

Procesos erosivos en olivar en Andalucía a diferentes escalas: entendimiento, magnitud, implicaciones e intentos de control

José Alfonso Gómez

Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC. Córdoba (España)

joseagomez@ias.csic.es

1. Introducción.

El olivar es uno de los principales cultivos en España, por extensión impacto económico y arraigo cultural, especialmente en las grandes regiones productoras como Andalucía donde con 1.5 Mha (el 15% de la superficie mundial) ocupa aproximadamente el 17% de toda la región, con municipios donde llega a cubrir el 80% de la superficie total. Es además de un cultivo que en las últimas décadas ha protagonizado un proceso de expansión e intensificación alrededor de la introducción del riego y de nuevas técnicas de cultivo. Sin embargo, recurrentemente se asocia el olivar español a diferentes problemas ambientales, como la presión sobre los recursos hídricos y la biodiversidad, contaminación difusa y degradación de suelos por erosión acelerada (e.g. Beauffoy, 2001; Scheidel y Krausmann, 2011). Esta comunicación presenta una revisión centrada en el olivar andaluz, sobre la información existente en relación a la intensidad de la erosión en olivar, una evaluación del el estado actual de las medidas de control de erosión en el mismo y algunas sugerencia sobre posible líneas de trabajo para controlar este problema ambiental.

2. Un recordatorio de la diversidad.

Aunque en muchas ocasiones se hablar del olivar como si fuera una realidad homogénea y presente desde tiempos inmemoriales, realmente presenta una elevada diversidad y dinamismo, sobre todo si ampliamos la escala de nuestro análisis a varios siglos. Estos dos factores, diversidad y evolución, son importantes para poner en perspectiva los problemas de erosión en olivar y sus repercusiones. Guzmán (2004) explica como en los últimos dos milenios el olivar ha ido progresando paulatinamente aguas arriba del valle del Guadalquivir desde las zonas iniciales de producción en la época del Imperio Roma (tramo inferior de este valle) hasta tener la distribución que tenemos actualmente. La Tabla 1 muestra el crecimiento de este cultivo en España y Andalucía desde mediados del siglo XIX, resultando evidente que muchas de las zonas que se consideran “ancestrales” de olivar lo vienen han sido únicamente en los últimos 175-200 años.

	Andalucía	España
1851/1860	0.411	0.857
1891/1900	0.616	1.146
1931/1940	0.986	1.910
1961/1970	1.170	1.945
1991/2000	1.301	2.136
2001/2010	1.496	2.361

Tabla 1. Evolución de la superficie de olivar en Andalucía y España (Mha). Adaptada de Infante-Amate 2012.

Otra característica notable es la elevada diversidad de sistemas de producción y condiciones agrológicas en las que se cultiva. De manera simplificada se habla de cuatro grandes tipología de olivar: tradicional de secano en fuertes pendientes (superiores al 15%), tradicional de secano, tradicional de riego, y finalmente moderno (más intensificado) también de riego: Estas cuatro categorías ocupan (aproximadamente) un 31, 40, 22 y 7% respectivamente de la superficie de olivar en Andalucía.

Otro elemento de diversidad clave son los sistemas de manejo del suelo. Una descripción detallada de ellos se puede encontrar en diferentes trabajos (e.g. Pastor et al. 1999; Gómez y Giráldez, 2009). El principal factor distintivo entre manejos es si dejan o no restos vegetales sobre la superficie para proteger el suelo. Una alternativa tradicional ha sido eliminar la cobertura vegetal mediante laboreo el uso de herbicidas o diferentes combinaciones de ambos. EL otro conjunto de manejos alternativos, fomentado desde al menos finales de los 1960's, es permitir el desarrollo de cobertura vegetal en las calles (sembrada o espontánea) que es controlada a la salida del invierno de mediante métodos químicos o mecánicos para prevenir competencia por agua con el árbol. Ésta cobertura de suelo se complementa en ocasiones con el uso de los restos de poda picados y distribuidos sobre la superficie. Existen numerosas

combinaciones de tipo e intensidad de laboreo, tipo, extensión y manejo de la cubierta vegetal que resulta en un mosaico de diferentes manejos específicos que se pueden encontrar en las explotaciones olivareras.

3. Medidas experimentales de erosión en olivar en Andalucía.

La Tabla 2 resume los resultados experimentales encontrados en la revisión para esta comunicación. Se han seleccionado experimentos de al menos dos años de duración, realizados con lluvia natural y a una escala espacial (12 o más metros de longitud) para adecuada para caracterizar los principales procesos que regulan la erosión hídrica a escala de ladera (salpicadura, erosión laminar y regueros) y pequeña cuenca (los anteriores más cárcavas). Se han descartado trabajos con medidas a menor escala o periodos más cortos al no ofrecer una evaluación apropiada de las intensidad de la erosión (Gómez et al., 2008). Los ensayos a escala de parcela (representativos de la escala de ladera) son imprescindibles para comparar el efecto de diferentes sistemas de manejo del suelo en condiciones controladas. Los resultados muestran cómo los sistemas de manejo de suelo sin cobertura vegetal (LC y NL) resultan en una pérdida de suelo insostenible muy por encima de la pérdida máxima recomendada de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Verheijen et al., 2009). El sistema de no laboreo con suelo desnudo con herbicida (NL) que combina la falta de protección del suelo con una compactación muy elevada y una degradación más acusada de las propiedades del suelo en comparación con LC (e.g. Gómez et al., 2009b) presentó las mayores tasas de erosión. El sistema de cubierta vegetal (CV) resultó en las menores intensidades de erosión, en muchas ocasiones cercanas a ese máximo tolerable. No obstante, en años muy lluviosos si la cubierta no estaba aún bien implantada durante el inicio del invierno esas pérdidas fueron ocasionalmente elevadas. Esta reducción se explica sobre todo por la protección mecánica ofrecida por la cubierta (Gómez et al., 2003) y en menor medida por otros procesos como son el aumento de la infiltración y la mejora progresiva de las propiedades del suelo. En general el sistema de CV tendió a una reducción de la escorrentía con respecto a LC, aunque esta diferencia fue en términos absolutos moderada. Esto se explica porque los procesos que controlan la generación de escorrentía en suelos relativamente poco profundos o en ocasiones (como en La Conchuela II) vérticos resultan en baja infiltración cuando están saturados o muy húmedos en años lluviosos. También por la efectividad del laboreo en un clima semiárido en reducir la escorrentía en años de pluviometría moderada (Romero et al. 2007). Estos resultados están en línea con los obtenidos en otros trabajos en cultivos leñosos mediterráneos: viñedo (Gómez et al., 2011a) o almendro (e.g. Arroyo, 2004). No se han encontrado trabajos experimentales a esta escala midiendo el efecto sobre la erosión de algunas de las técnicas de laboreo reducido mencionadas en la literatura, ni del acolchado con restos de poda. No obstante el entendimiento de los procesos que regulan la generación de escorrentía y la erosión a esta escala (e.g. Gómez et al., 2003, Romero et al. 2007) permiten interpretar cuál sería su efecto con modelos de simulación.

Localización	Fuente	Años	LL	P	MS	PSpr	Epr	PSma
Lanjarón	Francia et al. (2006)	1999/0 a	365.	30	NL	25.6	19.8	40.70
		2000/01	1		LC	5.7	10.9	10.40
					CV	2.1	38.9	2.40
Conchuela I	Gómez et al. (2009b)	2000/1 a	577	13	NL	6.9	78.2	18.8
		2005/6			LC	2.9	25.9	14.1
					CV	0.8	8.2	4.5
Benacazón I	Gómez et al (2009c)	2003/4 a 2006/7	576	11	LC CV	19.4 0.4	91.9 32.7	50.1 0.8
Pedrera	Gómez et al. (inédito)	2003/4 a 2004/5	690	4	LC CV	1,3 0.1	57.4 10.7	2.6 0.2
Conchuela II	Gómez et al. (preparación)	2009/10 a 2011/12	690	13	LC CV	59.1 44.7	252 234	162.5 120.2
Benacazón II	Gómez et al. (preparación)	2009/10 a 2011/12	680	11	LC CV	19.7 6.4	98.1 89	22.7 9.4
Conchuela	Gómez et al. (2014a)	2006/7 a 2010/11	599	9	LC y CV	16.1	115.3	52.4
Puente Genil	Taguas et al. (2013)	2005/6 a 2009/10	439	15	CV	1.8	25.4	5.9
Setenil	Taguas y Gómez (2015)	2005/6 a 2010/11	659	9.5	NL y LC	9.3	97.2	18.7

Tabla 2. Pérdidas de suelo en medidas experimentales en parcelas de escorrentía o en cuencas experimentales (cursiva). LL lluvia anual promedio, P pendiente en %, MS manejo de suelo (NL no laboreo suelo desnudo, LC laboreo convencional, CV cubierta vegetal), PSpr y PSma pérdida de suelo anual promedio y máxima y Epr escorrentía media anual. Las pérdidas de suelo van en $\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y la lluvia y escorrentía en mm año^{-1} .

No se ha encontrado trabajos publicados cuantificando la redistribución de suelo en ladera abajo por laboreo, aunque algunos trabajos en olivar han detectado patrones de redistribución de suelo sólo son explicables con intensidades significativas

de translocación por laboreo (Ramos et al., 2008, Ballais et al., 2013). Los trabajos a largo plazo a escala de pequeña cuenca como los mostrados también en la Tabla 2 permiten conocer cuál es la situación actual a una escala que integra todos los procesos relevantes en relación a la erosión hídrica (en especial cárcavas y deposición en zonas de menor pendiente) aunque sus resultados son mucho más complejos de interpretar a la hora de comparar entre manejos debido a la dificultad de replicar condiciones. Los resultados muestran como el aporte de sedimento a la red fluvial fue muy elevados, en especial en vertisoles o suelos arenosos en pendiente (Conchuela y Setenil). Todos los trabajos resumidos en la Tabla 2 muestran una elevada variabilidad interanual.

La Tabla 3 recoge estimaciones de erosión a escala de ladera con otras técnicas de medida. Corresponden a escalas espaciales y temporales mayores que las de las parcelas mostradas en la Tabla 2, y coinciden en mostrar pérdidas de suelo muy elevadas. El trabajo de Mabit et al. (2012) es, posiblemente, el único que ha estimado experimentalmente la tasa de depósito al pie de las zonas de ladera. Esto muestra la complejidad de las interacciones de los procesos de erosión en olivar en los que pueden coexistir una erosión acelerada en la parte de mayor pendiente, con un depósito de suelo apreciable en la zona de menor pendiente aguas abajo, que sin embargo no es capaz de evitar que haya elevadas tasas de erosión en conjunto como muestran los resultados de las cuencas experimentales.

Localización	Fuente	Técnica	Periodo	P%	PSpr	DSpr
Provincia de Córdoba (siete laderas)	Vanwalleghem et al. (2010)	Medida de pedestal al pie del olivo	72	19	95	ND
Montefrío (tres laderas)	Vanwalleghem et al. (2012)	Medida de pedestal al pie del olivo	188	26	41	ND
Montefrío (una catena completa incluida zona de depósito)	Mabit et al. (2012), calculados a partir de Figura 6.	Concentración de Cs ¹³⁷ en suelo.	153	15	10.2	3.9

Tabla 3. Medidas de pérdidas de suelo en laderas con técnicas topográficas o radioisótopos. Periodo se refiere a años sobre los que se ha promediado la pérdida de suelo, P pendiente, PSpr es pérdida de suelo anual promedio y DSpr acumulación de sedimento anual promedio en la zona de depósito. Las pérdidas y el depósito de suelo van en t ha⁻¹ año⁻¹. ND significa no disponible.

Es interesante señalar como con la excepción del trabajo de Taguas et al. (2015), midiendo la erosión por regueros y cárcavas de pequeño tamaño en la cuenca de Puente Genil mostrada en la Tabla 2, no se ha encontrado medidas publicadas de las tasas de erosión en cárcavas de gran tamaño en olivares basadas en medidas continuadas en campo. Si se ha encontrado trabajos indicando la existencia de aunque cárcavas de anchura y profundidad superiores a 1 m (e.g. Gómez et al., 2014, Vanwallgehem et al. 2014, Taguas et al., 2012a). A partir de análisis de imágenes aérea Vanwallgehem et al. (2014) registró valores de densidad de cárcavas muy elevados, del orden de 2.7 a 3.7 km km⁻² en cuencas de tamaño pequeño. Gómez et al. (inédito) registraron densidades del orden de 1 km km⁻² en comarcas donde el uso de suelo predominante es el olivar. Esto indica que la magnitud de este proceso, y sugiere la necesidad de incorporarlo en las medidas experimentales y evaluaciones con modelos de simulación, sobre todo en los olivares sobre materiales sedimentarios blandos fácilmente erosionables, como las margas.

4. Estimaciones de erosión en olivar a escala regional.

El enfoque complementario al experimental es el de las estimaciones de erosión utilizando modelos de simulación a mayor escala, que permite extraer las estimaciones basadas en medidas experimentales siempre limitadas. La Figura 1 resume estimaciones de erosión realizadas por diferentes servicios. Estos estudios no se han enfocado específicamente olivar, aunque en la Figura 1 se han delineado las zonas predominantes de olivar en Andalucía.

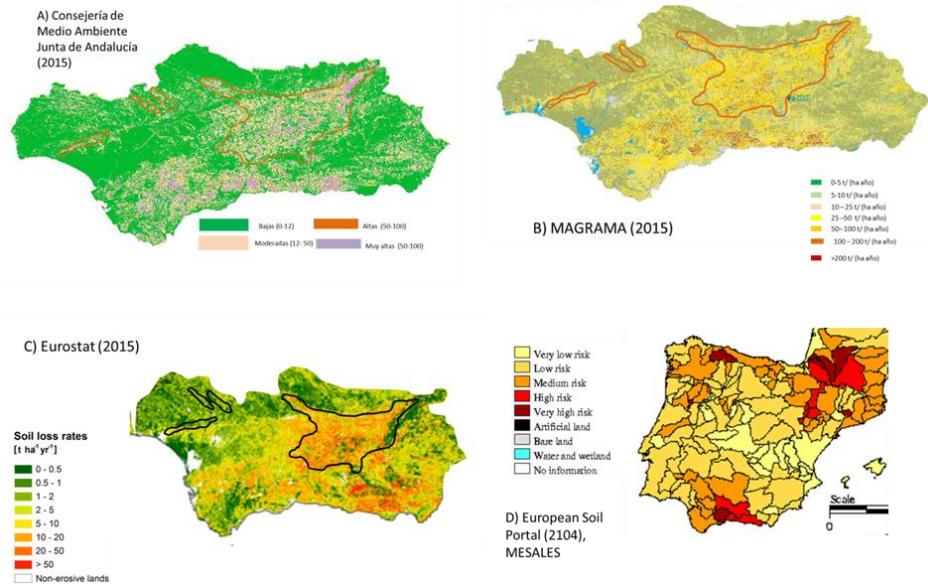


Figura 1. Estimaciones de erosión en Andalucía con delineación de las principales zonas de cultivos de olivar. Fuentes indicadas en las Figuras respectivas.

Con la excepción de las estimaciones de erosión eólica, no presentadas en esta comunicación (MAGRAMA, 2015; European Soil Portal, 2014), que como era de esperar predicen un bajo riesgo en la zona de olivar de Andalucía, todas las estimaciones de erosión corresponden a erosión laminar y en regueros, básicamente erosión a escala de ladera. Todas las predicciones encontradas a esta escala, incluido PESERA (2003) no mostrado, coinciden en señalar las zonas principales de cultivo de olivar en Andalucía como zonas de elevada erosión, con estimaciones muy por encima del valor tolerable de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Casi todas las estimaciones de erosión presentadas se basan en la misma tecnología de predicción, USLE o RUSLE (Renard et al., 1995). No se han encontrado estimaciones regionales del impacto del laboreo sobre la redistribución de suelo en olivares, aunque algunos trabajos (Vanwallegem et al., 2012) señalan que pueden suponer hasta un 25% de las pérdidas acumuladas en zonas labradas en pendiente. Aunque el inventario nacional de erosión de suelos (MAGRAMA, 2015) identifica algunas cárcavas aisladas en sus mapas provinciales no se ha encontrado una estimación detallada de la extensión e intensidad de la erosión en cárcavas en Andalucía. Como ya se ha comentado algunos trabajos (e.g Figura 2) señalan la elevada intensidad de este proceso en zonas de olivar.

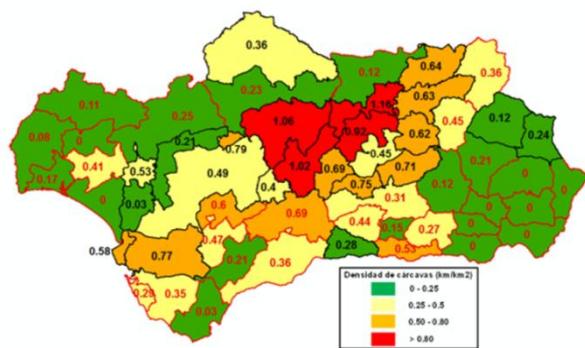


Figura 2. Estimaciones de la densidad de cárcavas en zonas agrícolas. Gómez et al. (inédito).

sedimento acaba finalmente en los cursos de agua. Muchos de estos modelos (e.g. SEDD o WATEM/SEDEM) basan parte de su calibración en la tecnología RUSLE, por lo que este esfuerzo de calibración y validación debería repartirse a ambas escalas (ladera y cuenca) y concentrando parte de los esfuerzos en esta tecnología (RUSLE) en la que se han hecho algunos avances en olivar en los últimos años.

Salvo las del proyecto MESALES (Figura 1, que hacía una estimación cualitativa) no se ha encontrado ninguna evaluación sistemática de la erosión hídrica a escala de cuenca en olivar en Andalucía. Los trabajos de aplicación de estos modelos, a escala de cuenca, se han centrado sobre todo en la calibración y validación de los mismos usando los datos experimentales disponibles resumidos en la Tabla 2, o en análisis de escenarios hipotéticos. Estos trabajos de calibración han señalado la dificultad de la calibración de los mismos y la necesidad de estrategias específicas en función de la cuenca o manejo. Es necesario avanzar en la calibración y validación extensiva de estos modelos, si se pretende disponer de estimaciones realistas de la relación entre erosión en ladera y cuenca para evaluar cuento

Escala	Modelo	Fuente
Ladera	RUSLE	Gómez et al. (2014b)
	WEPP	Licciardello et al. (2013)
	Modelo Ad Hoc	Ibañez et al. (2014)
Pequeña cuenca	SEDD	Taguas et al (2011), Burguet et al. (2015).
	WATEM/SEDEM	Ayala (2004)
	USPED	Ayala (2004)
	LISEM	Rebolledo (2014)
	AnnAGNPS	Taguas et al. (2012b), Aguilar (2004)

Tabla 4. Resumen de modelos de erosión aplicados a erosión en olivar en Andalucía a diferentes escalas.

5. Implicaciones económicas.

No se ha encontrado un estudio detallado del coste económico asociado a las pérdidas por erosión en olivar en Andalucía, ni en general en España para ningún cultivo. La estimación más cercana encontrada es la presentada por Montanarella et al. (2007) en base a los daños indicados en la Tabla 5 para la UE-12 en su conjunto.

Costes <i>in situ</i>	
1- Pérdidas de cosecha.	3- Tratamientos adicionales para aguas
2- Pérdida de atractivo para turistas	4- Pérdida de funciones recreativas: eg. pesca.
Costes <i>ex situ</i>	
1- Costes de retirada y tratamiento de sedimento	5- Otras pérdidas económicas, por ejemplo reducción de turismo
2- Daños a infraestructuras: carreteras, embalses,...	6- Daño a calidad de agua, impacto en especies acuáticas o navegación
	7- Costes sanitarios asociados a peor calidad del aire

Tabla 5. Resumen de daños provocados por la erosión (Montanarella et al., 2007).

En base a esos daños, Montanarella et al. (2007) determinaron un rango de costes derivados de los daños por erosión en base a tres escenarios de intensidad, baja-media-alta, estimados en 6.1, 61.4 y 118 € ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. El coste asociado a daños in-situ se estima entre el 6 y 8% aproximadamente del coste total, lo que resultaría en unos de costes in-situ de 0.3, 5 y 7.3€ ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Los datos mostrados en la sección anterior sugieren que en conjunto la estimación de daños provocados por la erosión en olivar debería considerar que esta se sitúa en el rango medio-alto de intensidad, quedando en la horquilla de entre 61.4 a 118 € ha⁻¹ año⁻¹, y considerar que la mayoría (más del 90%) se repercuten en agentes situados fuera de la zona donde se produce la erosión. Aunque esto está

implícitamente reconocido detrás de las políticas públicas orientadas a controlar la erosión en olivar, conviene recordarlo a la hora de entender por qué este es un problema persistente décadas después de haber sido identificado (eg. Bennet, 1960). Ibañez et al. (2013) estimaron los costes derivados de la pérdida de producción en olivar en secano debido a la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua por la reducción del perfil de suelo para olivar en 1- 2.8 € ha⁻¹ año⁻¹. Gómez et al. (2014) usando un modelo de balance de agua algo más sofisticado elaborado específicamente para olivar (WABOL) estimaron la pérdida de producción potencial en función de la pérdida progresiva agua disponible derivada de la pérdida de suelo para dos escenarios, suelo de sierra (Obejo) y suelo de campiña (Córdoba), Figura 3. Este trabajo indica que el nivel de crecimiento anual del coste asociado a

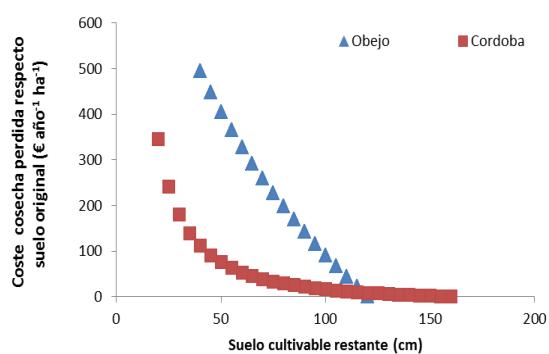


Figura 3. Estimaciones del coste por pérdida de cosecha en función de la pérdida de suelo acumulada. Adaptado de Gómez et al. (2014b)

esta pérdida de producción con respecto al año anterior debida a la pérdida de suelo es relativamente pequeño, 1.7 € ha⁻¹ año⁻¹ (con una desviación estándar de 2.5) en el caso de suelos con mayor capacidad de almacenamiento de agua y 21.1 € ha⁻¹ año⁻¹ (desviación estándar 63.2) en los suelos con peor capacidad de almacenamiento. En ambos casos son cantidades relativamente pequeñas comparadas con las fluctuaciones anuales de los ingresos por cosecha debido a otros factores (climatología, plagas, precios,...) por lo que fácilmente quedan enmascaradas a corto plazo. Sólo cuando se analizan a largo plazo (para lo que es necesario recurrir a modelos de simulación) resultan aparentes. La

simultaneidad de este proceso con los avances tecnológicos en manejo del olivar en las últimas décadas que han aumentado su productividad ha jugado un papel evidente en dificultar su identificación. Vanwallegem et al. (2011) mostraron esta paradoja en un trabajo en olivares de montaña en Montefrío donde una pérdida severa 40 cm de suelo útil en 175 años ha coexistido con un aumento de la producción de más del 200%.

6. Resumen de las medidas de control de erosión.

La Tabla 6 presenta resume las medidas de control de erosión disponibles en olivar. El aterrazado y plantaciones siguiendo curvas de nivel, a pesar de su efectividad, han sido muy poco empleados incluso en las últimas décadas en las que el olivar se ha expandido por terrenos alomados fuera de las zonas de mayor pendiente. El mayor coste de su implantación y operación pueda estar detrás de esa ausencia, aunque existen algunos ejemplos. Los bancales están presentes en algunos olivares tradicionales de sierra (e.g. Alpujarra), u ocasionalmente como elementos para salvar desniveles en zonas de campiña, aunque están menos extendidos que en otras zonas como Levante

1- **Bancales**

2- **Plantaciones en curva de nivel**

3- **Terrazas**

4- **Sistemas de laboreo reducido.** Se reduce la intensidad del laboreo combinado con uso de herbicida.

Semilaboreo (sólo se labra centro de las calle), laboreo reducido (labor superficial esporádica sólo en la calle) y no laboreo con suelo desnudo con herbicida.

5- **Cubiertas inertes.** Acolchado en las calles con inerte, normalmente restos picados de poda.

6- **Cubiertas vegetales-** Cubiertas sembradas o dejadas crecer en las calles en otoño-invierno controladas

mecánicamente o con herbicida a principio de primavera para prevenir competencia por agua con el árbol. a) Cubiertas espontáneas de vegetación presente en la finca b) Cubiertas sembradas., varias alternativas en función del propósito: b1. Gramíneas para control de erosión o compactación; b2 Leguminosas para mejora de fertilidad; b3 Mezclas de b1 y b2 para combinar ambos efectos c) Mezclas de cubiertas heterogéneas seleccionadas para aumentar biodiversidad.

7- **Control de erosión en vaguadas o cárcavas.** Mantenimiento de vegetación herbácea y leñosa para prevenir erosión en cárcavas en vaguadas o revegetación combinada con pequeños diques de retención para restaurar cárcavas.

8- **Barreras vegetales.** Barreras anchas (mínimo 3-5-4 m), permanentes y con una combinación de plantas herbáceas y leñosas densa para actuar como barrera contra la erosión y la contaminación difusa.

Tabla 6. Resumen de medidas de control de erosión en olivar.

Los sistemas de laboreo reducido no se han demostrado efectivos en reducir la erosión hídrica de manera significativa, y en el caso del no laboreo con suelo desnudo presentó intensidades de erosión más elevadas que el laboreo (Tabla 1). El uso de restos de poda picados han mostrado su efectividad en la mejora de las propiedades de suelo (Repullo et al., 2012), y es una práctica frecuente en muchos olivares cubriendo parte de las calles. No se han encontrado trabajos específicos su efecto sobre la reducción de la erosión en olivar, pero la extrapolación de estudios en agricultura de conservación indican que deben tener un efecto elevado en la reducción de la erosión por salpicadura y laminar, siempre que la poda proporcione suficiente biomasa para una cobertura apropiada. Los mayores esfuerzos se han centrado en el uso de cubiertas vegetales vivas, debido a su efectividad no sólo en el control de erosión sino en la mejora de propiedades del suelo y en la biodiversidad. Numeroso trabajos, en especial en los 1980's y 90's se centraron ajustar esta técnica para que el balance del agua del olivar no afecte a la producción, lo que ha llevado a una fecha recomendada de siega a finales de invierno principio de primavera, otros al desarrollo de diferentes tipos de cubiertas, y otro bloque importante se han centrado en explorar los beneficios adicionales sobre el suelo y medio ambiente además del control de la erosión. Este es un tema extenso (e.g. Gómez and Giráldez, 2009 o Gómez et al. 2010, Gómez et al., 2014) y aquí se mencionarán únicamente algunos aspectos destacados. Uno es que en los últimos años, en especial a partir de su obligatoriedad en pendientes superiores al 10% por las medidas agroambientales asociadas a la PAC, las cubiertas vegetales en las calles de olivar son una realidad en muchos olivares, a pesar de que se trata de una técnica que ha cambiado el paradigma de manejo de suelo en este cultivo. Muchas de estas cubiertas se desarrollan con la vegetación espontánea de la finca, por motivos obvios de coste.



Figura 4. Imágenes de distintos olivares manejados con cubierta vegetal.

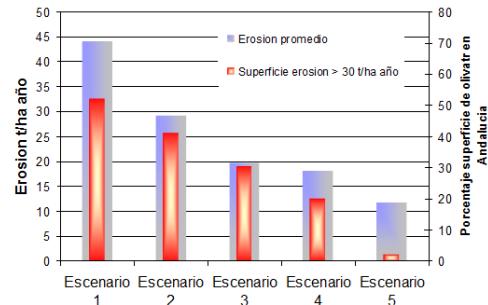


Figura 5. Estimaciones de erosión en olivar en Andalucía en base a diferentes escenarios de manejo (Gómez y Giráldez 2009).

En general la situación de estas cubiertas, a escala regional, es muy dispar (Figura 4) con olivares que han logrado implantar cubiertas suficientemente densas para proteger efectivamente de la erosión desde otoño a situaciones en las que apenas se alcanza una cobertura apreciable incluso en primavera. Las causas son varias, pero entre cabe mencionar la existencia de muchos olivares con suelos degradados y un banco de semilla muy pobre, la interacción del tráfico de la recolección con la emergencia de las cubiertas, un control demasiado temprano en primavera antes de que pueda producir semilla para la autosiembra, seguido en ocasiones por varios laboreos ligeros en verano especialmente en suelos vérticos, y en la limitada extensión de la siembra de especies adaptadas para el establecimiento de cubiertas efectivas.

Ante esa disparidad es difícil determinar la efectividad real de este tránsito al manejo con cubiertas en olivar sobre la erosión hídrica a escala regional. Un intento de aproximación en base a diferentes escenarios aparece en Gómez y Giráldez (2009), y sus resultados aparecen la Figura 5. En ella resulta aparente cómo el tránsito al manejo con cubierta vegetal, asumiendo una implantación modesta de coberturas efectivas (Escenario 2, que es que los autores suponen más probable) ha supuesto una reducción significativa de la erosión promedio y de extensión de zonas con erosión muy intensa con respecto a la situación anterior (Escenario 1). También indica que es necesario profundizar en una mejor implantación de las cubiertas vegetales para que las tasas de reducción sean similares a las obtenidas en condiciones experimentales (Escenario 3), y que es también necesario asociarlo a medidas complementarias (como cubierta permanente en zonas de elevada pendiente, etc..., Escenarios 4 y 5) para alcanzar una situación en que la erosión en olivar a escala regional se acerque a valores tolerables. Aunque el análisis presentado en la Figura 5 adolece de bastante incertidumbre, la similitud con datos medidos experimentalmente, y con los resultados de algunos ejercicios limitados de calibración del modelo usado (RUSLE, ver Vanwallegem et al., 2011, Marin, 2013) sugiere que este modelo es capaz de capturar las diferencias en pérdidas de suelo con predicciones plausibles. Es necesario muy importante progresar hacia una definición de manejo sostenible en olivar basado en el porcentaje de cobertura realmente alcanzado en los períodos erosivos. Esta monitorización es hoy es técnicamente posible mediante teledetección: bien con imágenes de alta resolución (e.g. Calderón et al. 2015) o imágenes de satélite de menor resolución pero más fácil disponibilidad sobre superficies muy extensas (e.g. Weissteiner, et al., 2011). Este mejor conocimiento del grado real de implantación y efectividad debería ir acompañado de progresos para resolver los problemas en la implantación efectiva de las cubiertas vegetales: entre otros directrices para su uso en suelos degradados, aumentar la disponibilidad de semillas de especies mejor adaptadas a coste moderado (y si fuera posible facilitando la replicación de las mismas por los agricultores, cooperativas o empresas de servicios), y la mejora de los sistemas de manejo en las fincas para que a compasen las necesidades del tráfico de la recolección con las de la implantación de una cubierta efectiva lo antes posible en otoño.. Sigue siendo necesario continuar avanzando en perfeccionar las estimaciones de balance de agua del olivar con cubierta vegetal en las condiciones particulares de las diferentes explotaciones, una vez que la combinación de ensayos agronómicos y estudios con modelos hidrológicos sugieren que este manejo, bien ajustado, es viable sin daño sensible a la producción en la mayor parte de las condiciones promedio de nuestros olivares, incluso en los escenarios esperados de reducción de precipitación promedio asociado a cambio climático (Gómez et al., 2014b).

El control de erosión por cárcavas, a pesar de la existencia de algunos buenos ejemplos aislados de control, sigue siendo una asignatura pendiente, que se realiza con una disparidad de criterios, algunos no siempre acertados. En los últimos años se han desarrollado materiales para un mejor diseño de su control (e.g. Gómez et al. 2011b, EUTROMED

2015) pero en numerosas ocasiones no se previene su aparición, su control se aborda cuando la cárcava ha alcanzado dimensiones muy grandes, o se realiza con fallos de diseño que ocasiona el colapso de las medidas de control en las siguientes tormentas importantes (e.g. Taguas et al. 2012a). Su elevado coste, en relación a la capacidad de inversión de las explotaciones, es otro obstáculo en el que se debe seguir avanzando en reducir. Existe un uso poco desarrollado de las barreras vegetales, que podrían ser muy útiles para reforzar el efecto de las cubiertas vegetales en las zonas perimetrales de cauces, caminos y explotaciones. Existen algunos ejemplos, por ejemplo el proyecto INSPIA (2015) que incluye márgenes multifuncionales y buffers alrededor de cauces, pero no se ha encontrado información publicada sobre su extensión en el sector ni sobre su efectividad real en el control de erosión. La situación general con respecto a la efectividad de las barreras vegetales (buffers) en países donde ha sido evaluada (e.g. Jiang y Piza, 2015) indica que esta es normalmente menor que la obtenida en estudios experimentales debido, especialmente, a la dificultad de obtener una barrera vegetal bien implantada. Dada la importancia que estas barreras podrían tener parece apropiado intensificar los esfuerzos en desarrollar materiales y metodologías para su implantación y mantenimiento, así como una evaluación rigurosa de su efectividad en nuestras condiciones. Para esta evaluación, y también para reducir la incertidumbre en las predicciones de modelos y en la optimización de las técnicas de control de erosión, es previsible que jueguen un papel relevante las técnicas de trazado de sedimento: marcando suelo con algún trazador fácilmente identificable; o de huella de sedimento, “fingerprinting” (e.g. Walling, 2013), en la que se comparan las propiedades del sedimento con las del suelo de las zonas potenciales de origen discriminando la fracción que viene de cada zona. Guzmán et al. (2013) usando un trazador magnético a escala de ladera fueron capaces de identificar distintas intensidades de erosión dentro de las parcelas experimentales de olivar. Es previsible que la combinación de propiedades físico-químicas tradicionales con otras más novedosas (propiedades espectrales del suelo, o ADN de los microorganismos presentes en el suelo) pueda permitir identificar las zonas prioritarias de emisión de sedimento a escala de cuencas de varias decenas o centenares de hectáreas. Esto abriría nuevas puertas desde el punto de vista de investigación y también posiblemente desde el punto de vista regulatorio.

7. Algunas reflexiones.

Resulta aparente a partir de todos los indicadores evaluados que el control de efectivo de la erosión en olivar sigue siendo una tarea pendiente, aunque en las últimas décadas se ha avanzado en su mitigación y entendimiento. La Tabla 7 resume algunas líneas, de manera no exhaustiva y subjetiva, de aspectos sobre los que este autor cree que se podrían focalizar trabajos de investigación científica y técnica. La experiencia de las últimas décadas indica que el control de la erosión en olivar es un también un reto sociológico al menos, la misma magnitud que el técnico (ver por ejemplo Hubert, 2012) que debe ser resuelto en conjunción con el técnico para lograr avances efectivos. El diseño de medidas capaces de proporcionar apoyo a medio y largo plazo, y estrategias que conciten la participación y liderazgo de olivareros y empresas del sector debería conjugarse, y coordinarse, con la investigación científica técnica.

Básico	Aplicado
1- Cuantificación más precisa de otras formas de erosión aparte de la hídrica a escala de ladera: especialmente cárcavas, y escala de pequeña cuenca.	1- Monitorización del efecto real de las medidas agroambientales introduciendo porcentaje de cobertura de suelo durante todo el periodo de lluvias.
2- Validación de modelos de erosión, priorizando los más utilizados y especialmente en predicciones a medio y largo plazo.	2- Reducción del coste y mejor transferencia de medidas de control de erosión por cárcavas.
3- Entendimiento agronómico de cubiertas autóctonas para evaluar su impacto sobre balance de agua, aporte de biomasa, y viabilidad a medio plazo (2-5 años) en condiciones de olivar bajo diferentes condiciones edafoclimáticas. Aisladas y en mezclas simples de 2-3 especies.	3- Reducción del coste y mejor transferencia de tecnologías de implantación y manejo de cubiertas vegetales, especialmente en suelos degradados, incluido la transferencia de semillas de especies autóctonas especialmente apropiadas.
4- Ajuste de técnicas de fingerprinting y trazado de sedimento para una mejor evaluación de las fuentes de sedimento, y la efectividad de barreras vegetales en reducir la conectividad de su transporte.	4- Transferencia del concepto de manejo integrado del olivar a escala de paisaje que incluya control de tráfico, cubiertas vegetales, uso de barreras vegetales, control de vaguadas, acolchado de restos vegetales, etc.. como un sistema a manejar en conjunto para control de erosión en paralelo a otros beneficios ambientales.
5- Reducción de la incertidumbre en estimación del consumo de agua de la cubierta vegetal en explotaciones comerciales.	
6- Estimación de los costes derivados de la erosión en las diferentes tipologías de olivar.	

Tabla 7. Resumen de algunas líneas donde focalizar futuros trabajos de control de erosión en olivar.

8. Agradecimientos.

A todos aquellos que han desarrollado trabajos en las últimas décadas orientados al conocimiento y control de la erosión en olivar, con muchos de los cuales he tenido (y sigo teniendo) la fortuna de colaborar.

9. Referencias

- Aguilar, C. 2004. Evaluación de la contaminación difusa en zonas de olivar con diferentes alternativas de manejo de suelo. Trabajo profesional fin de carrera, ETSIAM. Universidad de Córdoba.
- Arroyo, L. 2004. Valoración agronómica de las pérdidas por productividad por erosión en cultivos plurianuales mediterráneos. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba.
- Ayala, C. 2004. Modelización de la erosión hídrica en una cuenca de olivar en regadío en La Conchuela (Córdoba). Trabajo profesional fin de carrera, ETSIAM. Universidad de Córdoba.
- Ballais, J.L., Cohen, M., Bonté, P., Larromanière, M., Lefèvre, I., Maingre, A., Poumailloux, A., Roussin, A., Sol, S. 2013. Hydric erosion in Sierra Magina olive groves (Andalusia, Spain). Prospects for sustainable development Zeitschrift für Geomorphologie 57: 1–23.
- Beaufoy, G. EU Policies for Olive Farming. Unsustainable on all Counts; BirdLife International-WWF: Brussels, Belgium, 2001.
- Bennet, H.H. 1960. Soil Erosion in Spain. Geographical Review 50: 59–72.
- Burguet, M., Taguas, E.V., Gómez, J.A. 2015. Exploring calibration strategies of SEDD model in two olive orchard watersheds. Geoderma (en proceso de revisión).
- Calderón, R., Navas-Cortés, J.A., Zarco-Tejada, P.J. 2015. Early Detection and Quantification of Verticillium Wilt in Olive Using Hyperspectral and Thermal Imagery over Large Areas, Remote Sensing, 7: 5584-5610.
- Castillo, C., Taguas, E., Mora, J., Gómez, J.A. 2013. Cost analysis of gully restoration in agricultural areas in Andalusia (Spain). Geophysical Research Abstracts Vol. 15: EGU2013-6358.
- Castillo, C., Pérez, R., Mora, J., Gómez, J.A. 2015. Gully evolution in field crops on vertic soils under conventional agriculture. Geophysical Research Abstracts Vol. 17: EGU2015-7144.
- Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 2015. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.f361184aaadba3cf8ca78ca731525ea0/?vgnextoid=0facfa937370f210VgnVCM1000001325e50aRCRD>. Fecha de último acceso 26 de julio de 2015.
- Eurostat, 2015. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion. Fecha de último acceso 26 de agosto de 2015.
- European Soil Portal 2015. http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/serae/grimm/erosion/inra/europe/analysis/maps_and_listings/web_erosion/index.html. Fecha de último acceso 26 de agosto de 2015.
- EUTROMED, Proyecto LIFE. Informe Laymen en su página web en <http://eutromed.org/>. Fecha de último acceso 28 de agosto de 2015.
- Francia, J.R., Durán, V.H., Martínez, A. 2006. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). Science of the Total Environment 358: 46–60.
- Gómez, J.A., Battany, M., Renschler, C.S., Fereres, E. 2003. Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. Soil Use and Management 19: 127–134.
- Gómez, J.A., Giráldez, J.V., Vanwalleghem, T. 2008. Comments on “Is soil erosion in olive groves as bad as often claimed?” by L. Fleskens and L. Stroosnijder. Geoderma 147: 93–95.
- Gómez, J.A.; Giráldez, J.V. 2009. Erosión y degradación de suelos. En: Sostenibilidad de la Producción de Olivar en Andalucía; Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía: Sevilla.
- Gómez, J.A., Álvarez, S. Soriano, M.A. 2009a. Development of a soil degradation assessment tool for organic olive groves in southern Spain. Catena 79: 9–17.
- Gómez, J.A.; Sobrinho, T.A.; Giráldez, J.V.; Fereres, E. 2009b. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. Soil Tillage Res. 102: 5–13.
- Gómez, J.A., Giráldez, J.V., Fereres, E., 2009c. The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. Soil and Tillage Research 106: 137–144.
- Gómez, J.A., Campos, M., Guzmán, G., Vanwalleghem, T., Giráldez, J.V. 2010. ProTerra y Biosuelo, siete años de ensayo de cubiertas vegetales para control de la erosión en un olivar de verdeo: resultados orientaciones y perspectivas. Agricultura 935: 910 – 915.
- Gómez, J.A., Llewellyn, C., Basch, G., Sutton, P.B., Dyson, J.S., Jones, C.A., 2011a. The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. Soil Use and Management 27: 502–514.

- Gómez Calero, José Alfonso, Taguas, E. V., Vanwalleghem, Tom, Giráldez, Juan Vicente, Sánchez, F., Ayuso, J. L., Lora, A., Mora, J. 2011b. Criterios técnicos para el control de cárcavas, diseño de muros de retención y revegetación de paisajes agrarios Manual de operador en inversiones no productivas. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Gómez, J.A., Vanwalleghem, T., De Hoces, A., Taguas, E.V. 2014a. Hydrological and erosive response of a small catchment under olive cultivation in a vertic soil during a five-year period: Implications for sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 188: 229–244.
- Gómez, J.A., Infante-Amate, J., González de Molina, M., Vanwalleghem, T., Taguas, E.V., Lorite, I. 2014b. Olive Cultivation, its Impact on Soil Erosion and its Progression into Yield Impacts in Southern Spain in the Past as a Key to a Future of Increasing Climate Uncertainty. *Agriculture*: 170–198.
- Gómez, J.A., Campos, M., Guzmán, G., Castillo-Llanque, F., Giráldez, J.V. 2014c. Use of heterogeneous cover crops in olive orchards to soil erosion control and enhancement of biodiversity. *Actas de ELS2014 –The Earth Living Skin: Soil, Life and Climate Changes*, Bari, Italia.
- Guzmán, J.R. 2004. El palimpsesto cultivado. Historia de los paisajes del olivar andaluz; Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía: Sevilla.
- Guzmán, G., Vanderlinden, K., Giráldez, J.V., Gómez, J.A. 2013. Assessment of Spatial Variability in Water Erosion Rates in an Olive Orchard at Plot Scale using a Magnetic Iron Oxide Tracer. *Soil Science Society of America Journal* 77: 350 – 360.
- Huber, A. 2012. Olive Monocultures, Collective Action and the Labrador Culture. Amelie Huber. Minor master thesis in International Land and Water Management at Wageningen University, the Netherlands.
- Ibáñez, J., Martínez-Valderrama, J., Taguas, E.V., Gómez, J.A. 2014. Long-term implications of water erosion in olive-growing areas in southern Spain arising from a model-based integrated assessment at hillside scale.
- Infante-Amate, J. 2012. The Ecology and History of Mediterranean Olive Grove: The Spanish Great Expansion (1750–2000). *J. Rural Hist.* 23: 161–184.
- INSPIA. European Index for Sustainable Productive Agriculture. 2015. Página web: <http://www.inspia-europe.eu/> Fecha de último acceso 29 de Agosto de 2015.
- Jiang, Y, Piza, H. 2015. A Review of Applicability and Effectiveness of Low Impact Development/Green Infrastructure Practices in Arid/Semi-Arid United States. Environments (in press). doi:10.3390/environments20x000x
- Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J. and Huting, J. 2004. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Licciardello, F., Taguas, E.V., Barbagallo, S., Gómez, J. A. 2013. Application of the water erosion prediction project (WEPP) in olive orchards on vertic soil with different management conditions. *Transactions of the ASABE* 56: 951-961.
- Mabit, L., Chhem-Kieth, S., Toloza, A., Vanwalleghem, T., Bernard, T., Infante-Amate, J., González de Molina, M., Gómez, J.A. 2012. Radioisotopic and physicochemical background indicators to assess soil degradation affecting olive orchards in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 159: 70– 80.
- MAGRAMA 2015. Inventario nacional de Erosión de Suelos. <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/servidor-cartografico-wms-/default.aspx>. Fecha de último acceso 28 de julio de 2015.
- Marin, V.J. 2013. Interfaz gráfica para la valoración de la pérdida de suelo en parcelas de olivar. Trabajo profesional fin de carrera, ETSIAM. Universidad de Córdoba.
- Montanarella, L. 2007. Trends in Land Degradation in Europe. En: M.V.K. Sivakumar and N. Ndiang'ui (Editores), *Climate and Land Degradation*. Environmental Science and Engineering Springer Berlin Heidelberg, pp. 583-104
- Pastor, M., Castro, J., Vega, V. y Humanes M.D. 1999. Sistemas de manejo del suelo. En: *El cultivo del olivo- Barranco*, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds). Mundi Prensa. Madrid.
- Ramos, M.I., Feito, F.R., Gil, A.J., Cubillas, J.J. 2008. A study of spatial variability of soil loss with high resolution DEMs: A case study of a sloping olive grove in southern Spain. *Geoderma* 148: 1–12.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water. A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Rebolledo, J.J. 2014. Análisis y modelado de la erosión por flujo concentrado y propuesta de medidas de conservación del suelo en una microcuenca de olivar de Setenil de las Bodegas (Cádiz). Trabajo profesional fin de carrera, ETSIAM. Universidad de Córdoba.
- Repullo M.A., Carbonell, R., Hidalgo, J., Rodríguez-Lizana, A., Ordoñez, R. 2012. Using olive pruning residues to cover soil and improve fertility. *Soil and Tillage research* 124: 36 – 46.
- Romero, P., Castro, G., Gómez, J.A., Fereres, E., 2007. Curve number values for olive orchards under different soil management. *Soil Science Society of America Journal* 71, 1758–1769.
- Scheidel, A., Krausmann, F. 2011. Diet, trade and land use: a socio-ecological analysis of the transformation of the olive oil system. *Land Use Policy* 28: 47–56.

- Taguas, E.V., Moral, C., Ayuso, J.L., Pérez, R., Gómez, J.A. 2011. Modeling the spatial distribution of water erosion within a Spanish olive orchard microcatchment using the SEDD model. *Geomorphology* 133: 47–56.
- Taguas, E.V., Giráldez, J.V., Ayuso, J.L., Pérez, R., Castillo, C., Gómez, J.A. 2012a. Preliminary assessment and cost analysis of incentives for gully control in agricultural areas of Andalusia (Southern Spain). *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13: EGU2011-4693
- Taguas, E.V., Yuan, Y., Bingner, R.L., Gómez, J.A., 2012b. Modeling the contribution of ephemeral gully erosion under different soil managements: a case study in an olive orchard microcatchment using the AnnAGNPS model. *Catena* 98, 1–16.
- Taguas, E.V., Ayuso, J.L., Pérez, R., Giráldez, J.V., Gómez, J.A. 2013. Intra and inter-annual variability of runoff and sediment yield of an olive micro-catchment with soil protection by natural ground cover in Southern Spain. *Geoderma* 206: 49–32.
- Taguas, E.V., Gómez, J.A. 2015. Vulnerability of olive orchards under the current CAP (Common Agricultural Policy) regulations on soil erosion: a study case in Southern Spain. *Land Use Policy* 42: 683–694.
- Taguas, E.V., Guzmán, E., Guzmán, G., Vanwalleghem, T., Gómez, J.A. 2015. Characteristics and importance of rill and gully erosion: a case study in a small catchment of a marginal olive grove. *Cuadernos de Información Geográfica* (en prensa).
- Vanwalleghem, T., Laguna, A., Giráldez, J.V., Jiménez-Hornero, F.J. 2010. Applying a simple methodology to assess historical soil erosion in olive orchards. *Geomorphology* 114: 294–302.
- Vanwalleghem, T., Amate, J.I., de Molina, M.G., Fernández, D.S., Gómez, J.A. 2011. Quantifying the effect of historical soil management on soil erosion rates in Mediterranean olive orchards. *Agriculture Ecosystems and Environment* 142: 341–351.
- Vanwalleghem, T., Hayas, A., Román, A., Hervas, C., Laguna, A., Peña, A., Giráldez, J.V. 2014. Evaluating long-term gully dynamics by data fusion from field measurements, photogrammetry and modelling. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 16: EGU2014-15366.
- Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J. and Smith, C.J., 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews* 94: 23–38.
- Walling, D.E. 2013. The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. *Journal of Soils Sediments* 13:1658–1675.
- Weisseiner, C.J., Strobl, P., Sommer, S. 2011. Assessment of status and trends of olive farming intensity in EU-Mediterranean countries using remote sensing time series and land cover data. *Ecological Indicators* 11: 601 – 610.

Tema A

Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales

