

Análisis preliminar de contaminación en aguas superficiales provenientes de fertilizantes y pesticidas utilizados en las actuales prácticas agrícolas

Martín Burgues^{1,2}, Ailé Golín^{1,2}, Gisela Maydana¹, Margarita Portapila^{1,2}

¹CURIHAM, FCEIA, UNR, Riobamba 245 bis 2000 Rosario, Santa Fe, Argentina

²CIFASIS, CONICET, 27 de Febrero 210 bis, S2000EZP Rosario, Argentina

E-mail: lccmartin@gmail.com

RESUMEN: La sobre-explotación de los recursos naturales en el ámbito rural establece una relación negativa con el ambiente, implicando modificaciones en el uso del suelo, y a su vez originan el desarrollo no sustentable del recurso. Ante esta problemática se ve la necesidad de tomar medidas tendientes a mejorar las condiciones ambientales y sobre todo de cobertura vegetal, a fin de conservar el recurso hídrico. El objeto de este trabajo es evaluar el impacto de las prácticas agrícolas en la cantidad y calidad de aguas. En este contexto es deseable poder cuantificar el uso de pesticidas y herbicidas en los cultivos de la zona y su influencia en la calidad de aguas. El modelo seleccionado es el Soil and Water Assessment Tool desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El sistema hidrológico elegido es la cuenca de Cañada de Gómez, 250 km² de extensión que forma parte de la cuenca biprovincial del Río Carcaraña, se cuenta con datos de tipos y usos de suelo, y las series climatológicas correspondientes a los años 2002-2007. Se calibró y validó el modelo y se evaluaron distintos escenarios de cultivos. La herramienta computacional utilizada nos permitió obtener resultados numéricos que reflejan la contaminación del recurso hídrico provocado por prácticas agrícolas ya que permite evaluar distintas alternativas, para la determinación de caudales y contaminantes a nivel de cuenca. La capacidad de predicción de las variables del ciclo hidrológico indican que SWAT puede ser utilizado como una herramienta para la planificación orientada a la gestión sustentable de los recursos hídricos, obteniéndose resultados aceptables para cuencas de llanura no aforadas.

INTRODUCCIÓN

En las zonas rurales se observa sobre-explotación de los recursos naturales estableciendo una relación negativa con el ambiente, implicando modificaciones en el uso del suelo que a su vez originan el desarrollo no sustentable del recurso. Una manera de analizar y comparar varias alternativas de manejo es la implementación de un modelo hidrológico que permita medir el impacto que en caudales y transporte de contaminantes, produciría un cambio de la cobertura vegetal tendiente a reducir la sedimentación, afectando lo menos posible la disponibilidad del recurso hídrico de la zona.

De entre los modelos hidrológicos de simulación continua, se ha escogido el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT, Arnold et al. 1994) (Neitsh, Arnold, Kiniry, & Williams, 2005) ya que permite pronosticar el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua en cuencas hidrográficas, analizando y comparando distintas alternativas de manejo, para la determinación de caudales y contaminantes en la cuenca del Arroyo Cañada de Gómez, la que forma parte de la cuenca biprovincial del Río Carcarañá.

OBJETIVOS

Este trabajo tiene por objetivo evaluar el impacto de las prácticas agrícolas en cantidad y calidad de aguas. En este contexto es deseable poder cuantificar el uso de pesticidas y herbicidas en los cultivos de la zona y su influencia en la calidad de aguas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Herramienta computacional

SWAT acrónimo de Soil and Water Assessment Tool, (Agricultural Research Service USDA-ARS) (Neitsh et al., 2005), fue desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de manejo de cultivos sobre el agua, la producción de sedimentos y agroquímicos en extensas y complejas cuencas aluviales, con variaciones de tipos, usos, y manejos de suelos, durante largos períodos de tiempo.

Para satisfacer este objetivo SWAT, utiliza modelos semi-empíricos que requieren variables de entrada climatológicas, propiedades físicas del suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo de suelos, lo que permite la modelación de cuencas sin monitoreo y la cuantificación de los impactos relativos; es computacionalmente eficiente, ya que reduce costos de tiempo y dinero; y permite a los usuarios estudiar los impactos a largo plazo, debido a su característica de modelo de simulación continua.

Caracterización física de la cuenca piloto

En la Figura 1 se puede ver la ubicación de la cuenca en estudio dentro de la provincia de Santa Fe, en este caso la cuenca del Arroyo Cañada de Gómez.

El proceso de discretización del sistema de información geográfica resultó en 3 subcuencas como se observan en la Figura 2.

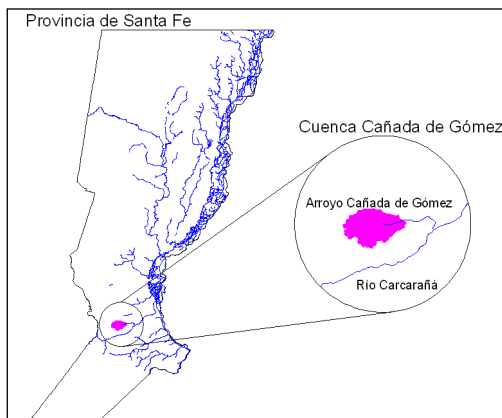


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca

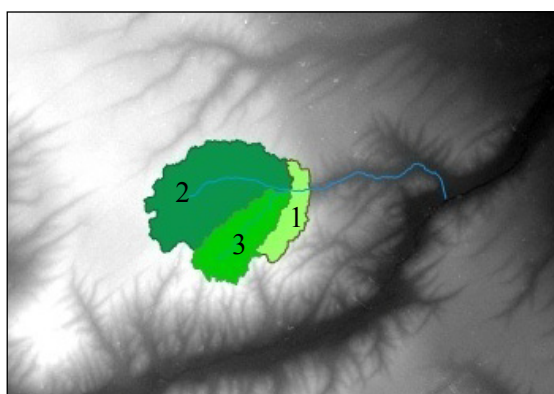


Figura 2. Subcuencas

Las Tablas 1 y 2 contienen la información sobre los parámetros físicos de las 3 sub-cuencas tomadas para el estudio.

Tabla 1: Parámetros de las subcuencas

	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3
Área (Km ²)	36,16	151,14	67,66
Pendiente (%)	1,38	1,20	1,33
Long. pte. (m)	121,95	121,95	121,95

Tabla 2: Parámetros de los cursos de agua

	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3
Ancho (m)	27,50	27,50	1,50
Profundidad (m)	5,50	5,50	1,00
Pendiente (‰)	2	2	2
Longitud (km)	2,91	14,77	10,48
Coefficiente de Manning “n”	0,05	0,05	0,05
Conductividad hidráulica (mm/hr)	10,19	10,19	10,19
Factor de cobertura	0,5	0,5	0,5
Factor de erodabilidad	0,26	0,26	0,26

Escenarios de aplicación

La discretización de SWAT utiliza como unidades de trabajo principal Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU), las cuales son áreas dentro de las sub-cuencas que son homogéneas en cobertura de suelo, tipo de suelo, práctica de cultivos y pendiente del terreno. Como lo sugiere la bibliografía (Gassman et al., 2007) para determinar las HRU se redujeron los tipos y usos de suelo que constituyen una minoría, es decir se establecieron áreas umbrales en función del porcentaje de ocupación de los mismos respecto al área total de la cuenca tal que, por debajo de estos umbrales fueron descartados como HRUs diferentes. Se utilizaron los valores recomendados: menor al 20% para uso del suelo y al 10% para el tipo de suelos.

Si bien dentro de la cuenca se desarrollan simultáneamente diversas actividades vinculadas al uso del suelo, según sea la capacidad de uso de la tierra, aplicando este control de escala (áreas umbrales) resultó que, para la estimación de caudales líquidos y sólidos los escenarios de uso de suelo fueron uniformes en toda la extensión de la cuenca durante el período de aplicación.

La coberturas de suelo que se analizaron son Soja-Trigo, ya que en la zona estudiada fue la cobertura más utilizada en para el período en que se realizó la simulación y para ésta cobertura se analizó la concentración de Fósforo y Nitrógeno en la salida del curso principal de la cuenca como parámetro de contaminación de aguas superficiales.

A continuación se indican los insumos utilizados en un establecimiento de la zona de Cañada de Gómez de escala y tecnología media según datos recopilados a través de consultores expertos (Denoia et al., 2006). Los productos mencionados representan aquello más comúnmente aplicado en la zona de estudio.

Para el modelo de Trigo se utilizan:

- Herbicida. Glifosato amina (2,5 litros/ha) en una aplicación
- Herbicida. Mesulfuron metil (7 g/ha) en una aplicación
- Herbicida. 2,4 D amina (0,3 litro/ha) en una aplicación
- Insecticida. Lorsban (Clorpirifos) (0,4 litro/ha) en una aplicación
- Insecticida. Dimetoato (0,6 litros/ha) en una aplicación
- Fertilizante. Urea (46-00-00) (100 Kg/ha) x una aplicación

- Fertilizante PDA (18-46-00) (60 Kg/ha) en una aplicación
- Funguicida. Propiconazole (0,2 litros/ha) en una aplicación

La fecha de siembra aproximada es alrededor del 1 de junio, los herbicidas se aplican antes de la siembra aproximadamente un mes antes; los insecticidas se aplican según se diagnostique la presencia de las plagas, generalmente entre 35 a 50 días después de la siembra; los fertilizantes se aplican al suelo junto con la siembra; el funguicida se aplica al cultivo, según su desarrollo, alrededor de 100 -110 días después de la siembra.

Para el modelo de Soja se utilizan:

- Herbicida. Glifosato amina (2,5 litros/ha) en dos aplicaciones
- Herbicida. 2,4 D amina (0,3 litro/ha) en una aplicación
- Insecticida. Cipermetrina (0,20 litros/ha) en dos aplicaciones
- Insecticida. Lorsban plus (Clorpirifos) (1 litro/ha) en una aplicación
- Fertilizante. SPS (00-21-00)* (100 Kg/ha) en una aplicación

La fecha de siembra aproximada es entre el 5 y el 10 de diciembre, una aplicación de Glifosato se hace conjuntamente con 2,4 D amina, 3 o 4 días antes de la fecha de siembra, luego a los 40-50 días después de siembra se efectúa la otra aplicación de Glifosato.

La cipermetrina se aplica a los 30-40 días después de siembra y el Clorpirifos a los 65-75 días después de siembra. La fertilización se realiza conjuntamente con siembra. El funguicida se aplica a los 70-80 días después de siembra.

IMPLEMENTACIÓN NUMÉRICA

Generación de variables de entrada

Topografía: se utilizaron como base topográfica las imágenes que se descargaron de la página <http://seamless.usgs.gov>. SRTM (Seamless Shuttle Radar Topography Mission) con resolución de arco de 3 segundos, en proyección geográfica de datum horizontal WGS84 y datum vertical WGS84/EGM96 geoide, con unidades verticales en metros.

Tipos de suelos: se cargaron los datos de distribución y clasificación taxonómica provistos por las Cartas de Suelos de la República Argentina hoja 3363-18 Armstrong; y hojas 3360-13 y 14 Cañada de Gómez y Rosario (INTA, 1988) previamente georeferenciadas y digitalizadas, y las propiedades hidráulicas del suelo requeridos por el modelo del SWAT fueron completados a través de funciones de pedotransferencia (FPT) mediante los programas SoilPar y Rosetta (Zimmermann, Basile, 2008).

Usos de suelo: se supuso un sistema productivo completamente agrícola basado en la evaluación de los Registros de Área Sembrada (RAS) del Instituto Provincial de Estadísticas y Censos (IPEC) descargados del portal web de la Provincia de Santa Fe. Cabe mencionar que la cobertura de los productores agropecuarios a

nivel provincial según el RAS es aproximadamente 40% menor que el dato suministrado por el Registro Provincial de Productores Agropecuarios (RPPA) perteneciente al IPEC (<http://www.ipec.santafe.gov.ar>).

Radiación solar: se utilizaron los datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (Ministerio de Defensa, Secretaría de Planeamiento), de la estación de la Localidad de Zavalla (latitud 60°53'00" Sur, longitud 33°01'00" Oeste, elevación 56m). La misma cuenta con registros de heliofanía relativa y heliofanía absoluta desde 1973 a la actualidad, se elaboró la serie 2002-2007. Empíricamente se obtiene la radiación global incidente en la Localidad de Zavalla (variable requerida por el modelo) a partir de la medida de la insolación, mediante la fórmula de Glover y Mac Cullok (Llamas & Custodio, 1983), válida para latitudes entre 0 y 60.

$$R_i = R_A \cdot 0,29 \cdot \cos(\lambda) + 0,52 \cdot n \cdot N \quad (1)$$

donde:

R_i : es la radiación global incidente, en cal/cm².día;

R_A : intensidad teórica de radiación incidente, cal/cm².día;

λ : latitud del lugar;

n: horas de insolación medidas con el heliógrafo, (heliofanía efectiva);

N: máximo de horas de insolación según latitud y fecha.

Temperatura: se utilizaron datos de temperaturas mínimas y máximas del Servicio Meteorológico Nacional de las lecturas de la estación ubicada en la localidad de Carcarañá (latitud 61°08'02" Sur, longitud 32°52'06" Oeste, elevación 64m) y se elaboró la serie 2002-2007.

Precipitación: Se utilizaron mediciones del Registro Pluviométrico de la Provincia de Santa Fe de la localidad de Cañada de Gómez (latitud 61°24'02" Sur, longitud 32°50'06" Oeste, elevación 93m).

En la Figura 3 se presentan las precipitaciones diarias medidas en la localidad de Cañada de Gómez para la serie 2002-2007.

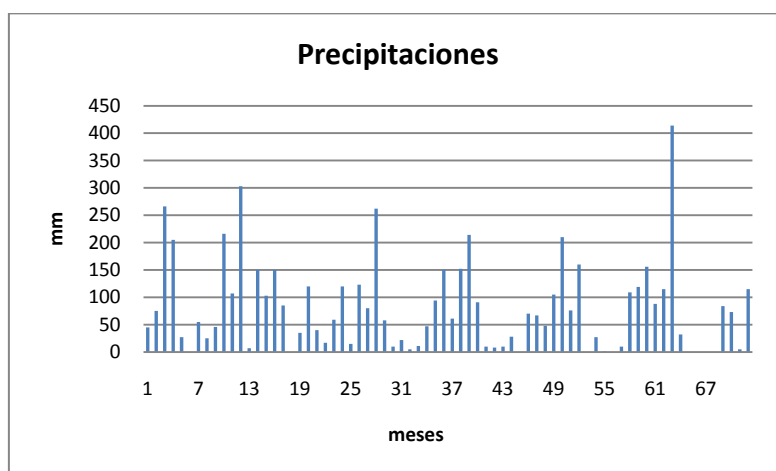


Figura 3. Precipitaciones mensuales medidas en Cañada de Gomez serie 2002-2007.

Para la confección de la serie se consultaron los registros de la localidad de Carcarañá tanto del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), como las mediciones del Registro Pluviométrico de la Provincia de Santa Fe (latitud 61°08'02'' Sur, longitud 32°52'06'' Oeste, elevación 64m). Se realizó un análisis de consistencia contrastando los datos de ambas estaciones, tomando como fuente confiable al SMN. Tanto para las precipitaciones acumuladas mensuales como las anuales se advirtió como válida la utilización de las mediciones del Registro Pluviométrico de la Provincia de Santa Fe.

Calibración y Validación

En este análisis se utilizó el modelo calibrado y validado como se describe en (Golín et al., 2010). Para la escala anual se consideró relación de escorrentía – lluvia caída anual; utilizando para la evaluación diaria caudales medios a través de relaciones de volumen escurrido. Esta tarea se realizó teniendo en cuenta que la relación entre escurrimiento superficial encauzado y precipitación caída sea del orden del 5% al 10%; considerando el hidrograma observado para el evento de Noviembre de 2000 (Figura 4), (Rentería, et al., 2008). El proceso de calibración se llevó a cabo para una combinación de usos de suelo soja-trigo siendo éste el más utilizado en la zona.

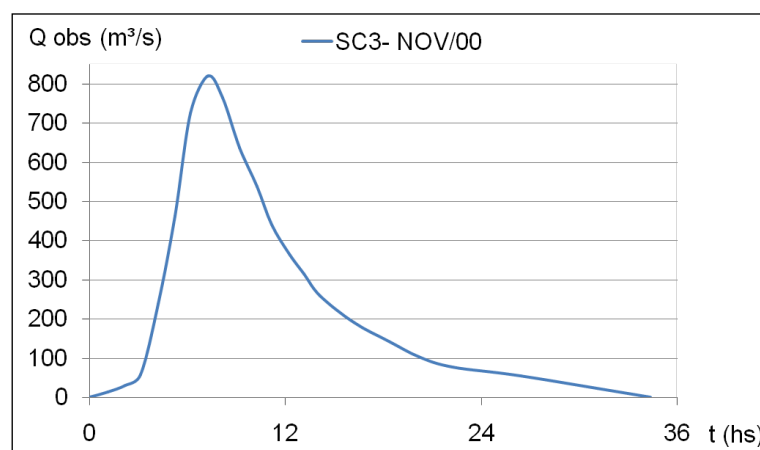


Figura 4. Hidrograma observado en la salida de la cuenca en el Arroyo Cañada de Gómez.

Parámetros de calibración

CN: El valor del número de curva del método SCS (método del Servicio de Conservación de Suelos), para la condición de humedad II, está incluido en la base de datos.

ESCO: Factor de compensación de evaporación del suelo. Varía entre 0,01 y 1, el valor por defecto es 0,95.

SURLAG: Coeficiente de retardo del escurrimiento superficial. Este coeficiente controla la fracción de lluvia neta que llegará al curso superficial en 24 hs.

En la Tabla 3 se presentan los parámetros de calibración, los rangos de variación y valores iniciales y finales de los mismos.

Tabla 3: Parámetros calibrados

Parámetro	Valor inicial	Rango de variación	Valor de calibración
CN	78	65 - 90	83
ESCO	0,05	0,01 - 1	0,95
SURLAG	4	1 - 13	7

Caudales medios diarios

Del hidrograma observado de la Figura 4 se obtienen los caudales medios diarios y los caudales simulados que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 4: Caudales diarios en función del hidrograma observado para NOV-2000

Fecha	Observado Caudales diarios totales [Q]=m ³ /s	Simulado Caudales diarios totales [Q]=m ³ /s
22/11/2000	324,21	323,10
23/11/2000	30,59	27,63

Tabla 5: Estadísticos obtenidos en la calibración.

Parámetro estadístico	Valor
R ²	1,00
Rj ²	1,00
E(%) Máx/mín	-9,7 / -0,3
RMSE	2,23
Diferencia Máxima	2,96

En la Tabla 6 se despliegan los valores estadísticos obtenidos por calibración de la tormenta de NOV-2000. En la Figura 5 se observan los caudales descargados en cada día de la tormenta correspondientes a la simulación y a los datos observados.

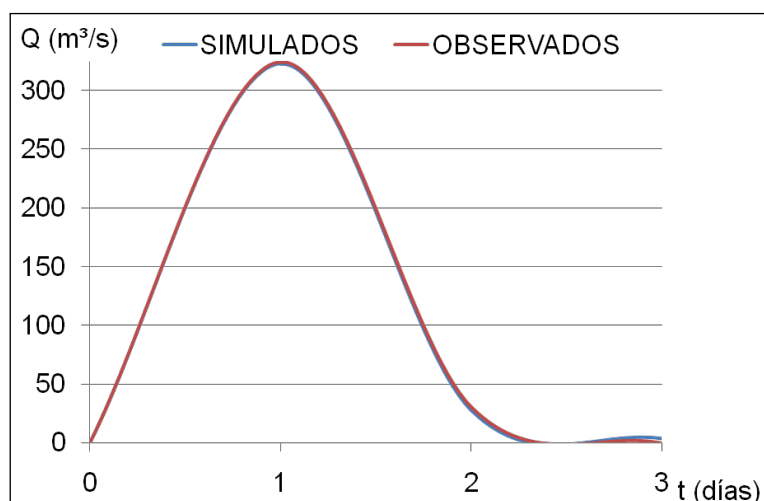


Figura 5. Hidrogramas, simulado y observado, Evento NOV-00

Para la validación se consideraron valores medios anuales de evapotranspiración real (ETR) simulados por el SWAT, y se contrastaron con valores experimentales anuales de la evapotranspiración (ET) de Tanque “A”, comprendiendo el periodo que va de los años 2002 a 2007 inclusive, datos de la estación experimental de Zavalla. Los caudales simulados por SWAT se compararon contra hidrogramas simulados por el Departamento de Hidráulica de la FCEIA para un evento de Marzo de 2007 (Basile, et al. 2008).

A continuación se presentan los caudales simulados por SWAT en contraste con los simulados por el modelo matemático distribuido hidrológico-hidráulico físicamente basado CTSS8 (Rentería, et al., 2008) considerados como validos ya que el mismo fue calibrado para la cuenca en estudio (Tabla 7).

Tabla 6: Caudales para la validación, Evento MAR-07

Fecha	Caudales CTSS8 [Q]=m³/s	Caudales SWAT [Q]=m³/s
27/03/07	311,23	30,29
28/03/07	360,73	177,90
29/03/07	130,42	19,89
30/03/07	55,35	6,92

Se exponen también los valores estadísticos representativos, Coeficiente de Eficiencia del Modelo Nash-Stucliffe (R_j^2), Coeficiente de correlación (R^2), Root mean squared error (RMSE), Error relativo porcentual (E(%)), y Máxima diferencia en la Tabla 8.

Tabla 7: Valores estadísticos obtenidos en la validación

R^2	E_j^2	E(%) Máx /mín	RMSE	Dif. Máxima
0,62	-1,20	-90,3 / -50,7	178,13	-280,94

Las predicciones diarias no arrojan resultados precisos, coincidiendo con lo reportado por otros autores acerca de la performance del modelo SWAT para escalas diarias (Grizzetti, et al., 2005).

En función del valor estadístico R^2 , se determina que ambas simulaciones (CTSS8 y SWAT) representan comportamientos semejantes del sistema, si bien el análisis del coeficiente R^2 no es suficiente para determinar el grado de bondad de un modelo. Los restantes coeficientes reflejan una sub-estimación de los caudales escurridos en un evento extremo como el de MAR-2007, en concordancia con la literatura donde se reporta que para valores mensuales SWAT subestima caudales en tormentas de gran magnitud (Rosenthal, et al., 1995).

Evapotranspiración real anual

Se utilizó para la validación el promedio de los años comprendidos entre 2002 y 2007 inclusive, (Tabla 9). Los valores observados de Tanque “A” de la estación de Zavalla fueron afectados por un coeficiente de tanque 0,7 para obtener la evapotranspiración real observada. La evapotranspiración real simulada se obtuvo ponderando las evapotranspiraciones reales simuladas de las sub-cuencas a través de las áreas de cada una de ellas.

Tabla 8: Evapotranspiración real, promedios serie 2002-2007

Año	Tanque A	ETR obs.	ETR sim.	Dif. Porc.
2002	1211,51	846,06	1003,66	18,3%
2003	1290,42	903,29	991,60	9,8%
2004	1481,60	1037,12	868,96	16,2%
2005	1345,60	941,92	809,78	14,0%
2006	1493,80	1045,66	789,93	24,5%
2007	1230,20	861,84	885,73	2,8%
Total (02-07)		898,20	899,35	0,1%

El coeficiente R^2 para la evapotranspiración anual durante el período 2002-2007 es 0,67.

Por falta de información no se validó sedimentos, las variables obtenidas por simulación solo responden a la validación de caudales líquidos.

RESULTADOS NUMÉRICOS

Caudales

En la Figura 6 se muestran los valores de los escurrimientos medios mensuales en la cuenca para el periodo 2002-2007 para la cobertura soja-trigo.

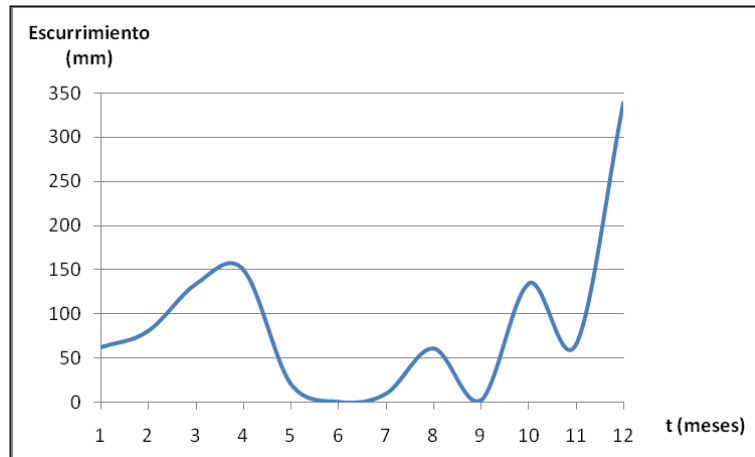


Figura 6. Escurrimiento medio mensual R(mm). Serie 2002-2007

Sobre estos caudales medios se observa el transporte de contaminantes, en especial los analizados en este trabajo, Fósforo y Nitrógeno. La calidad del agua siempre está relacionada con el factor de dilución de los cauces de agua. Cuanto mayor sea el caudal, se prevé una dilución mayor lo que reduce la contaminación del canal.

Contaminantes

La calidad del agua no es un término absoluto, está en relación con el uso y la actividad a la que se destina, por la misma razón será indiferente que la falta de calidad se deba a causas naturales o artificiales. En todo caso la calidad del agua se identificará con su estado natural y la pérdida de calidad es medida por la distancia a ese estado.

En este trabajo se abordaron los siguientes contaminantes:

- Contaminación por nutrientes (compuestos de Fósforo y Nitrógeno, principalmente en fertilizantes)
- Contaminación por compuestos orgánicos tóxicos (pesticidas)

Los escenarios corridos son sobre la cobertura soja-trigo, sin ningún tipo de fertilizantes ni pesticidas, luego con la dosis utilizada habitualmente en la zona de estudio y por último con una dosis reducida arbitrariamente a un 60% en cada uno de los fertilizantes y pesticidas aplicados.

Para estos tres casos se simularon las salidas de NO₃ y de Fósforo total (orgánico e inorgánico) en la salida del canal principal de la cuenca.

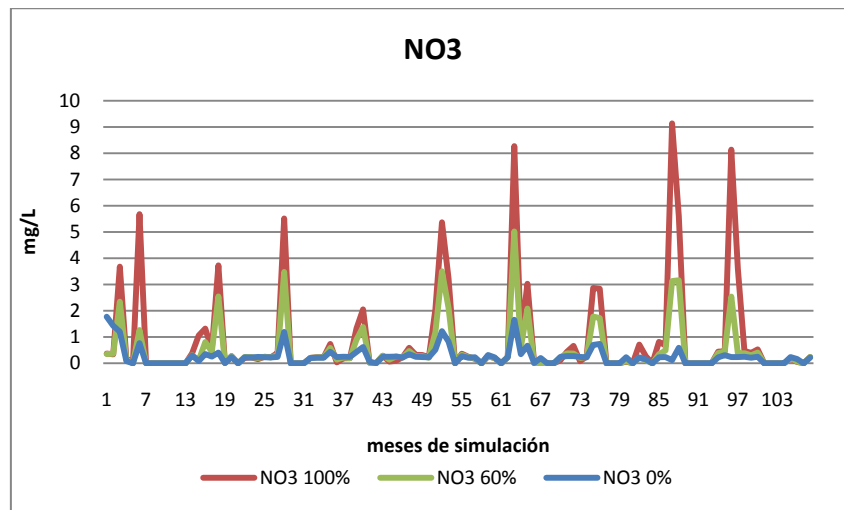


Figura 7. Concentración de NO3

En las Figura 7 y Figura 8 se ven claramente las relaciones de concentración que se consiguen en relación a la aplicación de fertilizantes y pesticidas en las prácticas agrícolas actuales, se puede apreciar que el contenido de Fósforo y Nitrógeno en aguas superficiales está directamente relacionado con la aplicación de fertilizantes y pesticidas en los suelos rurales.

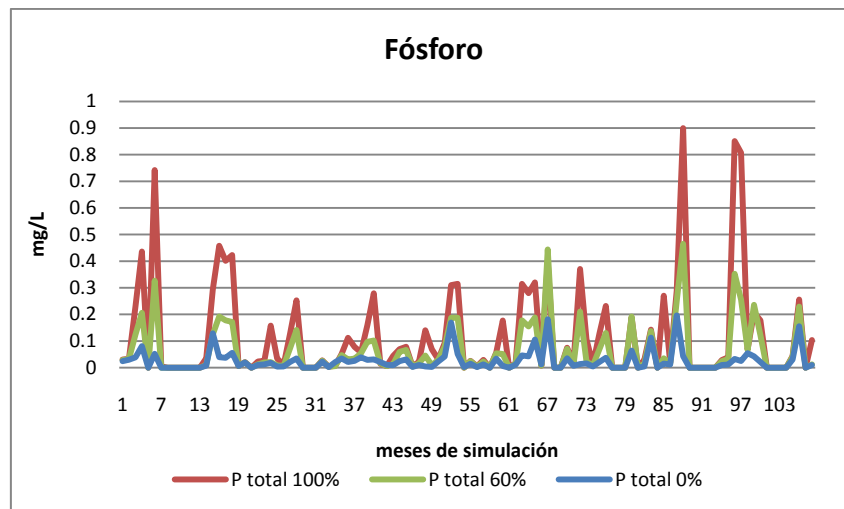


Figura 8. Salidas de Fósforo

En la Figura 9 se pueden ver los resultados obtenidos de la simulación de un escenario con un 40% menos de utilización de agroquímicos el cual no muestra una reducción proporcional de producción de granos. Lo cual implica que en la zona estudiada se sobreutilizan agroquímicos sin que ello brinde una suba proporcional de la producción de granos, contaminando directamente los recursos hídricos de la zona.

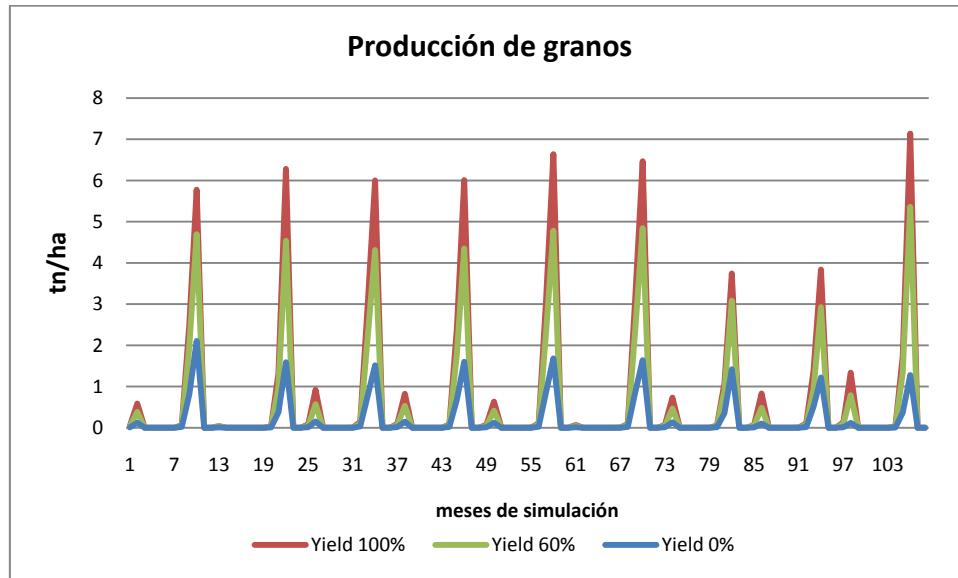


Figura 9. Producción neta de granos

CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados provistos por la etapa de operación luego de realizada la calibración y validación del modelo se puede concluir lo siguiente:

Como conclusión principal de este trabajo se puede afirmar que la cantidad de fertilizantes y pesticidas aplicados por unidad de área son mayores a los requeridos para obtener los mismos rindes de los cultivos. Esto da lugar a un estudio más exhaustivo de cuáles son los niveles óptimos de aplicación de fertilizantes y pesticidas que se necesitan para maximizar la producción reduciendo al mínimo el deterioro de los recursos naturales, en particular del recurso hídrico.

Se puede afirmar a partir de los resultados obtenidos que, el modelo seleccionado, resulta una herramienta computacional eficiente para su utilización en áreas de llanura y grandes extensiones.

Una vez calibrado y validado el modelo, es posible obtener resultados de simulaciones para diferentes escenarios, esto lo convierte en una herramienta de planificación, ya que a través de la evaluación de diferentes condiciones de manejo de suelo se podrán determinar las BMP (Best Management Practices).

La capacidad de predicción de las variables del ciclo hidrológico, indican que SWAT puede ser utilizado como una herramienta que aporta información para el planteo de medidas en la gestión de los recursos hídricos en áreas de llanura como las analizadas.

Debido a que en zonas de llanura predominan los procesos verticales, la concentración del flujo en cursos superficiales no es representativa del estado del sistema, por lo que las técnicas utilizadas en el proceso de calibración difieren de los procedimientos de la calibración propuestos en la literatura por los autores del modelo.

SWAT es un software de simulación continua, por lo que los eventos aislados no son el objeto de estudio principal del software, se lo utiliza fundamentalmente para evaluar el impacto a largo plazo de los efectos de la actividad agrícola en la región de la cuenca del Arroyo Cañada de Gómez.

REFERENCIAS

- Basile, P. A., Riccardi, G. A., Stenta, H. R., & Zimmermann, E. D. 2008. Modelo de simulación de procesos hidro-sedimentológicos a escala de cuenca CTSS8-SEDMU. *Modelación de procesos hidrológicos asociados al escurrimiento superficial en áreas de llanura*, 216-233.
- Denoia, J., Vilche, M. S., Montico, S., Tonel, B., Di Leo, N. 2006. Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el Distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 33, Año XVII.
- INTA 1988. Carta de Suelos de la República Argentina Hoja 3360-13 y 14. Cañada de Gómez y Rosario. Buenos Aires.
- IPEC (n.d.) *IPEC*. Recuperado Julio 29, 2009, de http://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/77741/375997/file/CUAD_ENE12-548.xls
- Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. 2007. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research directions. *Trans. ASABE*, 50(4):1211-1250.
- Golín, A., Burgues, M. Portapila, M. 2010. *Análisis y puesta en operación del modelo SWAT, para la predicción del impacto de prácticas agrícolas en cantidad de agua y sedimentos a nivel de cuenca*. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zonas de llanura. 407-414.
- Grizzetti, B., Bouraoui, F., & De Marsily, G. 2005. Modelling nitrogen pressure in river basins: A comparison between a static approach and physically-based SWAT model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30(8-10):508-517.
- Llamas, M. R., & Custodio, E. 1983. Hidrología Subterránea (Segunda edición) Omega S.A. Barcelona.
- Neitsh, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. 2005. Soil and water assessment tool theoretical documentation. Texas.
- Rentería, J. P., Stenta, H. R., Riccardi, G. A., & Scuderi, C. M. 2008. *Evaluación de zonas con vulnerabilidad ante inundaciones durante eventos extremos*. Modelación de procesos hidrológicos asociados al escurrimiento superficial en áreas de llanura., 39-55.
- Rosenthal, W. D., Srinivasan, R., & Arnold, J. G. 1995. Alternative river management using a linked GIS-hydrology model. *Trans. ASAE*, 38(3):783-790.
- Valdivieso, F. O., & Naranjo, G. A. 2003. Docentes Investigadores del Área de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Técnica Particular de Loja.- Ecuador. *Tercer congreso latinoamericano de manejo de cuencas hidrográficas*.
- Zimmermann E.D., Basile P.A. 2008. Uso de funciones de pedotransferencia para la estimación de parámetros hidráulicos en suelos limosos (llanura Argentina). *Boletín del Instituto Geológico Minero de España*, 119(1):71-80