presente estudio se ha realizado en un suelo de olivar de la finca experimental La Hampa, que el IRNAS (CSIC) posee en el Término Municipal de Coria del Río (Sevilla, España). Se trata de un suelo de textura franco-arenosa cuyas características fisicoquímicas más importantes se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del suelo en el que se realizó el estudio.

Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CaCO ₃ (%)	C orgánico (%)	pH
Franco-arcillo-arenosa	56	26	18	30	0.63	8.5

La organoarcilla empleada (SW-SPERM) ha sido una montmorillonita de Wyoming (SWy-2) modificada con el polication orgánico de origen natural *espermina* (Figura 1). La síntesis de esta organoarcilla se detalla en trabajos previos (Celis et al., 2007; Gámiz et al., 2012) y sus principales características se resumen en la Tabla 2.

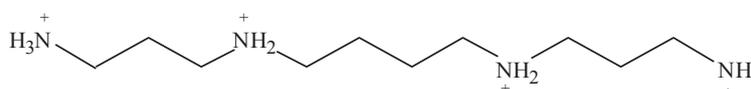


Figura 1. Estructura química del herbicida fluometurón.

Tabla 2. Principales características de la organoarcilla SW-SPERM.

Organoarcilla	Montmorillonita	Catión orgánico modificador	OCtS ^a (%)	d ₀₀₁ ^b (nm)
SW-SPERM	SWy-2	Espermina	96	1.3

^aOCtS: Porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico de la montmorillonita (CIC= 74.6 cmol/kg) compensada por el catión modificador.

^bd₀₀₁: Espaciado basal de la organoarcilla obtenido por difracción de rayos X.

El herbicida fluometurón se aplicó al suelo en forma de formulación comercial (Athado Olivo, suspensión concentrada con un 23% p/v de fluometurón) proporcionada por Probelte S.A. El fluometurón [3-(3-trifluorometil-fenil)-1,1-dimetilurea] (Figura 2) es un herbicida de translocación perteneciente al grupo de las fenilureas bien absorbido por las raíces, aunque también presenta cierta acción foliar, usado en preemergencia y postemergencia temprana para el control de plantas anuales y perennes de hoja ancha y malas hierbas en cultivos y plantaciones de algodón, vid y olivo. Tiene una solubilidad en agua de 110 mg/l y una persistencia moderada en suelos, con DT₅₀ entre 10 y 100 días dependiendo del tipo de suelo (Tomlin, 2006).

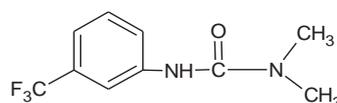


Figura 2. Estructura química del herbicida fluometurón.

El estudio de la influencia de la adición de SW-SPERM en la persistencia y movilidad del herbicida fluometurón en el suelo de olivar se llevó a cabo en dos parcelas de 4 m de longitud \times 1 m de anchura con una pendiente aproximada del 5%, en cada una de las cuales existía un depósito para recoger el agua de escorrentía procedente de las mismas. A una de las parcelas se le aplicó la organoarcilla a razón de 0.2 kg/m², mientras que la otra se dejó sin enmendar como control. La aplicación de la formulación comercial de fluometurón a las parcelas, a una dosis de 3 kg m.a./ha, se realizó el 7 de marzo de 2011 y durante el tiempo que duró el experimento se llevó un control de las temperaturas y precipitaciones ocurridas. La Figura 3 muestra una fotografía de una de las parcelas utilizadas para el estudio.



Figura 3. Fotografía de una de las parcelas durante la aplicación de la organoarcilla.

A tiempos seleccionados, se tomaron muestras de suelo y del agua de escorrentía procedente de las parcelas. Para el estudio de la lixiviación, se recogieron muestras de suelo a cuatro profundidades (0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm) y tres puntos diferentes de las parcelas, usando una barrena, y posteriormente se analizó el contenido de fluometurón de las mismas mediante la extracción de 5 g de suelo con 10 ml de metanol durante 24 horas en agitación, se centrifugó y se analizó la concentración de herbicida en el extracto metanólico por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Para el estudio de la escorrentía, después de cada episodio de lluvia intensa, se procedió a la medida del volumen del agua de escorrentía presente en los depósitos y a la toma de muestra de la misma para su filtrado y posterior análisis de fluometurón por HPLC, tanto en disolución como asociado a las partículas en suspensión. La determinación de fluometurón en disolución se llevó a cabo por inyección directa del agua de escorrentía filtrada en el equipo de HPLC, mientras que la determinación de fluometurón asociado a las partículas se llevó a cabo previa separación de éstas por filtración (0.45 μ m) y posterior extracción del herbicida con metanol y análisis del extracto por HPLC.

Los análisis del herbicida fluometurón en los extractos y en el agua de escorrentía se realizaron por HPLC, usando un cromatógrafo Waters con un controlador del sistema Waters 600E System Controller, un detector de radiación ultravioleta Waters 998 Photodiode Array Detector y un inyector automático de muestras Waters 717 Autosampler. Para el análisis, se utilizó una columna cromatográfica Nova Pack C18 de 150 mm de longitud y 3.9 mm de diámetro interno, un volumen de inyección de 25 μ l y una fase móvil compuesta por acetonitrilo:agua al 50% a un flujo de 1 ml/min. La longitud de onda para la detección del herbicida fue de 243 nm. Para la cuantificación del herbicida se utilizó una curva de calibración externa con cuatro patrones con concentraciones comprendidas entre 0.1 y 2 mg/l.

Resultados

Las temperaturas y precipitaciones ocurridas en el transcurso del experimento se muestran en la Figura 4. En general, las temperaturas fueron moderadas y notablemente cálidas como consecuencia de la época primaveral en la que se desarrolló el experimento. La temperatura máxima osciló entre 12.2 y 35.4 °C con una media de 26.0 °C mientras que la temperatura mínima osciló entre 5.6 y 19.9 °C con una media de 13.2 °C. La precipitación acumulada durante los días que duró el experimento fue de 199 mm, registrándose los picos de máxima precipitación a tiempos poco después de la aplicación del herbicida, en los días 1 y 6 con 35 y 27 mm, respectivamente, y posteriormente hacia la mitad del experimento, en el día 54, con 29 mm (Figura 4).

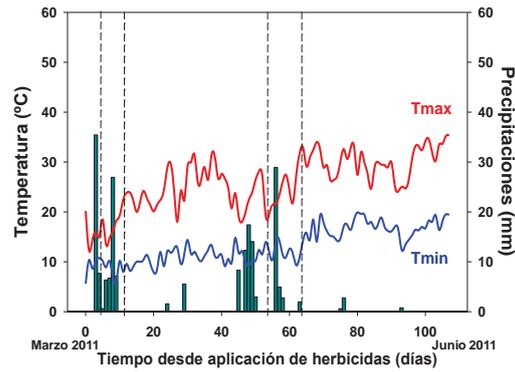


Figura 4. Datos de pluviometría y temperatura durante el experimento. Las líneas verticales discontinuas corresponden a los días de tomas de muestras de aguas de escorrentía.

Las concentraciones de fluometurón en las muestras de suelo tomadas de la parcela tratada con SW-SPERM y de la parcela sin tratar, a diferentes profundidades y a distintos tiempos después de la aplicación del herbicida, se muestran en la Figura 5. Lo más relevante que hay que resaltar es que el herbicida mostró distinto comportamiento en función del tratamiento de la parcela, alcanzando profundidades mayores en la parcela sin enmendar que en la enmendada con SW-SPERM. Así, los datos de la Figura 5 reflejan que, mientras que en la parcela enmendada con organoarcilla fluometurón se mantuvo mayoritariamente en los primeros 0-5 cm de suelo, en la parcela sin enmendar lixivió hasta horizontes más profundos, llegándose a registrar mayores concentraciones de herbicida en dichos horizontes (5-10, 10-15 y 15-20 cm) que en el horizonte más superficial (0-5 cm). A pesar de las importantes precipitaciones que tuvieron lugar poco después de la aplicación del herbicida, el tratamiento con organoarcilla permitió que fluometurón se retuviera en los primeros centímetros de suelo e impidió que grandes cantidades de agroquímico alcanzaran mayores profundidades.

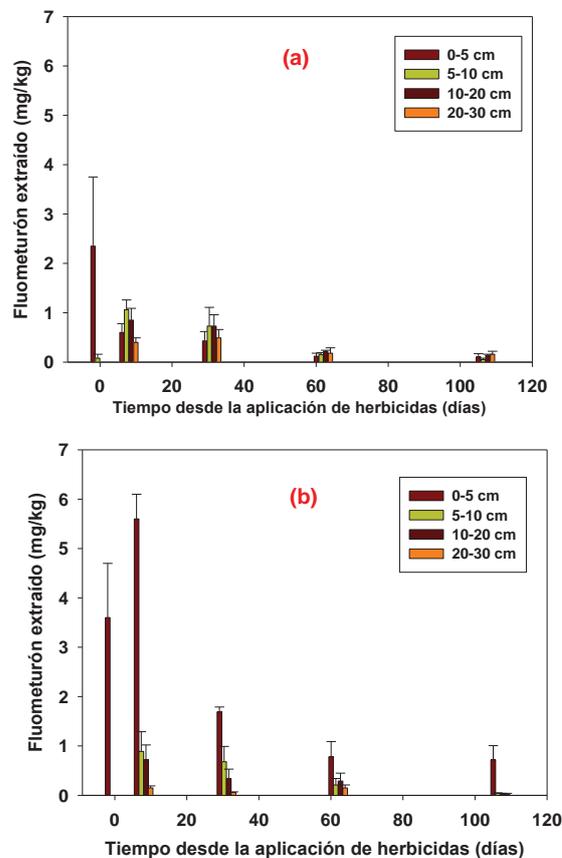


Figura 5. Concentración de fluometurón (mg/kg) en muestras de suelo de la parcela sin tratar (a) y de la parcela tratada con SW-SPERM (b) a diferentes profundidades y a distintos tiempos desde la aplicación del herbicida.

Los resultados de los análisis de las aguas de escorrentía recogidas de cada una de las parcelas en el transcurso del experimento se resumen en la Figura 6 y en la Tabla 3. Los primeros episodios de escorrentía se registraron muy poco después de la aplicación del herbicida, como consecuencia de las lluvias que se produjeron en los días 2 y 7 desde el inicio del experimento. En estos primeros episodios fueron en los que se detectaron las mayores concentraciones de fluometurón, tanto en disolución como asociado a partículas, lo que pone de manifiesto que el proceso de escorrentía de los plaguicidas aplicados al suelo adquiere una mayor relevancia cuando se produce poco después de la aplicación del producto fitosanitario. Esta circunstancia es sumamente frecuente en el caso del olivar, ya que las aplicaciones de herbicida se llevan a cabo en invierno, para la recogida, y en primavera, justo antes o en torno a la floración.

Otro aspecto a destacar de los resultados obtenidos es que las concentraciones de fluometurón detectadas en las aguas de escorrentía de la parcela tratada con SW-SPERM, tanto en disolución como asociada a la materia particulada, fueron siempre superiores a las concentraciones detectadas en las aguas de escorrentía recolectadas de la parcela sin tratar. Por lo tanto, la organoarcilla no tuvo un efecto amortiguador en cuanto a escorrentía del herbicida se refiere.

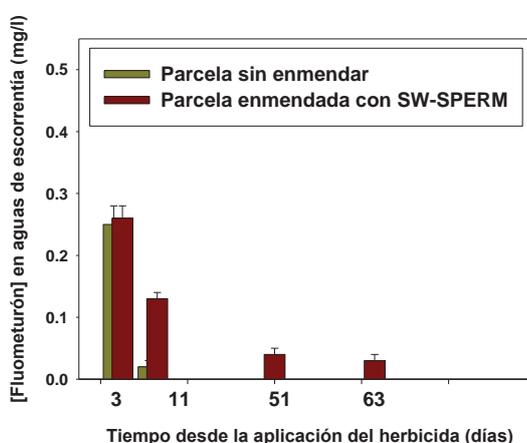


Figura 6. Concentración de fluometurón (mg/l) disuelto en las aguas de escorrentía recogidas de la parcela tratada con SW-SPERM y de la parcela sin tratar para los diferentes episodios de escorrentía registrados.

Tabla 3. Concentración de fluometurón, volumen de agua recogido y materia particulada presente en las aguas de escorrentía después de episodios fuertes de lluvias tras la aplicación del herbicida.

Día	Parcela sin tratar			Parcela tratada con SW-SPERM		
	Volumen recogido (litros)	[Fluometurón] en disolución (mg/l)	[Fluometurón] en partículas (mg/kg)	Volumen recogido (litros)	[Fluometurón] en disolución (mg/l)	[Fluometurón] en partículas (mg/kg)
3	5	0.25 ± 0.03 ^a	4.6 ± 0.2	7.25	0.26 ± 0.02	10.6 ± 0.7
11	30	0.02 ± 0.01	n.d.	37.5	0.13 ± 0.01	1.37 ± 0.3
51	14	n.d. ^b	n.d.	11	0.04 ± 0.01	3.9 ± 0.1
63	10	n.d.	n.d.	15	0.01 ± 0.01	n.d.

^a media ± error estándar.

^b no detectado.

Discusión

Las condiciones ambientales que se produjeron durante el experimento fueron propias de la época primaveral en la que se desarrolló, con temperaturas de moderadas a altas y precipitaciones ocasionalmente moderadas que provocaron diversos episodios de escorrentía (Figura 4). Bajo estas condiciones, fluometurón presentó una persistencia más prolongada en el horizonte más superficial (0-5 cm) de la parcela enmendada con SW-SPERM que de la parcela sin enmendar, debido a que la organoarcilla redujo la lixiviación del herbicida en la parcela enmendada, lo que permite establecer una clara disminución de la incidencia de dicho proceso por el tratamiento del suelo con SW-SPERM. La persistencia de fluometurón en las parcelas observada en la Figura 5 durante el tiempo que duró el experimento está dentro del rango de estudios previos realizados con este herbicida (Brown et al., 1994),

si bien hay que tener en cuenta que a pesar del incremento de la adsorción provocado por la adición de la organoarcilla, esto no es causa directa de un aumento de la persistencia del mismo, hecho que se ha observado previamente para un suelo similar enmendado con SW-SPERM en condiciones de laboratorio (Gámiz et al., 2010). La causa de que el tratamiento con SW-SPERM reduzca las concentraciones de fluometurón en los horizontes más profundos del suelo (Figura 5), por tanto, se debe probablemente a la elevada capacidad de esta organoarcilla de adsorber fluometurón, como se ha recogido previamente en la bibliografía (Gámiz et al., 2010, 2012). Estudios previos han descrito aumentos similares de adsorción de herbicidas por adición de organoarcillas al suelo (Rodríguez-Cruz et al., 2007; Gámiz et al., 2010; Cabrera et al., 2011).

Las concentraciones de fluometurón registradas en las aguas de escorrentía, tanto en disolución como en la materia particulada en suspensión, ponen de manifiesto que la organoarcilla no fue capaz de reducir las pérdidas de fluometurón por procesos de escorrentía o incluso tuvo un ligero efecto adverso en este sentido. Este resultado puede atribuirse a la mayor persistencia del herbicida en el horizonte más superficial del suelo (0-5 cm), que es el más susceptible de verse afectado por la escorrentía (Leonard, 1990; Reinchenberger et al., 2007), e incluso a un posible arrastre superficial de las finas partículas de organoarcilla con fluometurón adsorbido (transporte facilitado). En este sentido, los resultados sugieren la necesidad de utilizar estrategias complementarias para el control de la erosión, como pudieran ser el uso de cubiertas vegetales o una incorporación a cierta profundidad del producto fitosanitario y/o la organoarcilla, con el fin de minimizar las pérdidas por escorrentía y optimizar el comportamiento del herbicida.

Conclusiones

Los resultados del presente trabajo permiten concluir que la práctica consistente en la adición de SW-SPERM a los suelos agrícolas puede tener un efecto beneficioso al reducir el proceso de lixiviación del herbicida fluometurón, aunque un efecto adverso al incrementar ligeramente el transporte por escorrentía. Al aumentar el proceso de adsorción en los primeros centímetros del suelo, la adición de SW-SPERM a un suelo de olivar mediterráneo provocó un menor movimiento vertical del herbicida pero lo hizo más susceptible de ser transportado superficialmente con el agua de escorrentía, bien en disolución bien asociado a las finas partículas de organoarcilla. Estrategias complementarias dirigidas a atenuar el proceso de escorrentía del herbicida podrían ayudar a reducir este efecto adverso asociado al uso de organoarcillas como enmiendas agrícolas y aprovechar los beneficios asociados al uso de éstas en cuanto a la menor lixiviación del herbicida y el aumento de su tiempo de residencia en la zona radicular.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Andalucía a través del proyecto P07-AGR-03077, cofinanciado con fondos FEDER-FSE a través del programa Operativo de Andalucía 2007-2013. Beatriz Gámiz agradece a la Junta de Andalucía la concesión de una beca de Formación de Personal Investigador, cofinanciada con fondos FSE.

Bibliografía

- Albarrán A., Celis R., Hermosín M.C., López-Piñeiro A., Ortega-Clavo J.J., Cornejo J. 2003. Effects of solid olive-mill waste addition to soil on sorption, degradation and leaching of the herbicide simazine. *Soil Use and Management*, 19, 150-156.
- Brown B.A., Hayes R.M., Tyler D.D., Mueller T.C. 1994. Effect of tillage and cover crop on fluometuron adsorption and degradation under controlled conditions. *Weed Science*, 42, 629-634.
- Cabrera A., Cox L., Velarde P., Koskinen W.C., Cornejo J. 2007. Fate of diuron and terbuthylazine in soils amended with two-phase olive oil mill waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4828-4834.
- Cabrera A., Cox L., Spokas K.A., Celis R., Hermosín M.C., Cornejo J., Koskinen W.C. 2011. Comparative sorption and leaching study of the herbicides fluometuron and 4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid (MCPA) in a soil amended with biochars and other sorbents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 12550-12560.

- Celis R., Trigo C., Facenda G., Hermosín M.C., Cornejo J. 2007. Selective modification of clay minerals for the adsorption of herbicides widely used in olive groves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 6650-6658.
- Cornejo J., Celis R., Pavlovic I., Ulibarri M.A. 2008a. Interactions of pesticides with clays and layered double hydroxides: a review. *Clay Minerals*, 43, 155-175.
- Cornejo L., Celis R., Domínguez C., Hermosín M.C., Cornejo J. 2008b. Use of modified montmorillonites to reduce herbicide leaching in sports turf surfaces: laboratory and field experiments. *Applied Clay Science*, 42, 284-291.
- Cruz-Guzmán M., Celis R., Hermosín M.C., Cornejo J. 2004. Adsorption of the herbicide simazine by montmorillonite modified with natural organic cations. *Environmental Science and Technology*, 38, 180-186.
- Cruz-Guzmán M., Celis R., Hermosín M.C., Koskinen W.C., Cornejo J. 2005. Adsorption of pesticides from water by functionalized organobentonites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 7502-7511.
- Gámiz B., Celis R., Hermosín M.C., Cornejo J. 2010. Organoclays as soil amendments to increase the efficacy and reduce the environmental impact of the herbicide fluometuron in agricultural soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 7893-7901.
- Gámiz B., Celis R., Hermosín M.C., Cornejo J., Johnston C.T. 2012. Preparation and characterization of spermine-exchanged montmorillonite and interaction with the herbicide fluometuron. *Applied Clay Science*, 58, 8-15.
- Hermosín M.C., Rodríguez-Lizana A., Cornejo J., Ordóñez-Fernández R. 2009. Efecto del uso de agroquímicos en olivar sobre la calidad de las aguas. En: Gómez-Calero, J.A. (Ed.) *Sostenibilidad de la Producción de Olivar en Andalucía*. Pp. 87-108. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Hermosín M.C., Calderón M.J., Real M., Cornejo J. 2012. Impact of herbicides used in olive groves in waters of the Guadalquivir river basin (South Spain). *Agriculture, Ecosystems & Environment* (enviado)
- Leonard R.A. 1990. Movement of pesticides into surface waters. En: Cheng, H.H. (ed.): *Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling*. pp. 303-320. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.
- Ramos M.C., Porta J. 1994. Rainfall intensity and erosive potentiality in the NE Spain Mediterranean area: first results on sustainability of vineyards. *Nuovo Cimento della Società Italiana di Fisica*, 17, 291-299.
- Reichenberger S., Bach M., Skitschak A., Frede H.G. 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness: A review. *Science of the Total Environment*, 384, 1-35.
- Rodríguez-Cruz M.S., Sánchez-Martín M.J., Andrades M.J., Sánchez-Camazano M. 2007. Retention of pesticides in soil columns modified *in situ* with a cationic surfactant. *Science of the Total Environment*, 378, 104-108.
- Tomlin C.D.S. 2006. *The Pesticide Manual*, fourteenth Ed., British Crop Protection Council, Hampshire, U.K.
- Trigo C., Celis R., Hermosín M.C., Cornejo J. 2009. Organoclay-based formulations to reduce the environmental impact of the herbicide diuron in olive groves. *Soil Science Society of America Journal*, 73, 1652-1657.