

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR NITRATO CON UN ACOPLE SIG - MODELO DE SIMULACIÓN DE NITRÓGENO EN SUELOS AGRÍCOLAS

DE PAZ BECARES, José Miguel* y RAMOS MOMPÓ, Carlos**

(*) Centro de Investigación de la Desertificación. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Apartado Oficial. 46113 MONCADA

(**) Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Apartado Oficial. 46113 MONCADA

RESUMEN

Se evaluó el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por nitrato en una zona agrícola de las comarcas de L'Horta Nord y L'Horta de Valencia (Valencia) mediante el acople de un sistema de información geográfica (PC-ARCCAD) a un modelo de simulación de lixiviación de nitrato (GLEAMS versión 2.10).

Los datos requeridos por el modelo se organizaron en cinco capas de información, de las cuales, cuatro correspondían a los mapas base (clima, usos del suelo, tipos de suelo, y concentración de nitrato en el agua de riego) con sus respectivas bases de datos asociadas, y la quinta capa contenía los datos de manejo del cultivo, que se introdujeron directamente al SIG mediante un interface gráfico.

El modelo se calibró y validó con datos procedentes de dos parcelas experimentales de cultivo de patata y naranja situadas dentro de la zona estudiada.

El acople realizado permitió el manejo del SIG y del modelo mediante un interface gráfico común, comunicándose entre ellos mediante el intercambio de datos por archivos en formato ASCII.

Los mapas de riesgo de contaminación por nitrato en la zona piloto mostraron que las zonas hortícolas y las zonas regadas con aguas subterráneas son las de mayor riesgo potencial de contaminación por nitrato. También se observó que una disminución en los aportes nitrogenados minerales de un 50% reducen en la misma cuantía el nitrógeno lixiviado en las zonas de riego con aguas superficiales, siendo esta reducción menor en el

caso de regarse a partir de captaciones subterráneas.

Palabras Clave: SIG, modelo, lixiviación, nitrato.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado la preocupación por la contaminación por nitrato de las aguas subterráneas. Esta contaminación suele ser más importante en las zonas donde se practica una agricultura intensiva de regadío. En la Comunidad Valenciana este problema es importante ya que el 60% de la población se abastece de agua subterránea, y un estudio de la Conselleria de Medi Ambient mostró que más de 750.000 habitantes se abastecían de agua potable con contenidos en nitrato superiores a los recomendados (50 mg/l) (adaptado de Sanchis, 1993).

Los modelos de simulación permiten analizar y evaluar los problemas de contaminación del agua subterránea de una forma efectiva (Tim et al 1996). Esto se debe a su facilidad para realizar predicciones a largo plazo, a que permiten evaluar alternativas de manejo que mejoren la protección de la calidad del agua y también a que facilita los análisis de riesgos medioambientales. Sin embargo, los modelos requieren muchos datos que en ocasiones no se dispone de ellos y, además, existe una gran variabilidad espacial de estos datos en el campo, etc. Estas limitaciones pueden ser resueltas, en parte, por los sistemas de información geográfica que ofrecen las herramientas para almacenar, organizar, manipular y analizar datos con distribución espacial.

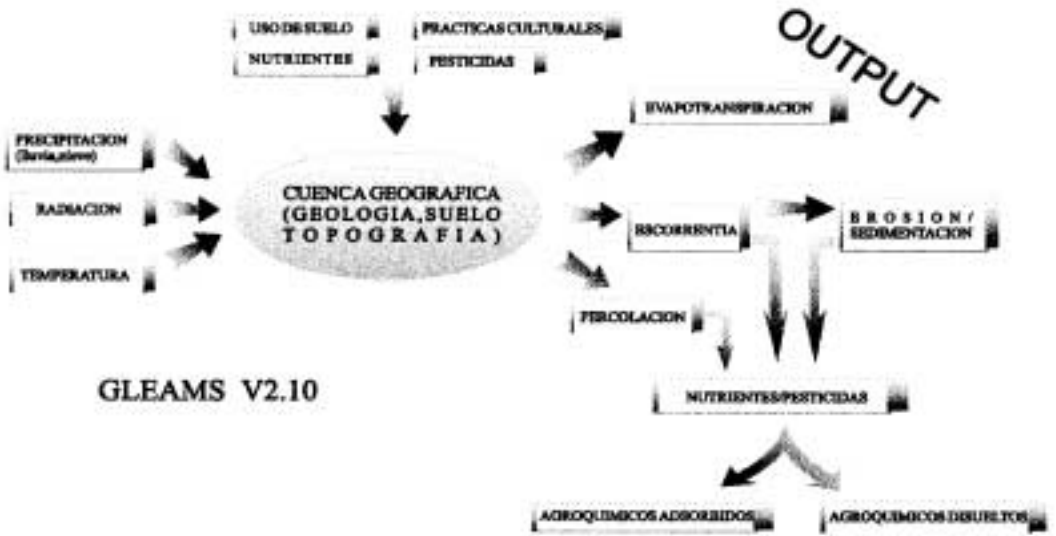
En nuestro estudio se acopló un modelo de movimiento y transformación del N y otros solutos en el suelo, el GLEAMS V. 2.10 con el SIG ArcCad V. 1.14 para evaluar la lixiviación de nitrato en una zona de agricultura intensiva de la Horta Nord y la Huerta de Valencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

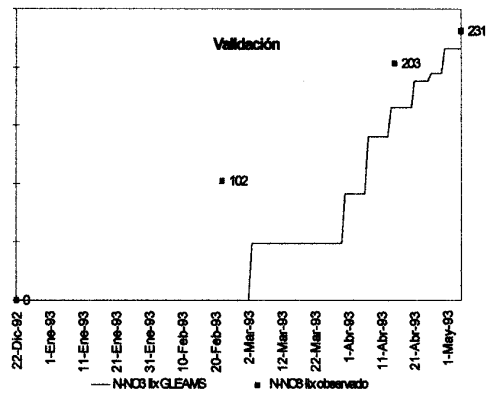
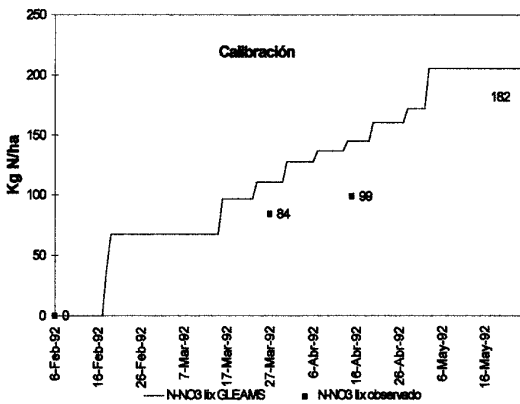
El modelo GLEAMS

El modelo GLEAMS v. 2.10 (Groundwater loading effects of agricultural management systems, KNISEL 1980) es un modelo matemático físicamente basado, determinístico con distribución espacial agregada y de régimen transitorio. Este modelo simula el movimiento de productos químicos y sedimentos a escala de campo, tanto en profundidad como a través de la superficie del terreno, con la finalidad de evaluar diferentes alternativas de manejo de los cultivos.

Consta de 4 módulos: Hidrología, erosión, pesticidas y nutrientes. En el presente trabajo únicamente se han utilizado los módulos de nutrientes y de hidrología.



El esquema utilizado por el modelo es el siguiente.



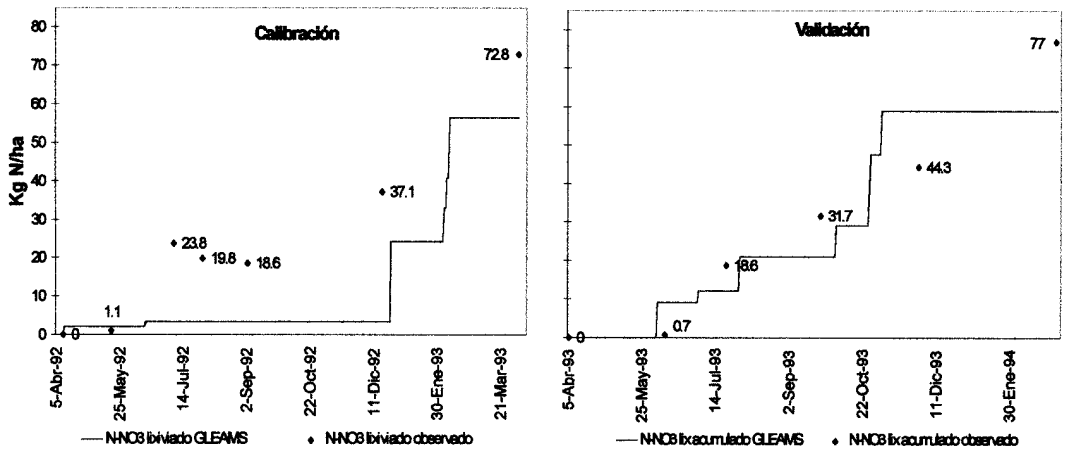


Fig. 1: Diagrama de flujo del GLEAMS v. 2.10.

El modelo se calibró y validó en relación a la lixiviación de nitrato utilizando datos de dos estudios realizados en dos parcelas ensayo situadas dentro de la zona de estudio, una con cultivo de cítricos y otra con cultivo de patata (Lidón 1994; Rodrigo 1995). Los resultados de la calibración y validación se presentan en las figs. 2 y 3.

Fig. 2: Calibración y validación del modelo GLEAMS para la lixiviación de N-NO₃ en el cultivo de patata.

Fig. 3: Calibración y validación del modelo GLEAMS para la lixiviación de $N-NO_3$ en el cultivo de naranjo.

El sistema de información geográfica (PC-ARCAD)

El SIG PC-ArcCad VI. 14.1 es un acople del SIG ARC/INFO con el sistema de diseño asistido por ordenador AUTOCAD V13. Posee las capacidades típicas de un SIG vectorial, como son captura, almacenamiento, manipulación, análisis y visualización de datos geográficamente distribuidos. Se implementa bajo entorno del sistema operativo Windows (V3.11 ó V.95). Puede desarrollar aplicaciones, interfaces y automatizar procesos ya que posee dos lenguajes de programación propios (AutoLISP y ADS-Autocad Development System).

La integración del modelo GLEAMS en el PC-ARCAD (SIG)

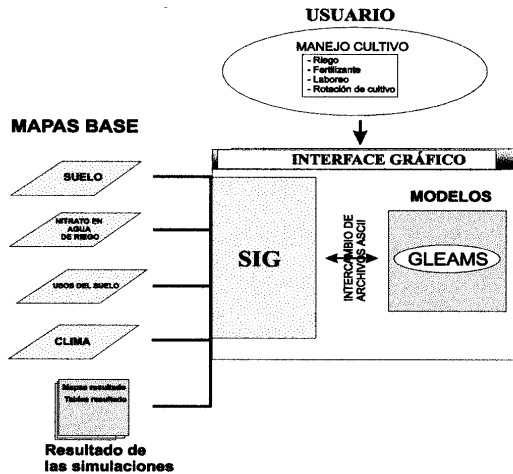
Existen muchas estrategias para acoplar un modelo con un SIG, pero se pueden agrupar en tres tipos: acople ligero, acople fuerte y acople integral (Tim 1996, Burrough, 1996).

Debido a la complejidad del modelo se eligió el acople de tipo fuerte en el que se crearon las suficientes rutinas de programación y menús de entrada de datos dentro del SIG para facilitar la interacción entre SIG y modelo y de esta forma facilitar el uso de sistema SIG-modelo.

EJEMPLO DE APLICACIÓN

Descripción de la zona de estudio

El área de estudio se localiza dentro de la provincia de Valencia en las comarcas de



L'Horta Nord y L'Horta de Valencia. Abarca un área de 23.000 has. Se eligió esta zona por ser una zona de agricultura intensiva, por tener altos niveles de NO_3^- en agua subterránea y por su variabilidad en cuanto a tipos de suelo y manejo de los cultivos.

Estas comarcas son tradicionalmente agrícolas (un 32% del área total). Los cultivos de regadío más importantes de la zona son: los cítricos (59 % del área cultivada), patata (7%), alcachofa (5%), cebolla (3%) (comunicación personal Conselleria de Agricultura, 1996). Los cultivos herbáceos se cultivan según rotaciones muy intensivas con la casi ausencia de barbechos prolongados. La práctica totalidad de los cultivos de la zona son en regadío, un 98% del área cultivada frente a un 2% de secano. Los sistemas de riego que predominan en la actualidad son los tradicionales por gravedad inundación y surcos, adaptándose el riego por goteo en algunas explotaciones principalmente en 738 has, (5% de la superficie regada, datos de la Conselleria de Agricultura-1993). El agua para estos riegos proviene principalmente de la red de acequias que discurren por toda la zona (el 65% del área regada) y de pozos de riego (el 35 % restante).

Los suelos calcisoles son los más representativos de la zona. En este tipo de suelos se localizan algunas zonas de transformación para el cultivo principalmente de cítricos. Se caracterizan por tener una costra caliza superficial. Los fluvisoles son suelos profundos con alternancia de materiales de diferente granulometría en profundidad. Están bien estructurados con contenidos altos en materia orgánica y con texturas de franco arenoso en superficie a franco arcilloso a un metro de profundidad, por lo que se hacen aptos para el cultivo de hortalizas y cítricos. Los luvisoles son suelos con horizontes de acumulación de arcillas en profundidad. Son suelos profundos y fértiles que en su mayoría se utilizan para el cultivo de los cítricos. Los cambisoles gleicos se localizan en las zonas costeras. En profundidad tienen texturas arcillosas limosas con bajas permeabilidades.

Desarrollo de los mapas base y sus bases de datos asociadas

Las bases de datos del SIG se crearon en función de los datos que el modelo necesitaba. Se organizaron en cinco capas de información, cuatro de ellas corresponden con los cuatro mapas base: suelos, clima, usos del suelo, nitrato en agua de riego a los cuales se asociaron las bases de datos de atributos y la quinta capa corresponde con la información de manejo de los cultivos que se introdujo mediante un interface gráfico que a su vez gestionaba todo el sistema SIG-modelo (fig. 4).

Fig. 4: Diagrama descriptivo del acople SIG (ArcCad) - modelo (GLEAMS).

- Mapa de suelos. Creado a partir del mapa de unidades fisiográficas (E: 1/50.000) cedido por la unidad de edafología del Dpto. de Biología Vegetal de la Universidad de Valencia. Posteriormente se asociaron a cada unidad los datos de suelos que fueron tomados a partir de varias fuentes: de un muestreo realizado en la zona, del proyecto Lucdeme y de las diversas parcelas ensayo de los diferentes estudios llevados a cabo por el Dpto. de Recursos Naturales IVIA.
- Mapa de clima. Creado a partir de la localización de las 9 estaciones meteorológicas existentes en la zona. Se tomaron los datos climáticos de precipitación, temperatura etc. a partir del "Atlas climático de la comunidad Valenciana" (Pérez Cueva 1994) y se completaron las serie de datos con datos de la estación meteorológica del IVIA-Moncada y con datos del Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia.
- Mapa de usos del suelo. Cedido por la Conselleria de Obras Públicas y Transporte de la Generalitat Valenciana.
- Mapa de contenido de NO_3^- en agua de riego. Creado a partir de la composición de dos mapas, uno de concentración de nitrato de agua subterránea (Sanchis 1991) para la zona dominada por riegos por agua de pozo y otro de áreas dominadas por las diferentes acequias cedido por el Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia para la zona de riegos por superficie.

Descripción de los manejos de cultivo evaluados

Se simuló en la zona de cítricos el cultivo de naranja y en la zona de huerta una rotación de cultivo típica de la zona, con sus respectivas fertilizaciones nitrogenadas. La rotación elegida fue patata/lechuga/cebolla/coliflor en dos años (caso I). Posteriormente se hizo una simulación pero con aplicaciones de fertilizante nitrogenado reducidas a la mitad

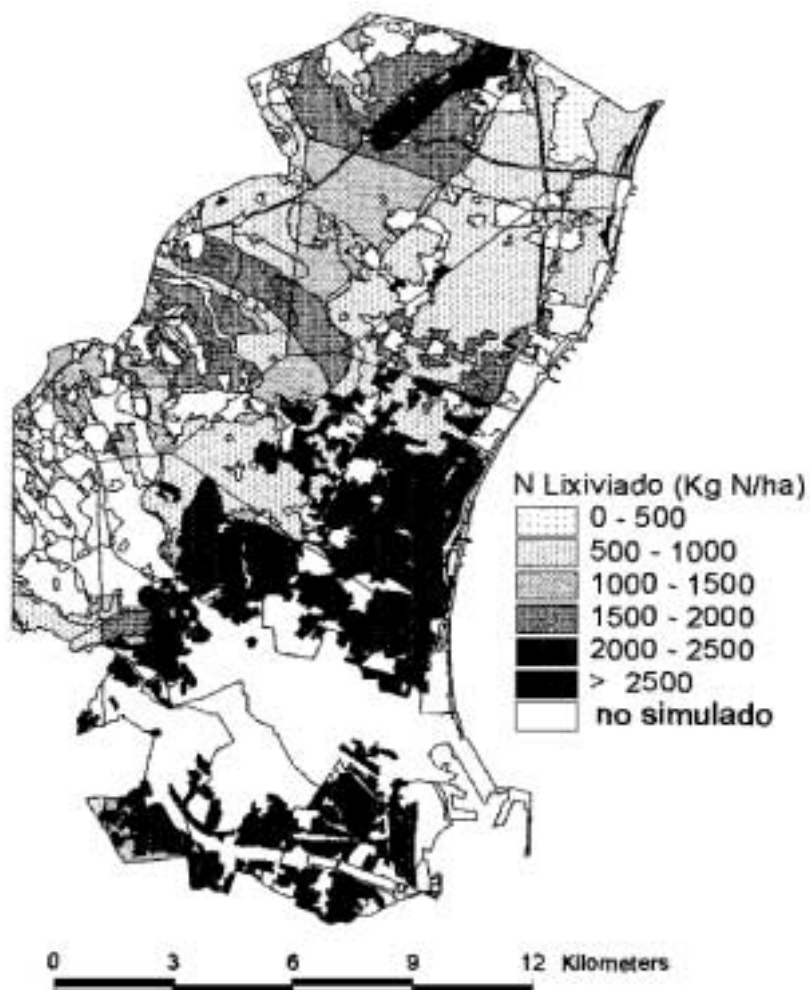
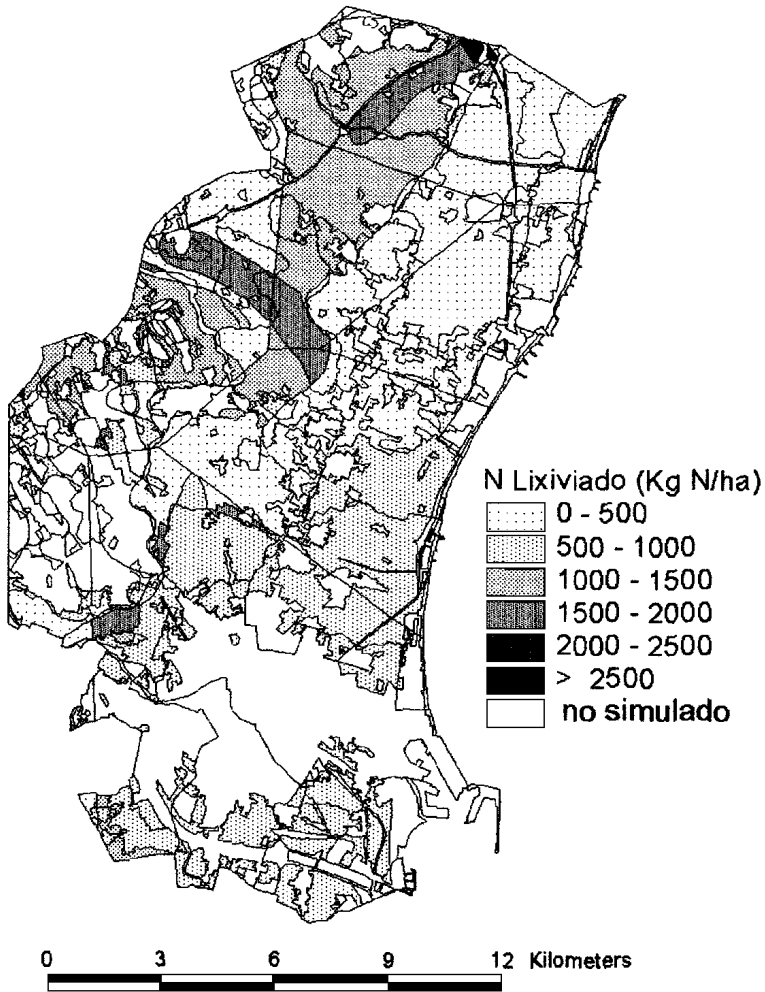


Fig. 5: Caso 1, fertilización nitrogenada normal.



tanto en la zona de huerta como en la de cítricos (caso 2).

Caso 1. Datos más importantes empleados en la simulaciones de naranjo y de la rotación: patata-lechuga-cebolla-coliflor.

Cultivo	1º año		2º año		1-2º año Naranjo
	Patata	Lechuga	Cebolla	Coliflor	
Fert. orgánico (t/ha)	26-Gallinaza	0	18-Gallinaza	0	0
Fert. min. (kg N/ha)	445	0	338	199	372
Producción (t/ha)	46	24	40	35	46
Prof. simulación (cm)	60	60	60	60	80

Caso 2. Como el caso 1 pero con la fertilización nitrogenada mineral reducida en un 50%.

Cultivo	1º año		2º año		1-2º año Naranja
	Patata	Lechuga	Cebolla	Coliflor	
Fert. orgánico (t/ha)	26-Gallinaza	0	18-Gallinaza	0	0
Fert. min. (kg N/ha)	222	0	169	99	186
Producción (t/ha)	46	24	40	35	46
Prof. simulación (cm)	60	60	60	60	80

RESULTADOS

Las figuras 5 y 6 muestran la distribución espacial del nitrógeno lixiviado durante los 5 años de simulación (1980-1985) en los dos casos estudiados. El primer caso con una fertilización nitrogenada habitual en la zona y el segundo caso reducida a la mitad. En términos generales la lixiviación de nitrógeno en las zonas de riego con aguas superficiales se ve reducida prácticamente a la mitad (zonas próximas a la costa), pero en las zonas de riego con aguas subterráneas esta reducción es sensiblemente menor debido a las altas concentraciones de nitrato de estas aguas.

Aunque los cultivos hortícolas suponen un riesgo potencial mayor a la contaminación por nitratos debido a que se utilizan dosis más altas de fertilizantes nitrogenados y a que extraen nitrógeno de una profundidad de suelo menor, normalmente estos cultivos son regados con aguas con bajos contenidos en nitratos con lo que este riesgo se reduce pudiéndose llegar a igualar las lixiviaciones procedentes de las zonas cítricas en las que se aplican menos cantidades de fertilizantes nitrogenados pero que se suelen regar con aguas subterráneas con altos contenidos en nitrato. El suelo también influye notablemente en los lavados del nitrato, y así, suelos con unas texturas muy arcillosas y poco permeables reducen las cantidades de nitrato lixiviado considerablemente.

Fig. 6: Caso 2, fertilización nitrogenada reducida en un 50%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURROUGH P., A, (1996). Opportunities and limitation of GIS-based modeling of solute transport at regional scale. En: Applications of GIS to the modeling of non-point source pollutants in the vadose zone, Corwin et al (eds), SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 19-38.
- KNISEL, W.G. (ed) (1980). GLEAMS: Groundwater Loading effects of agricultural management systems, Version 2.10. 1993. University of Georgia, Coastal Plain Experiment Station, Biological and Agricultural Engineering Department, publication N5, 260 pp.
- LIDON A.L. (1994). Lixiviación de nitrato en huertos de cítricos bajo diferentes tratamientos de abonado nitrogenado. Tesis Doctoral. UPV-ETSIA Valencia.
- PÉREZ CUEVA A.J. (1994). Atlas climático de la comunidad valenciana. Consellería d'Obres Públiques , Urbanisme i Transports, Generalitat Valenciana.
- RODRIGO A, (1995). Efecto del abonado nitrogenado en la lixiviación de nitrato en el cultivo de la patata. Tesis Doctoral. UPV-ETSIA Valencia.
- SANCHIS E. J., (1991) . Estudio de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas de la provincia de valencia. Origen, balance y evolución espacial y temporal. Tesis doctoral. Ed. Diputación Provincial de Valencia.
- SANCHIS E. J., (1993) . La contaminación por nitratos de las aguas subterráneas. El caso de la comunidad valenciana. Jornadas sobre la contaminación por nitratos de las aguas continentales. Generalitat valenciana. Consellería de medio ambiente. Valencia.
- TIM, U.S.; JAIN, D.; LIAO, H., (1996). Interactive modeling of ground-water vulnerability within a geographic information system environment. *Groundwater*, 4:618-627.
- TIM, U.S. (1996). Coupling vadose zone models with GIS: Emerging trends and potential bottlenecks. *J Environ Quality*, 25:535-544.