

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE AnnAGNPS EN LA DINÁMICA DE HERBICIDAS EN CUENCAS DE OLIVAR

C. Aguilar¹ y M.J. Polo²

Grupo de Hidrología e Hidráulica Agrícola. Dpto. Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba Apdo. 3048, 14080, Córdoba;¹ g82agpom@uco.es ² mjpolo@uco.es

RESUMEN. Los modelos integrales a escala de cuenca surgen como respuesta a la necesidad de disponer de herramientas de gestión de los recursos hídricos con criterios conjuntos de calidad y cantidad, y persiguen conseguir una caracterización precisa de los procesos hidrológicos y erosivos que conforman los flujos de agua y sedimentos en una cuenca, acoplados a los procesos físicos, químicos y biológicos que cada sustancia puede sufrir. Dentro de estos, los modelos físicamente basados tienen la ventaja de que permiten el desarrollo de metodologías aplicables a zonas no monitorizadas, aunque para ello sea necesaria la calibración de numerosos parámetros. *AnnAGNPS* es un modelo hidrológico de cuencas agrícolas, que simula la generación de escorrentía y los flujos asociados de sedimentos, nutrientes y herbicidas que abandonan las distintas subáreas de comportamiento hidrológico homogéneo en que se divide la cuenca, celdas, y su consiguiente viaje a través de la misma. El objetivo de este trabajo es cuantificar la sensibilidad del modelo a diferentes escalas temporales en la modelación de zonas de olivar. Para ello se analizó la respuesta hidrológica de una parcela de olivar próxima al municipio sevillano de Herrera con información climática procedente de la estación climática de Santaella (CSIC-IAS), bajo dos sistemas de manejo de suelo de no laboreo con aporte de herbicidas: 1) suelo desnudo y 2) cubierta entre calles. El trabajo presenta los resultados del análisis de sensibilidad por áreas individuales: parámetros hidrológicos, parámetros que influyen en la producción de sedimentos y parámetros que influyen en la dinámica de herbicidas, y de forma combinada, se establecen los criterios para llevar a cabo la calibración, en función de la escala del estudio a realizar.

ABSTRACT. Integrated models at watershed scale constitute an important tool for water resource management, combining both quantity and quality criteria. These models aim to characterize precisely hydrologic and erosive processes that influence water and sediment fluxes throughout the watershed, coupled to physical, chemical and biological processes that affect water quality. In non-monitored areas, physically-based models allow to estimate the watershed response, although some level of calibration

from field measurements is always required. *AnnAGNPS* is an integrated model for agricultural watersheds that simulates runoff generation and the associated sediment, nutrient and pesticide fluxes in different sub-areas with homogeneous hydrological response. The aim of this paper is to quantify the sensitivity of the model at different temporal scales in the modeling of olive orchards. To this purpose, the hydrological response of an olive watershed was simulated using climatic information from the meteorological station of Santaella considering two soil management systems with application of pesticides: 1) Bare soil and 2) cover between tree rows. The results of the sensitivity analysis are grouped by: hydrological parameters, parameters affecting the sediment yield, and parameters affecting the dynamic of pesticides. Finally, the criteria to carry out the model calibration are set depending on the scale of the research.

1. Introducción

La necesidad de evaluar los efectos que causan cambios de uso y manejo de la tierra sobre la conservación del suelo y la calidad del agua ha llevado a recurrir, cada vez con más frecuencia, al uso de modelos de simulación, con fines tanto de diagnóstico como de pronóstico, sobre todo para predicción a medio y a largo plazo. La complejidad del trabajo reside en la gran variedad de procesos que han de ser simulados, como infiltración, escorrentía, erosión, adsorción y desorción, y transformaciones químicas en el suelo. Los modelos de simulación de procesos físicos representan el sistema que se modela a través de la descomposición del mismo en los componentes que lo integran. De este modo se simulan los fenómenos en los distintos componentes y así cada proceso se analiza de forma individual y se mejora o altera hasta que cumple con las necesidades del usuario (Aguilar, 2004). En la actualidad existen numerosos modelos de este tipo entre los que destacan WEPP, SWAT, SWRRB, ANSWERS, AGNPS, *AnnAGNPS*, GLEAMS, etc. (Vahos, 2003).

Un aspecto importante en el desarrollo de cualquier modelo es la definición de parámetros de entrada, variables de estado y relaciones entre ambas para cada proceso incluido en el mismo, definiendo la escala espacio-temporal para la que dicha caracterización es válida. Además es necesario conocer las características de los datos existentes: sin los datos adecuados, la calibración y validación de los modelos previas a su aplicación como medios de predicción puede producir resultados alejados de las condiciones reales (Overcash et al., 1981).

El objetivo general de este trabajo es analizar la sensibilidad de AnnAGNPS en el modelado de la dinámica de herbicidas en cuencas de olivar bajo dos sistemas de manejo con empleo de herbicidas: 1) No laboreo y 2) Cubierta entre calles.

2. Materiales y métodos

2.1. Descripción del modelo

AnnAGNPS (*Annualized Agricultural Nonpoint Source Pollution Model*) es la evolución de AGNPS (modelo de contaminación agraria difusa basado en un único evento de lluvia) en el sentido de que realiza una simulación continua a escala de cuenca. Para ello divide la misma en canales y celdas, siendo éstas últimas áreas de comportamiento hidrológico homogéneo que reflejan de este modo la variedad espacial y temporal asociada a las distintas prácticas de manejo. Así, el modelo simula la generación de escorrentía y los flujos asociados de sedimentos, herbicidas y nutrientes que abandonan las distintas celdas y su consiguiente viaje a través de la cuenca a partir de algoritmos empíricos y cuasi-físicos (Bingner y Theurer, 2003). En las celdas tienen lugar los procesos primarios cuyos resultados constituyen los valores de entrada de los algoritmos que simulan el balance de agua, sedimentos, herbicidas y nutrientes en los canales (Taguas et al. 2004).

Los módulos básicos empleados por AnnAGNPS para la caracterización de los procesos hidrogeoquímicos (Bingner y Theurer, 2003) son:

- El Método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos (USDA, 1972) parcialmente modificado por un algoritmo del balance de humedad del suelo.
- La Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE) para la predicción de la erosión en las celdas (Renard et al. 1997).
- Balance de masas adaptado del modelo GLEAMS para el cálculo de herbicidas (Knisel, 1999).

Para la ejecución del modelo se requieren tres tipos de datos de entrada: 1) datos topográficos; 2) datos de suelo y relacionados con el uso y manejo del mismo; 3) datos climáticos. Los datos topográficos son procesados por un generador de la red de desagüe, el modelo TopAGNPS, cuya entrada es el Modelo Digital de Elevaciones de la cuenca (Garbrecht y Martz, 1999). Los datos de suelo y manejo, agrupados en 34 categorías, se introducen de forma manual en el AnnAGNPS Input Editor al cual se importan los parámetros de la red de desagüe obtenidos con anterioridad.

El resultado es el archivo de entrada AnnAGNPS.inp que junto con el archivo DayClim.inp, formado por los registros diarios de las variables climáticas requeridas constituyen las entradas al modelo. Para unos valores dados de las variables climáticas de entrada, el ajuste de los resultados proporcionados por el modelo se efectúa calibrando un conjunto numeroso de parámetros en su mayoría referentes a las características del horizonte superficial del suelo.

2.2. Descripción de la zona de estudio

La cuenca de estudio se encuentra en el término municipal de la localidad de Puente Genil (Córdoba). Tiene una superficie de 38.37 ha y una pendiente media del 6%. El Modelo Digital de Elevaciones de la cuenca se obtuvo mediante la digitalización del Mapa Geográfico Nacional, a escala 1:10.000 como se puede observar en las figuras 1 y 2. A partir del mismo se generaron pendientes, exposiciones, subcuencas, longitudes de flujo, puntos de desagüe, etc.

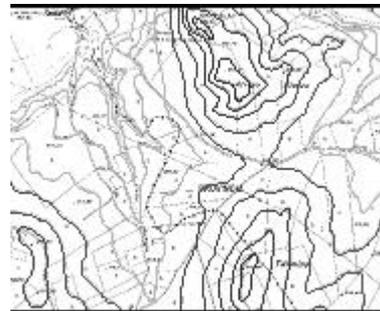


Fig. 1. Digitalización sobre 1:10000

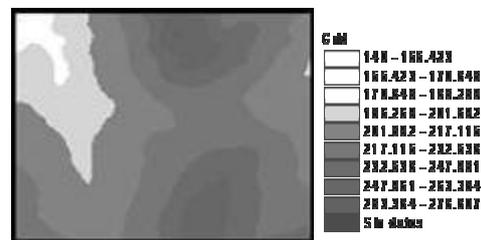


Fig. 2. Modelo digital de elevaciones (unidades en metros).

El clima de la zona se caracteriza como típico Mediterráneo al presentar la pluviometría una distribución irregular entre 400 y 500 mm/año y los valores de temperatura más elevados coincidir con los períodos secos. Los registros diarios de las variables climáticas necesarias para la ejecución del modelo (temperaturas máximas, mínimas, de punto de rocío, precipitación diaria, humedad relativa media, cubierta del cielo y velocidad y dirección del viento) se obtuvieron de la estación meteorológica del CSIC-Instituto de Agricultura Sostenible de Córdoba en Santaella, a unos 15 km de la cuenca.

Para la caracterización del suelo se empleó información previa obtenida en el marco del estudio "Proyecto de erosión en olivar de sierra" suscrito entre la Universidad de Córdoba y FAECA del que se obtuvieron los valores de

textura (franco arcillosa), pH (en torno a 8), materia orgánica (en torno al 1.2%) y tipo de suelo del SCS (tipo C).

El cultivo presente está formado por olivos de la variedad picual de entre 50 y 70 años en marco de 12x12 metros a 3 ó 4 pies y las alternativas simuladas fueron: a) no laboreo con aplicación de simazina y glifosato en preemergencia y postemergencia de malas hierbas, con dosis de 3 y 2.16 kg/ha, respectivamente; y b) no laboreo con cultivo de cubierta de cebada entre calles realizando la siega química con glifosato en dosis de 1 kg/ha al inicio del encañado del cereal, que para la zona se corresponde con la tercera semana de Marzo.

2.3. Análisis de sensibilidad

En primer lugar se realizó la subdivisión de la cuenca según los datos de elevación y la selección de una subcuenca para aplicación del modelo. A continuación se aplicó el generador de la red de desagüe en la subcuenca seleccionada (Fig(s) 3, 4 y 5) para obtener los parámetros que posteriormente se importan al modelo. Se incorporaron los datos necesarios (Aguilar et al., 2005) y por último se ejecutaron las simulaciones planificadas.



Fig. 3. Subcuenca

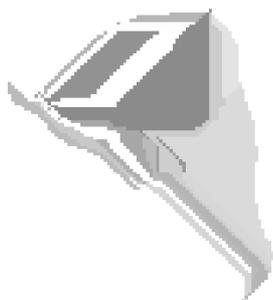


Fig. 4. Celdas



Fig. 5. Red de desagüe

El análisis de sensibilidad se realizó a través de la “perturbación de parámetros”, es decir, se varía un parámetro del modelo mientras el resto permanecen constantes, de modo que las variaciones sufridas en las variables de estado reflejan la sensibilidad de la solución al parámetro modificado (Chapra, 1997). De este modo se presentan los resultados agrupados en: a) Parámetros hidrológicos, conductividad hidráulica saturada, k_s , y número de curva, NC; b) Parámetros que influyen en la producción de sedimentos, erodibilidad, K, y densidad aparente D_a y c) Parámetros de la producción de herbicidas, coeficiente de reparto de herbicidas, K_d .

La simulación de referencia se efectuó para los siguientes valores de los parámetros:

Tabla 1. Valores de referencia de los parámetros

k_s (mm/h)	NC	K (t ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	D_a (Mg/m ³)	K_d (ml/g)
1	84	0.031	1.3	24000 (Glifosato) 130 (Simazina)

La justificación de estos valores de referencia se da posteriormente en los respectivos apartados.

3. Resultados

Los resultados que se presentan corresponden al punto de desagüe final de la cuenca, aunque el modelo puede separar los producidos aguas arriba y abajo de un canal concreto o de una subcuenca determinada. El periodo evaluado fue el correspondiente al año 2002 y se analizan dos escalas temporales: 1) a escala anual, se evalúan los valores acumulados de las variables en estudio para los distintos valores de las parámetros; 2) a escala de eventos se analiza la respuesta de la cuenca a los eventos posteriores a la aplicación de herbicidas, y teniendo en cuenta que para el modelo un evento es aquel suceso de lluvia que produce en el punto de desagüe de la cuenca una escorrentía superior a 0.001 mm.

3.1. Escala anual

Para la simulación de referencia se obtuvieron los siguientes resultados para el manejo con herbicidas (H) y con cubierta (C).

Tabla 2. Resultados para la simulación de referencia

P (mm)		H	C
E (mm)		62.03	37.79
C		0.145	0.088
S (t/ha)		0.903	0.820
S (kg/ha/mmP)		2.11	2.03
Glifosato	Adherido	6776.14	
	Disuelto	0.018	286.68
Simazina	Adherido	3389.21	0.00049
	Disuelto	1.1207	

3.1.2. Parámetros hidrológicos

Conductividad hidráulica saturada

La conductividad hidráulica saturada, k_s , constituye uno de los parámetros físicos del suelo más determinantes a la hora de cuantificar las diferentes componentes del balance global de agua en la superficie del mismo. El valor empleado en la simulación de referencia (tabla 1) se obtuvo a partir de ensayos de infiltración efectuados en la zona (Polo et al., 2003). El análisis de sensibilidad se realizó para un intervalo de K_s entre 0.5 y 10 mm/h. De este modo, los resultados obtenidos fueron los mostrados en la tabla 3. Se puede observar la gran variación de la escorrentía que descende un 50% al aumentar k_s desde el valor de referencia hasta 10 mm/h en el manejo con herbicidas, mientras que la producción de sedimentos tan sólo se redujo en un 15%.

Tabla 3. Escorrentía (E), coeficiente de escorrentía (CE) y Sedimentos (S) por unidad de área para distintos valores de k_s

k_s	E (mm)		CE		S (t/ha)	
	H	C	H	C	H	C
0.5	65.42	40.40	0.153	0.094	0.904	0.821
0.8	63.07	38.57	0.147	0.090	0.901	0.816
1	62.03	37.79	0.145	0.088	0.903	0.820
1.5	59.94	36.23	0.140	0.085	0.900	0.828
5	47.17	29.45	0.110	0.069	0.830	0.874
7.5	36.75	25.80	0.086	0.060	0.748	0.853
10	31.54	24.76	0.074	0.058	0.762	0.767

En cuanto a la producción de herbicidas, estas variaciones dieron lugar a disminuciones en la producción de simazina de hasta cerca del 55% respecto al nivel de referencia y siendo levemente más acusada esta diferencia en la fracción disuelta que en la adherida al sedimento, como muestra la figura 6. En cambio para el glifosato, las diferencias fueron leves y únicamente aparecieron a partir de un valor de k_s igual a 5 mm/h.

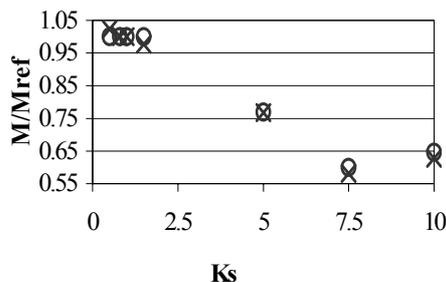


Fig. 6. Producción de simazina adherida y disuelta (M) respecto al nivel de referencia (M_{ref}). O Simazina adherida X Simazina disuelta.

Número de Curva

El número de curva constituye otro parámetro relevante en la cuantificación del balance hidrológico. Se trata de un parámetro adimensional con valores comprendidos entre 0 y 100, que determina la retención potencial máxima del suelo. El valor de referencia se fijó en 84 dado el tipo de suelo y su uso, y se modificó entre 80 y 100, intervalo obtenido en un estudio anterior de la misma cuenca (Taguas et al., 2004). Los resultados en relación a la escorrentía y

producción de sedimentos bajo dichos valores fueron los de la tabla 4. En ella se puede ver la gran sensibilidad del modelo a este parámetro, por ejemplo, en el manejo con cubierta en el cual la escorrentía aumentó hasta un 150% al aumentar el NC de 84 a 100. Estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios anteriores (Massobrio et al., 1998), en los cuales se determinó que el grado de sensibilidad del NC en AGNPS era significativo.

Tabla 4. Escorrentía (E), coeficiente de escorrentía (CE) y Sedimentos (S) por unidad de área para distintos valores de NC.

NC	E (mm)		CE		S (t/ha)	
	H	C	H	C	H	C
80	59.68	34.14	0.139	0.079	0.936	0.648
84	62.03	37.79	0.145	0.088	0.903	0.820
90	68.80	47.69	0.161	0.111	0.968	0.832
95	81.57	64.11	0.191	0.150	1.019	0.947
100	154.02	141.77	0.360	0.331	1.031	0.904

La figura 7 refleja la producción de glifosato en función del NC. Como se puede observar, las diferencias son notables, dándose un aumento de casi un 70% al aumentar el NC desde el valor de referencia hasta un valor de 100.

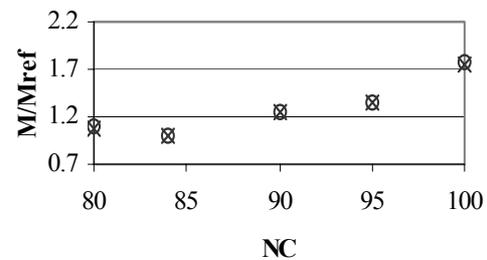


Fig. 7. Producción de glifosato en manejo con herbicidas adherido y disuelto (M) respecto al nivel de referencia (M_{ref}). O Glifosato adherido X Glifosato disuelto.

3.1.3. Parámetros de producción de sedimentos

Por lo general se observa un incremento notable de la producción de herbicidas adheridos al sedimento.

Erodibilidad

La erodibilidad expresa la susceptibilidad del suelo para erosionarse, y es uno de los parámetros de la RUSLE, de ahí su influencia directa en la estimación de la producción de sedimentos. Los valores empleados en las simulaciones se calcularon a partir de la fórmula de aproximación al nomograma de Wischmeier y Smith con los valores edáficos de la zona y variando el contenido de materia orgánica del suelo entre 2.5% y 0.5%, intervalo obtenido en un estudio anterior de la zona (Gómez et al., 1999), e igualmente se simuló el valor resultante del nomograma, todos ellos valores de K próximos a estudios anteriores (Gómez et al., 2003). En la tabla 5 se observa que la producción de sedimentos aumenta en torno a un 13% al aumentar de 0.031 a 0.035 el valor de K en ambos sistemas de manejo, mientras que la disminución es del orden del 18% al descender de 0.031 a 0.0255 t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹.

Tabla 5. Sedimentos por unidad de área (S) para distintos valores de K

K	S(t/ha)	
	H	C
0.0255	0.743	0.676
0.027	0.787	0.716
0.031	0.903	0.820
0.035	1.019	0.924

En la figura 8 se muestra la producción de herbicidas adheridos al sedimento en el manejo con herbicidas. Destacan las variaciones de en torno 260 mg/ha que se dan en el glifosato y de 500 mg/ha para la simazina respecto al nivel de referencia.

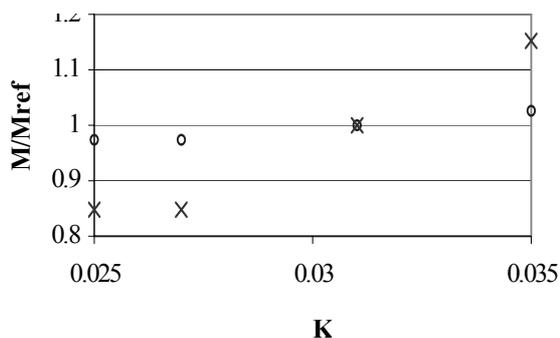


Fig. 8. Producción de herbicidas adheridos (M/M_{ref}) en el sistema de no laboreo con empleo de herbicidas. O Glifosato X Simazina

Densidad aparente. Este parámetro es determinante a la hora de modificar el algoritmo de humedad del suelo que determina la escorrentía, el cálculo del caudal punta y los valores de descarga de suelo.

El intervalo de variación que se aplicó fue de 1.1 a 1.5 Mg/m^3 (Gómez et al., 1999), y se observó que tuvo mayor efecto sobre la escorrentía que sobre la producción de sedimentos, ya que si bien en el primer caso se dieron variaciones de hasta el 16% al emplear un valor de 1.1 Mg/ha , como se observa en la tabla 6, para los sedimentos las variaciones fueron mucho menores.

Tabla 6. Escorrentía (E), coeficiente de escorrentía (CE) y Sedimentos (S) por unidad de área para distintos valores de Da.

Da	E(mm)		CE		S(t/ha)	
	H	C	H	C	H	C
1.1	70.62	44.04	0.165	0.103	0.907	0.831
1.2	66.18	40.92	0.155	0.096	0.905	0.823
1.3	62.02	37.79	0.145	0.088	0.903	0.820
1.4	57.60	34.40	0.135	0.080	0.899	0.806
1.5	53.58	31.53	0.125	0.074	0.880	0.779

Para los dos herbicidas considerados las variaciones siguieron aproximadamente la misma tendencia y aumentos y disminuciones en la misma cuantía que la producción de escorrentía, como se puede ver en la figura 9 que representa la producción de glifosato.

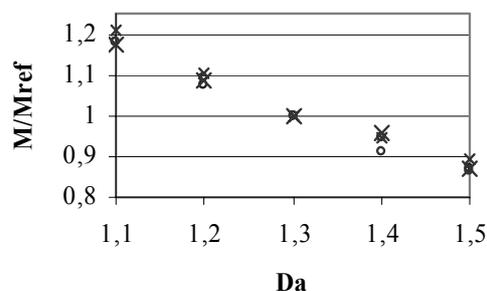


Fig. 9. Producción de glifosato en ambos sistemas de manejo (M/M_{ref}). O Adherido X Disuelto

3.1.4. Parámetros de producción de herbicidas

Coefficiente de reparto

Este parámetro expresa el ratio entre la concentración de herbicida adherida al carbono orgánico y disuelto en agua e indica la movilidad de un herbicida a través del perfil del suelo de modo que a mayor valor de K_d más despacio se mueve o mayor cantidad de agua se necesita para lixiviar el herbicida hasta una profundidad determinada. Se realizó la simulación de referencia con los valores indicados en las bases de datos de AnnAGNPS y se modificaron un $\pm 50\%$, dando lugar a los valores mostrados en la tabla 7 en la cual se observa un incremento importante en la producción de herbicida disuelto al aumentar K_d un 50%.

Tabla 7. Glifosato por unidad de área (M) para distintos valores de K_d

K_d	C		H	
	Glif adh	Glif dis	Glif adh	Glif dis
-50%	495.18	0.0018	16940.32	0.0599
Ref	286.68	0.0005	10164.20	0.0179
+50%	205.89	0.0002	7818.61	0.0091

3.2. Eventos

Los eventos analizados fueron los ocurridos a principios de Abril (3/04/02 y 6/04/02), tras la aplicación de glifosato en ambos sistemas de manejo a mediados del mes anterior. En cualquier caso, la mayor sensibilidad del modelo a esta escala se observó en el manejo con herbicidas apreciándose diferencias significativas de las distintas variables para un mismo evento, mientras que en el manejo con cubierta se observó únicamente un mayor/menor número de episodios de lluvia escorrentía, de ahí que los valores acumulados a final de año fuesen de mayor/menor cuantía que para la simulación de referencia.

Tabla 8. Resultados para la simulación de referencia en los eventos considerados (E1 y E2)

	H		C		
	E1	E2	E1	E2	
P(mm)	9.5	18	9.5	18	
E(mm)	0.78	2.87	0.044	0.244	
C	0.082	0.159	0.002	0.025	
S(kg/ha)	2.86	13.7	0.312	0.625	
S(kg/ha/mmP)	0.30	0.76	0.033	0.034	
Glif. (mg/ha)	Adh.	6776.14	1081.57	4.95	30.75
	Dis.	0.00021	0.0019	0.0008	0.0003

3.2.2. Parámetros hidrológicos

Las variaciones de *conductividad hidráulica saturada* tuvieron gran efecto en el manejo con herbicidas dando lugar a disminuciones del 40% en la escorrentía para un mismo evento al aumentar k_s a 10 mm/h. En cuanto a la producción de sedimentos y herbicidas el modelo se mostró muy sensible ya que se encontraron producciones de sedimentos 2.5 veces superiores al nivel de referencia, siendo la diferencia más drástica aún para la producción de herbicidas tanto adheridos como disueltos (3.5 y 6.5 veces). Esto se debe a la gran influencia de este parámetro en la evaluación de la condición de humedad antecedente del suelo, que determina el caudal punta y la tasa de descarga de suelo y herbicidas, de modo que una menor escorrentía en un evento puede provocar, al encontrarse el suelo más saturado, mayor escorrentía en el evento posterior y por tanto más erosión y mayor tasa de descarga de sedimentos y herbicidas.

El efecto del *número de curva*, al igual que el de k_s , fue más notable en el manejo con herbicidas, si bien como para k_s en el manejo con cultivo de cubierta varió el número de episodios lluvia-escorrentía (de ahí un mayor volumen anual de todas las variables al aumentar el valor del NC). En el manejo con herbicidas destacan diferencias en la producción de sedimentos de 8.26 kg/ha para un mismo evento al variar el NC de 84 a 100 y aumentos en la producción de herbicidas alrededor del 300% respecto al nivel de referencia (390 frente a 125 mg/ha).

3.2.3. Parámetros de producción de sedimentos

La figura 10 muestra la variación en la producción de glifosato adherido y disuelto para ambos eventos según el valor de la *erodibilidad* del suelo.

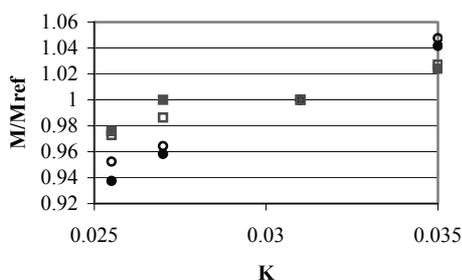


Fig. 10. Producción de glifosato en el manejo con herbicidas (M/M_{ref}).

● Adherido evento 1 ■ Adherido evento 2
○ Disuelto evento 1 □ Disuelto evento 2

La figura 11 muestra el aumento del número de eventos lluvia-escorrentía en el manejo con cubierta al disminuir el valor de la *densidad aparente*.

3.2.4. Parámetros de producción de herbicidas

El efecto del coeficiente de reparto sobre la producción de herbicidas no depende de la escala temporal del estudio y, por tanto, no se muestra en este caso.

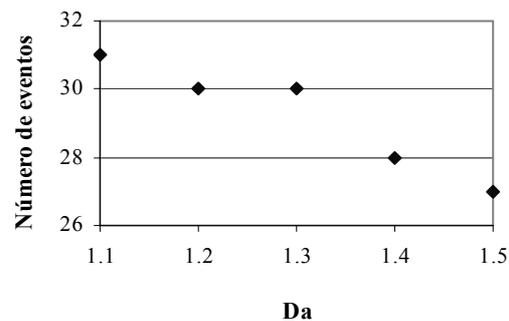


Fig. 11. Número de eventos en el manejo con cubierta.

4. Conclusiones

Los resultados simulados en cuanto a la dinámica de herbicidas están condicionados por los modelos integrados en AnnAGNPS para el cálculo de la generación de escorrentía y producción de sedimentos. El estudio de sensibilidad realizado permita jerarquizar la secuencia de calibración, dado el elevado número de parámetros con los que es posible desarrollar un ajuste. Los parámetros que influyen en el cálculo del contenido de humedad del suelo e infiltración (k_s , NC y Da) fueron los que mayor influencia ejercieron en la dinámica de herbicidas al ser la escorrentía el motor primario que determina no sólo los flujos de agua generados en la cuenca sino también los de sedimentos y herbicidas, por lo que todo apunta a que es en éstos en los que mayor esfuerzo de calibración se debería invertir. No obstante hay que tener en cuenta la escala de temporal considerada ya que el modelo reflejó cambios apreciables en los resultados al variar levemente el valor de ciertos parámetros a escala de evento, lo cual puede dar lugar a resultados que aunque a escala anual reproduzcan suficientemente el comportamiento del sistema, a escala de eventos originan variaciones de los flujos de agua, sedimentos y herbicidas significativas. En conjunto, el modelo es sensible a diferentes alternativas de manejo de suelo para olivar, siempre que los cambios inducidos por estas afecten a los parámetros más sensibles, y que se recoja adecuadamente este comportamiento. Estos resultados se utilizarán en la calibración final del modelo para el periodo 2004-2006, una vez finalizada la toma de registros en el punto de cierre de la cuenca.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado por la Consejería de Agricultura y Pesca a través del Proyecto CAO01-001-C4-04, "Minimización de la contaminación por fitosanitarios" llevado a cabo por el grupo de hidrología e hidráulica agrícola de la Universidad de Córdoba"

Referencias

Aguilar, C., Polo, M.J. y Taguas, E. 2005. Evaluación de un modelo integral de cuenca en zonas de olivar. En: VI Simposio del agua en Andalucía Tomo I, J.A. López Geta, J.C. Rubio, M. Martín-Machuca (eds.), 717-726 pp. IGME. Sevilla

- Aguilar, C. 2004. Evaluación de la contaminación difusa en zonas de olivar con diferentes alternativas de manejo del suelo. TPFC, Dpto. Agronomía, Universidad de Córdoba.
- Bingner, R.L., Theurer, F.D. 2003. Agricultural non point source pollution model. AnnAGNPS Technical Proceses Documentation Versión 3.3. USDA-ARS-NRCS.
- Chapra, S.C. 1997. Surface water-quality modeling. Cap. 18. McGraw-Hill. Nueva York.
- Garbrecht, J. y Martz, L.W. 1999. TopAGNPS, An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation, and subcatchment parameterization for AGNPS 2001 watershed modeling technology. TopAGNPS overview. USDA ARS.
- Gómez, J.A., Giráldez, J.V., Pastor, M., Fereres, E. 1999. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. Soil and tillage research 52, 167-175 pp.
- 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 pp.
- Knisel, W.G. y Davids, F.M. 1999. GLEAMS User Manual. USDA, ARS.EEUU,15/03/2004, e-mail: fmd@tifon.cpes.peachnet.edu <http://www.cpes.peachnet.edu/sewrl/Gleams/gleams.htm>
- Massobrio, M.J., Castiglioni M.G., Chagas, C.I. y Santanatoglia, O.J. 1998. Análisis de sensibilidad de un modelo predictivo distributivo de producción de sedimentos y nutrientes asociados (AGNPS), en una microcuenca del arroyo del Tala (Argentina). Terra 16(4):371-377 pp.
- Overcash, M. y Davidson, J. 1981. Environmental impact of non-point source pollution. AnnArbor Science. Michigan. 275-389 pp.
- Polo, M.J., Lafuente, P. y Giráldez, J.V. 2003. Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de olivar y su influencia en el balance hidrológico global. En: Estudios de la zona no saturada del suelo Vol. VI, 209-214 pp.
- Renard, K.G, Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. y Yoder, D.C. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) USDA. Agriculture Handbook No. 703, 404 pp.
- Taguas, E.V., Peña, A., Ayuso, J.L., Giráldez, J.V. y Aguilar, C. 2004. Aplicación del modelo hidrológico AnnAGNPS en una pequeña cuenca de olivar para la evaluación de la escorrentía y la erosión bajo distintos manejos del suelo. En: Actas VIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Bilbao.
- USDA SCS. 1972. National Engineering Handbook. Hydrology Section 4, Cahpters 4-10, 16, 19. Washington DC.
- Vahos, J.D. 2003. Generación de modelos digitales hidrológicos y de pérdida de suelo y su comparación con métodos tradicionales en la cuenca del Río Claro (Sureste Antioqueño). TPFC. Univ. Nacional de Colombia