VI Jornadas de investigación en la Zona no Saturada del Suelo

ZNS'03

Valladolid 5 al 7 de noviembre, 2003

Libro de resúmenes

Editores

Javier Álvarez Benedí
David García Sinovas

Editores Asociados

María del Pilar Marinero Díez
Silvia Bolado Rodríguez
Cristina Díez García
Silvia Bolado Rodríguez
María de los Ángeles Estrada de Luis
Julián Atienza del Rey

INDICE

ÁREA 1: Seguimiento de procesos de Transporte de agua y solutos en suelos 7

Importancia relativa de las fracciones de agua móvil e inmóvil para el transporte de un soluto en suelos volcánicos 9
Drenaje y lixiviado de nitratos en una sección transversal de un sistema de cultivo 10
Dinámica espacio-temporal de la humedad del suelo en un área de montaña mediterránea. cuencas experimentales de vallcebre (alto llobregat) 11
Estudios cinéticos de transporte del herbicida 2,4-d en columnas de laboratorio 12
Efecto de un cultivo de cubierta estival usado como Buena Practica Agrícola para la reducción del transporte de pesticidas y nutrientes hacia el acuífero 13
Influencia de la distribución de lluvias en el transporte de metales pesados en un suelo contaminado por residuos mineros 14
Distribución en el bulbo húmedo del nitrógeno, el fósforo y el potasio aplicados en fertirriego 15
Capacidad de desnitrificación de la zona no saturada del suelo en un humedal del cinturón peri-urbano de Vitoria-Gasteiz 16
Disponibilidad hídrica en laderas con suelos de litología no acuífera a lo largo de un gradiente Mediterráneo. Montes de Málaga 17
Distribución espacial de nutrientes en un sistema de fertirrigación por surcos 18
Infiltración profunda de nitratos en una parcela de cítricos sobre suelo de textura franco arcillosa 19
Movilidad del herbicida bensulfuron-metilo en ensayos de campo. aplicación del modelo focuspelmo 1.1.1 20
Efectos del riego sobre la salinidad y composición del complejo de cambio de un suelo recuperado de las marismas de lebrija 21
Evolución del contenido de nitrato y amonio en lixiviados bajo diferentes formas de fertilización nitrogenada en trigo 22
Evolución de la humedad en un suelo arenoso bajo condiciones controladas 23
Estabilidad temporal de la humedad edáfica bajo diferentes condiciones ambientales mediterráneas y de uso del suelo 24
La iniciación de cárcavas en la campiña andaluza 25
Estudio comparativo de formación de volúmenes húmedos en riego localizado mediante la utilización de diferentes emisores y tiempos de riego 26
Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas mediante la utilización de sondas enviroscan 27
Monitorización en tiempo real y telemetría para el seguimiento de procesos hidrológicos en una cuenca forestal del parque nacional de Garajonay (La Gomera) 28
Efectos geométricos sobre la permitividad efectiva del agua en medios porosos 29
Estimación del efecto del cambio climático en el balance hídrico del maiz cultivado en una llanura mediterránea 30
Contaminación por arsénico en aguas subterráneas en la provincia de valladolid: variaciones estacionales 31
Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes en columnas de suelos calizos 32

Lixiviación del Fe en columnas de suelos calizos mejorados con sulfato ferroso monohidratado (SFM) 33
Dinámica de adsorción – desorción de Arsénico (V) en suelos de cultivo en Castilla y León 34

ÁREA 2: Aspectos metodológicos para la caracterización de la Zona no Saturada 35

Estimación de la humedad del suelo en el sector semiárido de la cuenca del Duero (España) a partir de las técnicas TDR y ERS-SCATTEROMETER 36
Caracterización de la zona no saturada en un bosque maduro de laurisilva en el parque nacional de Garajonay: hidrofobicidad e implicaciones hidrológicas 37
Uso de un modelo basado en eventos para evaluar la conductividad hidráulica en una cuenca de pequeñas dimensiones 38
Validación del uso de funciones de edafotransferencia para la determinación de propiedades hidrodinámicas de los suelos en una cuenca experimental (Vallcebre, Alt Llobregat) 39
Determinación de la conductividad hidráulica en laderas mediante el uso de infiltrómetros de minidisco a lo largo de un gradiente pluviométrico mediterráneo 40
Análisis del método de estimación de la conductividad hidráulica saturada de un suelo con el método de Philip-Dunne 41
Apparatus for evaluation of hydro-mechanical behaviour of porous media 42
Medida del microrrelieve de la superficie del suelo a diferentes escalas 43
Ajuste metodológico en la medición de la conductividad hidráulica saturada en suelos vertisoles y entisoles de la república argentina mediante el permeámetro de Guelph 44
Zonificación de los suelos del área de influencia hídrica del parque natural de "El Hondo" en función de la salinidad 45
Caracterización del transporte de solutos en suelos volcánicos agrícolas mediante TDR y simulación inversa 46
Primeros resultados de comportamiento de un medidor cualitativo de escorrentía superficial 47
Calibración de una sonda de capacitancia en suelos argiudoles de la zona central de la provincia de Bs. As., Argentina 48
Evaluación de la importancia del hinchamiento en suelos volcánicos cultivados y su relación con algunas propiedades físicas 49
Medida de la sortividad del suelo con el permeámetro de Philip-Dunne 50
Sistema pasivo multinivel para la obtención de perfiles de la fase gaseosa de compuestos orgánicos volátiles en la zona no saturada 51
Evaluación de una sonda FDR para la estimacion de la evolucion del contenido de agua en el suelo y para el control de riegos en olivar. 52
Determinación de la humedad de la capa arable del suelo en zonas semiáridas 54

ÁREA 3: Variabilidad espacial y cambios de escala 55

Aplicación de redes neuronales artificiales para determinar la distribución espacial de la humedad del suelo en una pequeña cuenca de drenaje. estudios preliminares 56
Caracterización del contenido de humedad superficial del suelo y su variabilidad en cuencas agrícolas 57

Variabilidad espacial de propiedades hidráulicas y elementos traza en suelos afectados por el vertido de Aznalcóllar sometidos a recuperación 58
Propiedades físico-químicas y variabilidad espacial de un suelo afectado por el vertido minero de Aznalcóllar 59
Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de olivar y su influencia en el balance hidrológico global 60
Determinación de agua útil para riego en la zona regable de Terrá Chá (Lugo) usando un medidor de potencial de punto de rocio 61
Abonado mineral: irregularidad en la distribución y contaminación de aguas 62
Variabilidad espacial del contenido de materia orgánica en el suelo de una plantación de viñedo 63
Variabilidad espacial y escalado de parámetros de forma que describen la hidrofobicidad del suelo 64

ÁREA 4: Desarrollo, calibración y aplicación de modelos 65

Evaluación de los modelos numéricos de flujo de agua en el suelo HYDRUS-2D y SIMDAS en riego localizado 66
Modelización y simulación numérica del transporte de solutos volátiles no pasivos 67
Influencia de obstáculos en la dispersión de substancias agroquímicas en el suelo 68
Variación del balance del agua anual regional en el suelo 69
Pesticide dispersion-advection equation with soil temperature effect 70
Evolución de la humedad del suelo en sistemas de agricultura de conservación en suelos arcillosos cultivados en secano 71
Modelización hidrogeoquímica inversa de extractos acuosos para la obtención de la composición química del agua intersticial 72
Inverse modelling of reactive transport in single and dual porosity media 73

ÁREA 5: Papel de la zona no saturada en la gestión de recursos y medio ambiente 75

Influencia de la modificacion de suelos con un surfactante catiónico en el incremento de adsorción de pesticidas por suelos 76
El papel de la ZNS en el transporte de agua y agroquímicos hacia el acuífero superficial en una zona agrícola fronteriza con el espacio natural protegido de los Everglades (Florida, USA) 77
Lixiviado de metales pesados depositados en un suelo por el vertido producido por la rotura de la balsa de lodos de la mina de Aznalcóllar 78
Influencia de la humedad y la temperatura en la evolución de la población de aerobios totales y de escherichia coli en un suelo tratado con lodos de depuradora urbana 79
Efecto de la aplicación de lodos de aguas residuales al suelo en la persistencia del herbicida linuron en condiciones de campo 80
Evaluación del volumen de suelo húmedo en microirrigación. Influencia del porcentaje de este volumen sobre el comportamiento del olivo (Olea Europaea L; Cult.'Arbequina') 81
Lixiviación de nitratos bajo cultivo de remolacha en la zona vulnerable del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco) 82

Evaluación del modelo STICS para la determinación de la lixiviación de nitratos bajo cultivo de patata en la zona no saturada del suelo 83
Aplicación experimental de zeolita al cultivo de fresón. Caracterización del proceso mediante técnicas de analisis multivariable 84
Influencia de los aportes de residuos orgánicos ganaderos en el lavado de nitratos en un cultivo de maíz en regadío 85
Agricultura y espacios naturales protegidos: ¿amigos o enemigos? el caso de la restauración ecológica de los Everglades (Florida, USA) 86
Dinámica de los metales pesados en un suelo degradado enmendado con residuos orgánicos urbanos 87
Estudio de la disponibilidad del fósforo y boro aportados por las aguas depuradas: metodología y resultados preliminares. 88
Cambios en el ph del perfil de un suelo ácido cultivado y enmendado con diversos materiales para incrementar su fertilidad 89
Fertirrigación potásica en olivar. respuesta del árbol y distribución espacial en el suelo del k extraíble. 90
La zona no saturada en la directiva marco europea del agua: ¿la gran ignorada? 92
Cambios en la adsorción / biodisponibilidad de dos fungicidas con el tiempo de residencia en el suelo 94

ÁREA 1: Seguimiento de procesos de Transporte de agua y solutos en suelos

RESUMEN 1.1

IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS FRACCIONES DE AGUA MÓVIL E INMÓVIL PARA EL TRANSPORTE DE UN SOLUTO EN SUELOS VOLCÁNICOS

Ritter, A.[1]; Regalado, C.M.[1]; Muñoz-Carpena, R.[2] y Socorro, A.R.[1]

(1) Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), Apdo. 60, 38200. La Laguna (Spain), aritter@icia.es
(2) TREC-IFAS, Agricultural and Biological Engineering Dept. University of Florida, 18905 SW 280 St., Homestead, FL 33031 (USA).

En el estudio del potencial contaminante de productos agroquímicos aplicados al suelo resulta imprescindible conocer las propiedades de transporte de solutos en el mismo. La aproximación más popular intenta tener en cuenta las heterogeneidades del suelo al concebir que éste está dividido en dos regiones: una asociada a la fase del suelo que es muy permeable (fracción de agua móvil) y donde el transporte de solutos es principalmente por convección-dispersión y otra asociada con la fase menos permeable de la matriz del suelo (fracción de agua inmóvil) en la que se admite un intercambio difusivo de solutos con la fase móvil. La existencia e importancia relativa de estas dos regiones afecta a la distribución de agua y de solutos en el suelo.

Para buscar evidencias de la presencia de estas fases de agua en un suelo volcánico, realizamos experimentos de desplazamiento de solutos en una columna de suelo inalterado de grandes dimensiones, instrumentada con sondas TDR para la estimación simultánea del contenido de humedad y la concentración de un soluto salino (Br^-) a diferentes profundidades. Una vez saturado el suelo con la solución de Br-, al aplicar otra solución de lavado con distintas duraciones y frecuencias, es posible establecer la importancia de las fracciones de agua móvil-inmóvil. Cuando la fase inmóvil es relevante, entre periodos de lavado consecutivos el soluto se redistribuye uniformemente dentro de la fase inmóvil, creando gradientes de concentración que favorecen el lixiviado una vez reiniciado el lavado. La comparación de las curvas de ruptura durante procesos de lavado continuos e intermitentes, permite evaluar cómo se ve afectado el transporte de solutos en este suelo volcánico, bajo diferentes regímenes de flujo, por la existencia de dos regiones de agua.

RESUMEN 1.2

DRENAJE Y LIXIVIADO DE NITRATOS EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN SISTEMA DE CULTIVO

Vázquez, N.[1]; Pardo, A.[1]; Suso, Mª.L.[1] y Quemada, M.[2]

(1) Centro de Investigación y Desarrollo Agrario (C.I.D.A.), NA-134, km 88, 26071, La Rioja. mquemada@pvf.etsia.upm.es
(2) Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. E.T.S. Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica. 28040. Madrid.

El objetivo de este trabajo fue la determinación del volumen de agua drenada y de la cantidad de nitrato lavado en sistemas agrícolas cuya distribución espacial exige un estudio bidimensional. El estudio se realizó en un cultivo de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill) en el que se practicaron distintas estrategias de riego durante el verano de los años 2001 y 2002 en el valle del Valle del Ebro. El cultivo se planta sobre mesetas de 1 m de ancho, separadas por calles de 0,5 m. En el centro de la se meseta, cubierta por un acolchado de plástico negro, se entierra una cinta de goteo a 5 cm de profundidad, y en el lateral de la misma se coloca la plántula. Las estrategias de riego utilizadas fueron las siguientes: dosis masiva en plantación y riego diario igual a la ETc durante el período de crecimiento (T1R1), dosis masiva en plantación y riego diario igual al 80% de la ETc durante el crecimiento (T1R2), y dosis reducida y alta frecuencia en plantación seguida de riego de alta frecuencia durante el período de crecimiento (T2R3 si el agua aplicada era igual al 100% ETc, y T2R2 si era del 80%). El drenaje se determinó aplicando el método del balance de agua a una sección transversal a la línea en la que queda representada la posición de los elementos que configuran el sistema de cultivo. Para la cuantificación de la variación de la reserva de agua del suelo se instalaron seis tubos de 1 m de profundidad para el acceso de una sonda de TDR. Los tubos se colocaron transversalmente a la línea de goteo en una anchura de 1,25 m y separados 0,25 m entre sí. Las medidas se realizaron semanalmente en intervalos de 0,20 m de profundidad. La evapotrasnpiración del cultivo se calculó por el método FAO Penman-Monteih. Así mismo se instalaron, debajo de la cinta de goteo y en el centro de la calle, cañas de vacío provistas de una cápsula cerámica para la recogida periódica de muestras de la solución del suelo a 1 m de profundidad. Para calcular el lixiviado de nitratos se multiplicó el drenaje semanal por la concentración de la solución extraída. El drenaje y lavado de nitratos se calcularon para dos fases del cultivo: transplante y cultivo. La metodología empleada permitió determinar que las mayores pérdidas de agua y nitratos se produjeron en el período de transplante, y que pueden ser disminuidas sustituyendo los riegos masivos por riegos de alta frecuencia. Durante la fase de cultivo, riegos del 80% de la ETc permitieron mantener la producción reduciendo el drenaje.

RESUMEN 1.3

DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN UN ÁREA DE MONTAÑA MEDITERRÁNEA. CUENCAS EXPERIMENTALES DE VALLCEBRE (ALTO LLOBREGAT)

Llorens, P.; Latron, J. y Gallart, F.

Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera" (CSIC). Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. pllorens@ija.csic.es

La humedad volumétrica del suelo, utilizando el método TDR, se viene registrando desde 1993 en las cuencas experimentales de Vallcebre con la finalidad de evaluar sus variaciones espacio-temporales y establecer relaciones con los procesos hidrológicos.

Los registros de humedad del suelo se realizan semanalmente en 10 perfiles representativos de las diferentes unidades geoecológicas definidas. Estos perfiles constan de sondas de 20 cm insertas verticalmente en el suelo a 4 profundidades (entre 0 y 80 cm).

Los resultados obtenidos muestran que la posición topográfica y el tipo de cubierta vegetal (bosque o pastos) son los principales factores que controlan los patrones de humedad del suelo. La variabilidad espacial de la humedad entre perfiles es mínima en condiciones de sequía y de saturación, registrándose las máximas diferencias en condiciones intermedias.

La información obtenida ha sido utilizada para determinar la reserva hídrica a escala de cuenca a partir de una metodología basada en la combinación de la información topográfica (MDT) y de cubiertas vegetales (mapa de usos del suelo) con los registros de humedad del suelo medidos en las diferentes unidades representativas. La reserva de agua a escala de cuenca obtenida con este método es difícil de validar. Sin embargo, tanto su correlación con los niveles freáticos medidos, como la coherencia de los balances de agua mensuales en los que esta reserva ha sido incorporada, confirman la validez de la metodología elaborada.

RESUMEN 1.4

ESTUDIOS CINÉTICOS DE TRANSPORTE DEL HERBICIDA 2,4-D EN COLUMNAS DE LABORATORIO

Candela, L.; Fabregat, S.; Solé, M. y Rodríguez-Pacheco, R.L.

Dep. de Ingeniería del Terreno-Universidad Politécnica de Cataluña. Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona. lucila.candela@upc.es

El herbicida 2,4-D (2,4-ácido Dicholorofenoxyacetico) es un regulador del crecimiento de las plantas y un herbicida aplicado para el control de malas hierbas. En este estudio de laboratorio, se han realizado experimentos batch y cinéticos en columas con tres suelos situados a diferente profundidad del campo de golf Serres de Pals (Gerona). Las isotermas de adsorción obtenidas a partir de los ensayos de batch se ajustan a un modelo lineal, y el bajo valor del coeficiente de adsorción sugiere un potencial elevado de lixiviación.

Los experimentos cinéticos se realizaron en columnas de acero para alta presión, de 10 cm de largo y 2 cm de diámetro. Como trazador conservativo en los ensayos tipo pulso se utilizó Pentaflourbenzoato (PFB). Los experimentos con 2,4D se realizaron mediante flujo continuo para obtener las curves de paso del trazador (breakthrough curves-BTCs), que muestran comportamiento simétrico.

Las curvas se modelaron mediante un modelo análitico de Brenner en equilibrio y con un modelo de no equilibrio con adsorción y degradación lineal con el objeto de determinar dispersividad (D), número de Peclet (P) y los parámetros de adsorción en no equilibrio (β,ω,ξ,η). De acuerdo con el número de Peclet, se puede concluir que el flujo dispersivo domina sobre el difusivo, como cabría esperar.

Los resultados procedentes del factor de retardo de los experimentos batch y cinéticos son indicativos de que el herbicida puede lixiviar en condiciones de campo dada su baja reactividad con los componentes del suelo.

RESUMEN 1.5

EFECTO DE UN CULTIVO DE CUBIERTA ESTIVAL USADO COMO BUENA PRACTICA AGRÍCOLA PARA LA REDUCCIÓN DEL TRANSPORTE DE PESTICIDAS Y NUTRIENTES HACIA EL ACUÍFERO

Muñoz-Carpena, R.[1], Schaffer, B.A.[1], Potter, T.[2], Bosch, D.[2] y Ritter, A.[3]

(1) University of Florida IFAS-TREC (USA). carpena@ufl.edu
(2) USDA-ARS-SEWRL, Tifton, Georgia (USA).
(3) ICIA, Tenerife (España).

La limitación del transporte de agroquímicos a través de la zona no saturada (ZNS) hacia acuíferos superficiales es un problema prioritario para la sostenibilidad de la agricultura en todo el mundo. Este problema se agudiza en zonas agrícolas adyacentes a espacios naturales o protegidos donde el impacto medio ambiental puede ser desastroso. En países desarrollados, la opinión pública, cada día más sensibilizada en temas medioambientales, demanda prácticas culturales menos contaminantes y reguladas (Buenas Practicas Agrícolas, BPA). En este trabajo se evalúa el efecto del uso de un cultivo de cubierta estival (*Crotalaria juncea*) tras rotación continua con maíz invernal durante 4 años. Durante este periodo se realizó un seguimiento detallado de variables hidrológicas (precipitación, ET, riego, humedad en la ZNS y variación del nivel freático superficial) y del transporte de agroquímicos (atrazina y derivados, y nutrientes) en un campo experimental de 4 ha con 2 tratamientos (cultivo de cubierta estival y sin cultivo de cubierta) en tres repeticiones. El seguimiento de la calidad del acuífero superficial (0,6-3 m de profundidad) se realizó cada dos semanas en una red de 30 pozos instalados en el interior de la parcela. Muestreos de agua superficial (canales) se hicieron en un canal que rodea la finca. Se presentan resultados que ilustran la variación del drenaje profundo en la ZNS como consecuencia del uso del cultivo de cubierta, así como una reducción significativa (en torno al 50%) encontrada en la concentración local de agroquímicos en el agua subterránea bajo cada uno de los 2 tratamientos. Estas diferencias son explicadas en términos de cambios de las propiedades físicas y biológicas del suelo por enriquecimiento de materia orgánica. Para la interpretación de estos datos, se calibraron y contrastaron dos modelos de simulación (GLEAMS, WAVE). Para la evaluación del transporte lateral en el acuífero superficial de estos contaminantes se llevaron a cabo una serie de experimentos con trazadores. Los resultados de este estudio complementan las mejoras de tipo hortícola (producción, fitopatología, etc.) encontradas en otros estudios anteriores y apoyan la introducción de *Crotolaria juncea* en cubierta estival como una BPA recomendada en la zona.

RESUMEN 1.6

INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LLUVIAS EN EL TRANSPORTE DE METALES PESADOS EN UN SUELO CONTAMINADO POR RESIDUOS MINEROS

Domínguez, E.M.[1]; Polo, M.J.[2] y Giráldez, J.V.[2]

(1) Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba. ag1pogom@uco.es
(2) Dpto. Agronomía, Universidad de Córdoba.

El riesgo de contaminación de aguas subterráneas por transporte de sustancias a través del suelo está condicionado, por un lado, por las características de este que determinan su capacidad de retención de dichas sustancias y el retardo de los frentes de avance; por otro, por la frecuencia y volumen de las lluvias producidas durante el periodo en estudio. Cuando la solubilidad de las sustancias está fuertemente afectada por las condiciones de humedad del suelo, ambos condicionantes, interacción con el suelo y distribución de lluvias, deben estudiarse de forma conjunta. Este trabajo evalúa el potencial de transporte de metales pesados a través del suelo en una zona con contaminación residual tras las labores de limpieza del cauce del río Guadiamar, estableciendo aquellos parámetros del sistema suelo-metal-agua determinantes para mantener la solubilidad de estas sustancias. Para ello, se ha estudiado la movilidad de zinc, cobre, hierro, manganeso, cadmio y plomo en condiciones de laboratorio, realizando ensayos de lixiviación con columnas de suelo inalteradas, con dos variables: la capacidad de adsorción del suelo, utilizando para ello muestras de zonas con diferencias texturales, y la distribución temporal de las lluvias, utilizando diferentes frecuencias en la aplicación de agua a las columnas. Los resultados muestran, para una misma distribución de lluvias, cómo pequeños incrementos en la fracción limo del suelo (siendo todas las muestras predominantemente arenosas) bastan para inducir una elevada adsorción de metales, por incremento del pH del suelo, inicialmente ácido por la contaminación residual. No obstante, al comparar las cantidades de metales lixiviadas tras someter las columnas a diferentes regímenes hídricos, queda de manifiesto que la alternancia de periodos húmedos/secos favorece una mayor disponibilidad de los metales. La valoración de los parámetros estudiados en cada caso permite agrupar los efectos individuales inducidos y pueden ser útiles para clasificar la peligrosidad de los puntos residuales de contaminación localizados en la zona, en función de su potencial de aporte de dichos metales a zonas más profundas.

RESUMEN 1.7

DISTRIBUCIÓN EN EL BULBO HÚMEDO DEL NITRÓGENO, EL FÓSFORO Y EL POTASIO APLICADOS EN FERTIRRIEGO

Baena, G.; Ordóñez, R.; Pastor, M. y González, P.

Departamento de Suelos y Riegos, CIFA Alameda del Obispo, Córdoba, España. gema.baena.ext@juntadeandalucia.es

La creciente demanda de los sistemas de fertirrigación en los cultivos responde a las ventajas que ofrece este sistema de riego sobre otros, como pueden ser un mayor control del agua y que los nutrientes son aplicados de forma conjunta. Estas condiciones se dan en una zona limitada, bulbo húmedo, en la que se concentra una mayor actividad radicular debido a las condiciones de humedad que favorecen la disolución y asimilación de las raíces, alargando el periodo de máxima actividad de las mismas. La fertilización nitrogenada es muy importante en el desarrollo de los cultivos y su producción. El objetivo de este estudio es determinar la distribución de nitrógeno, fósforo y potasio en el bulbo húmedo bajo cinco tratamientos de abonado nitrogenado en un olivar fertirrigado.

En una parcela de olivar se aplicaron las distintas dosis de abonado nitrogenado y la misma cantidad de P y K en todos los casos y durante todo el episodio de riego se aplicaba la solución nutritiva. Tras un año de tratamiento se tomaron muestras a distintas profundidades y distancias respecto del punto emisor de la solución nutritiva, ocupando todo el volumen del bulbo.

El análisis de la distribución nitrógeno nítrico, fósforo y potasio disponibles, muestra que si bien la concentración de N en los primeros centímetros del perfil es mayor en aquellos bulbos en los que la dosis de nitrógeno aplicado es más alta, el patrón de lavado del anión en el perfil ha sido semejante para los distintos tratamientos considerados, presentando valores similares de nitratos en la zona radicular del cultivo.

El tratamiento N parece el más adecuado, siempre se encuentran en el suelo niveles no limitantes para la producción y no afecta el medio ambiente.

En el caso tanto del fósforo como del potasio, dado su lento desplazamiento en el perfil, se observa el enriquecimiento en la zona más próxima al emisor.

RESUMEN 1.8

CAPACIDAD DE DESNITRIFICACIÓN DE LA ZONA NO SATURADA DEL SUELO EN UN HUMEDAL DEL CINTURÓN PERI-URBANO DE VITORIA-GASTEIZ

García-Linares, C.[1]; Iribar, A.[2]; Martínez, M.[1]; Sánchez-Pérez, J.M.[2] y Antigüedad, I.[1]

(1) Grupo de Hidrogeología. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. 48940 Leioa (Bizkaia). gpbgalic@lgdx04.lg.ehu.es
(2) Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes (LEH, FRE CNRS-UPS 2630), Université Paul Sabatier. 31055 Toulouse (Francia).

Los cambios de usos del suelo y la intensificación de la agricultura en el acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz llevaron a la desaparición de los humedales. Acciones recientes de restauración de espacios naturales en el área peri-urbana han llevado a su recuperación. La restauración de estas zonas húmedas ha contribuido a la disminución de nitratos de las aguas. Las concentraciones en NO^{3-}, superiores a 50 mg/l en las aguas fluyentes hacia la zona húmeda, son inferiores a 10 mg/l en los alrededores del humedal.

Se ha medido el potencial de desnitrificación de los suelos, en la zona no saturada mediante en método de bloqueo al acetileno en 4 perfiles de suelo adyacentes al humedal a 3 profundidades representativas del depósito aluvial. Los valores máximos de desnitrificación se observan en los horizontes superficiales ricos en materia orgánica y en la zona capilar. La abundante materia orgánica y notable presencia de arcillas que originan localmente flujo semi-confinado facilitan la desnitrificación de las aguas subterráneas. Por otro lado las características físico-químicas del acuífero son propicias para la desnitrificación: oxígeno disuelto en el agua subterránea menor de 1 mg/l y valores de carbono orgánico disuelto superiores a 3 mg/l.

RESUMEN 1.9

DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LADERAS CON SUELOS DE LITOLOGÍA NO ACUÍFERA A LO LARGO DE UN GRADIENTE MEDITERRÁNEO. MONTES DE MÁLAGA

Ruiz Sinoga, J.D.; Marquez Carrero, J.; Noguera Robles, Mª.J.; Martinez Murillo, J.F.; Gallegos Reina, A.; Romero Lopera, A. y Lucas Santamaría, B.

Departamento de Geografía. Universidad de Málaga. sinoga@uma.es

El estudio de la disponibilidad hídrica de suelos es un tema clave dentro del conocimiento cientifico que aborda las relaciones suelo-agua-planta. Son muchos los autores que han abordado tal faceta, y desde diferentes escalas de aproximación, (Dahiya, Martinez-Fernandez, Romano, Saxton, Van Genuchten, Young,…).

Especialmente en ambientes mediterráneos el análisis de lo que se ha dado en denominar el "agua útil" de los suelos, constituye un tema crucial a la hora de determinar el ciclo hidrológico de suelos escasamente desarrollados, escléticos y sometidos a una intensa y ancestral actividad antrópica.

Las investigaciones recientes encaminadas a demostrar la variabilidad del comportamiento hidrológico en laderas mediterráneas a lo largo de un gradiente pluviométrico, (Lavee, Imeson, Calvo-Cases,…), mostrando marcadas diferencias entre e intra ladera suponen un esclarecimiento en el conocimiento científico de la hidrodinámica de formaciones superficiales, frente a los modelos clásicos hortonianos o helwetianos. Asimismo, diversos autores coinciden en que a lo largo de un gradiente pluviométrico y en condiciones mediterráneas, los 600 mm/año constituyen un umbral entre el predominio de los factores bióticos/abióticos en la determinación del comportamiento hidrodinámico de las laderas.

Así pues, un variable comportamiento hidrodinámico a lo largo de una ladera puede ser causa y consecuencia de la existencia de un conjunto relaciones suelo/agua/planta también variable.

En la presente investigación hemos realizado una aproximación a la dinámica de la disponibilidad hídrica de los suelos de dos laderas de la montaña media mediterránea (Cordilleras Béticas Litorales), situadas en diferentes puntos a lo largo de un gradiente pluviométrico, (400-800 mm/año). Ambas poseen similar orientación, longitud, litología, uso y pendiente, ubicandose en la provincia de Málaga, en la unidad de "Los montes".

Para ello, y a lo largo de las mismas, hemos realizado un seguimiento semanal del contenido de humedad y temperatura del suelo, -en el periodo humectación-desecación de los mismos-, a diferentes profundidades de perfil, mediante el empleo de sondas TDR, así como determinado las curvas de pF, en cada uno de los puntos muestreados. Del análisis de ambas informaciones hemos realizado una aproximación a la variabilidad de la disponibilidad hídrica de los mismos.

RESUMEN 1.10

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NUTRIENTES EN UN SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN POR SURCOS

Domínguez, E.M.[1]; Polo, M.J.[2]; Giráldez, J.V.[2] y Mateos, L.[1]

(1) Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba. ag1pogom@uco.es
(2) Dpto. Agronomía, Universidad de Córdoba

El correcto manejo del fertirriego en surcos puede contribuir a disminuir los problemas de contaminación difusa, principalmente los provocados por percolación profunda de nitratos y escorrentía de compuestos solubles o adsorbidos en sedimentos. Este manejo debe ir orientado a maximizar la combinación eficiencia - uniformidad de las aplicaciones de fertilizantes. Se realizaron ensayos de campo en los que se aplicó bromuro potásico, considerado como trazador, al riego por surcos variando las condiciones iniciales de humedad del suelo: sin riego previo, con una aplicación de riego y con dos aplicaciones de riego. Después de cada ensayo se regó en dos ocasiones el surco sin riego previo y en una ocasión el surco con un riego previo. Tras los ensayos y los riegos posteriores se analizó la concentración de bromuro potásico en el suelo hasta un metro y medio de profundidad, obteniéndose así la distribución de solutos en profundidad y el efecto de riegos sucesivos en la lixiviación de solutos, tanto a lo largo de los surcos como en las secciones transversales consideradas para el muestreo. Estos datos de concentración junto con los obtenidos en superficie durante cada ensayo permiten realizar un balance de solutos y con ello calcular la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución de los solutos aplicados. Se observaron elevadas variaciones en la distribución de solutos en cada uno de los riegos, debido, en gran medida a las diferencias en las cantidades perdidas por escorrentía. Las irregularidades observadas en los perfiles transversales de la distribución de solutos dan lugar a la consideración de precauciones en la utilización de modelos de movimiento de solutos en el suelo.

RESUMEN 1.11

INFILTRACIÓN PROFUNDA DE NITRATOS EN UNA PARCELA DE CÍTRICOS SOBRE SUELO DE TEXTURA FRANCO ARCILLOSA

Sánchez Sánchez, M.C.; De la Torre Sánchez, M.L.; Grande Gil, J.A. y Sainz Silván, A.

Grupo de Recursos y Calidad del Agua. Departamento de Ingeniería Minera Mecánica y Energética. Universidad de Huelva, E-21819 Palos de la Frontera, Huelva. mamencita@hotmail.com

El presente estudio pretende caracterizar el proceso de infiltración profunda de nitratos en una parcela de cítricos situada en zona de recarga del Sistema Acuífero Sevilla-Carmona. Para ello se establecerán las posibles relaciones de dependencia espacio-temporales entre cantidades de nitratos aportadas en superficie y concentraciones de esta sal a diferentes profundidades en ZNS, mediante el tratamiento gráfico-estadístico de series temporales de lluvia y concentración de nitratos. La experiencia forma parte del proyecto de caracterización de la incidencia ambiental de la actividad agrícola en las aguas del Sistema Acuífero Sevilla-Carmona.

A fin de tomar muestras a distintas profundidades se ha instalado una batería de 21 cápsulas de succión de teflón, colocando 7 cápsulas en 3 repeticiones, a las profundidades de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 y 0.8 m, situando cada una de ellas debajo de un gotero, evitando con ello periodos secos.

De cada muestra de agua se determinaron las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio mediante fotómetro de filtros, así como temperatura, pH y conductividad eléctrica, procurando efectuar la analítica el mismo día del muestreo para evitar posibles alteraciones.

RESUMEN 1.12

MOVILIDAD DEL HERBICIDA BENSULFURON-METILO EN ENSAYOS DE CAMPO. APLICACIÓN DEL MODELO FOCUSPELMO 1.1.1

Delgado Moreno, L.; Sánchez Moreno, L.; Castillo Martín, A. y Peña Heras, A.

Estación experimental de Zaidín (CSIC). arancha@eez.csic.es

Bensulfuron metilo, perteneciente a las sulfonil ureas, es un herbicida de nueva generación que se emplea a dosis relativamente bajas (80-100 g ha-1), lo que refleja la potente fitotoxicidad de esta familia de sustancias. En el año 2002 se realizó un ensayo de campo en seis parcelas situadas en Vegas del Genil (Vega de Granada) para determinar la movilidad del herbicida en una zona que está asentada sobre uno de los acuíferos detríticos más importantes de Andalucía. Para facilitar el análisis se emplearon dos dosis, una a 100 g ha-1 y otra a 5 kg ha-1. El bensulfuron metilo se determinó por HPLC con detector DAD, tanto en suelo como en la solución de suelo. Para la recogida de la solución de suelo se han empleado dos tipos de captadores: cápsulas cerámicas y cápsulas metálicas, situadas a 35 cm de profundidad. Se ha investigado la eficacia de ambos tipos de captadores, así como el efecto de los aportes de agua de riego. Los resultados, tanto en muestras de suelo como en las de solución de suelo, indican que el herbicida alcanza la profundidad de los captadores en el rango 8-10 días para riego alto (945 mm) y en el de 18-25 días para el más bajo (405 mm). Se ha aplicado el modelo matemático FOCUSPELMO 1.1.1 para interpretar los datos obtenidos en la lixiviación. En general se ha observado una buena concordancia entre los datos experimentales y los proporcionados por el modelo. De los dos tipos de captadores empleados los cerámicos han recogido más solución y en más ocasiones que los metálicos. La dotación de agua de riego tiene, como era de esperar, un efecto importante sobre la movilidad del herbicida. Se han observado fenómenos de flujo preferente en algunas de las parcelas, con una lixiviación de bensulfuron-metilo más rápida que los valores predichos.

RESUMEN 1.13

EFECTOS DEL RIEGO SOBRE LA SALINIDAD Y COMPOSICIÓN DEL COMPLEJO DE CAMBIO DE UN SUELO RECUPERADO DE LAS MARISMAS DE LEBRIJA

Moreno, A.; Vaz, R. y Gutiérrez, A.

Dpto. Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola (EUITA) Universidad de Sevilla. Ctra Utrera, Km 1 Sevilla. amoreno@us.es

Las Marismas del Guadalquivir, situadas en el antiguo estuario del río, ocupan una zona de unas 142,000 ha, formadas por suelos de origen aluvial muy arcillosos, y que presentan un carácter salino-sódico, con una capa freatica poco profunda y salinizada. Parte de estos suelos han sido recuperados para la agricultura, mediante la instalación de un sistema de drenaje y la construcción del Canal del Bajo Guadalquivir para el aporte de agua de riego.

El objetivo de este trabajo es determinar, mediante el uso del modelo de simulación EXPRESO (M. Rieu y otros, 1998), la composición *in situ* de la solución del suelo y del complejo de cambio, y su evolución entre dos riegos sucesivos. Las muestras de suelo (0-0,3, 0,3-0,6 y 0,6-0,9 m) se tomaron en una parcela de 6 ha (Lebrija, Sector BXII), situada en el margen izquierdo del río, cultivada con remolacha azucarera y sometida a riego por aspersión. Se realizo un primer muestreo para la caracterización general de la parcela, y se escogió un subparcela de 0.5 ha para el seguimiento del equilibrio entre las especies adsorbidas y las solubles presentes en el suelo durante el tiempo transcurrido entre riegos. Los analisis en el laboratorio se realizaron sobre extracto de pasta saturada para los iones solubles, y mediante el método descrito por Tucker (1974) para los iones cambiables.

Del muestreo inicial se deduce que son suelos arcillosos, ligeramente alcalinos, pobres en materia orgánica y nitrógeno, y con un contenido medio en fósforo asimilable. Los datos obtenidos en el estudio entre riegos muestran un aumento acusado de la conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada (CEps), para las muestras inmediatamente después del riego, observándose además un descenso en el contenido de Na^+ y Ca^{2+} cambiables Este aumento de la CEps se prolonga hasta el quinto día después del riego en los primeros 0.6 m de profundidad, y durante algo menos entre 0.6 y 0.9 m. Estos datos se han utilizado como entrada en programa EXPRESO, para el estudio de la evolución de las condiciones *in situ* del suelo.

RESUMEN 1.14

EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE NITRATO Y AMONIO EN LIXIVIADOS BAJO DIFERENTES FORMAS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TRIGO

Ortuzar, M.A.[1]; Aizpurua1 A.[1]; Alonso, A.[1]; Castellón, A.[1] y Estavillo, J.M.[2]

(1) NEIKER Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, Calle Berreaga 1, 48160 Derio, Vizcaya. hortuzar@neiker.net
(2) Dpto. de Biología Vegetal y Ecología, Universidad del País Vasco/EHU, Apdo.644, 48080 Bilbao, Vizcaya.

El 50% de la superficie dedicada a cultivos extensivos en Álava está ocupada por trigo. Gran parte de esta superficie se localiza en una zona vulnerable a la contaminación de las aguas por los nitratos procedentes de la actividad agraria, declarada como tal por el Gobierno Vasco en 1998. Con el fin de evaluar el impacto de la fertilización nitrogenada en trigo sobre el contenido de nitrato en las aguas subsuperficiales, se estableció un ensayo de trigo blando (var. Soissons) en la localidad de Gauna (779 mm de pluviometría y 11.5ºC de temperatura medias anuales) con un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se aplicaron 140 kg N ha-1 repartidos en dos o tres aplicaciones, estableciéndose un tratamiento control sin aplicación de nitrógeno. Los tratamientos resultantes fueron los siguientes: 0+0+0, 40+100+0 y 40+60+40. Las tres cifras indican respectivamente la cantidad de N aplicado (kg N ha-1) en los siguientes estados fenológicos del cultivo: inicio de ahijado, inicio de encañado y hoja bandera. Se insertaron 2 cápsulas cerámicas por parcela a 60 cm de profundidad, recogiéndose muestras de la solución del suelo cada vez que la pluviometría sumaba 20 mm o, en su defecto, cada 15 días. En estas muestras se analizó el contenido de nitrato y amonio. El contenido hídrico del suelo se determinó mediante TDR (Time Domain Reflectrometry) y gravimétricamente a 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad. En este trabajo se presentarán los resultados obtenidos en la campaña 2002-2003.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (AGL2001-2214-C06-06)

RESUMEN 1.15

EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD EN UN SUELO ARENOSO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS

López, M.[1], Llanos, I.[2] y Giráldez, J.V.[2,3]

(1) CIFA, Camino de Esparragosa s/n, 11550 Chipiona, cifachip@arrakis.es
(2) Dpto. de Suelos y Riegos, CIFA, Apdo. 3092, 14080 Córdoba. ignacio.llanos@juntadeandalucia.es
(3) Dpto. de Agronomía, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba. ag1gicej@uco.es

En la zona occidental de la provincia de Cádiz hay una superficie importante de suelos arenosos dedicados al cultivo de flor cortada, bajo plástico e invernadero. El suelo consiste en un horizonte arenoso homogéneo de 0.5-0.6 m de profundidad sobre otro horizonte mucho más fino, que representa una discontinuidad.

La instalación de un lisímetro *ad hoc* ha permitido caracterizar la evolución de la humedad del suelo, que sigue la de la evaporación de referencia hasta que el suelo ejerce un control del flujo de agua.

Se propone un modelo sencillo para describir esta evolución.

RESUMEN 1.16

ESTABILIDAD TEMPORAL DE LA HUMEDAD EDÁFICA BAJO DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES MEDITERRÁNEAS Y DE USO DEL SUELO

Martínez Fernández, J.; Ceballos Barbancho, A.; Casado Ledesma, S. y Morán Tejeda, C.

Departamento de Geografía. Universidad de Salamanca. Salamanca. España. jmf@usal.es

En este trabajo se analiza la estabilidad temporal del contenido de humedad del suelo en tres zonas a lo largo de un gradiente pluviométrico (desde más de 1000 mm de precipitación media anual, hasta menos de 400 mm) al suroeste de la cuenca del Duero. Se han utilizado los datos de las redes de estaciones de medición de la humedad del suelo de tres cuencas experimentales de la Universidad de Salamanca: C.E. de Rinconada (62 ha, bosque de roble, 18 estaciones), C.E. de Morille (34 ha, dehesa de encina, 11 estaciones) y C.E. de Villamor (100 ha, uso agrícola, 11 estaciones). Por tanto, la base de datos está constituida por registros de humedad del suelo medidos en 40 estaciones, durante un periodo de 14 meses (de enero de 2002 a marzo de 2003). En cada estación se mide la humedad quincenalmente mediante TDR, con al menos cuatro sondas colocadas horizontalmente a diferentes profundidades, hasta la base del perfil. Las estaciones se distribuyeron espacialmente a lo largo de transectos a partir de criterios fisiográficos y edafológicos. Los resultados muestran claramente cuales son los puntos representativos de condiciones húmedas y secas, y la persistencia de las estaciones representativas, aún en las situaciones más contrastadas. La evolución temporal de los patrones de estabilidad muestra una gran persistencia durante el periodo analizado. Las estaciones representativas de las condiciones secas son mucho más estables que las identificadas en los sectores húmedos. Analizado globalmente, el contenido de humedad presenta una elevada estabilidad temporal a lo largo de toda la serie. Se ha detectado, en los tres casos analizados, que el periodo de máxima estabilidad, en términos de mínima varianza, coincide con el de menor contenido de humedad del suelo. Por el contrario, sólo en uno de los casos (C.E. Rinconada) se ha observado que existe una correlación positiva significativa entre humedad media y varianza ($r = 0.63$) para todo el rango de mediciones. Esto significa que, en esta cuenca, la estabilidad siempre es más alta cuando los suelos están secos que cuando el contenido de humedad es elevado. En los otros dos casos, la correlación es positiva hasta un determinado contenido de humedad, a partir del cual se invierte. Este diferente comportamiento probablemente esté relacionado con el hecho de que el bosque tenga un papel más homogeneizador que la dehesa (bosque abierto, distribución heterogénea) y los usos agrícolas, en relación con la presencia de agua en el suelo. Se ha detectado en dos de las cuencas (Rinconada y Morille) que los periodos de mayor inestabilidad coinciden con las situaciones de transición de estado seco a húmedo.

RESUMEN 1.17

LA INICIACIÓN DE CÁRCAVAS EN LA CAMPIÑA ANDALUZA

González, M.P.[1]; Polo, M.J.[2]; Giráldez, J.V.[2]; Masip, I.[2] y Marquez, A.[2]

(1) SCAI. Información del Territorio. ETSIAM. Apdo.3048. Córdoba. maria@uco.es.
(2) Depto. Agronomía. ETSIAM. Apdo 3048. Córdoba.

En los suelos arcillosos que ocupan terrenos inclinados, dedicados al cultivo del olivo en la campiña andaluza, se forman con frecuencia regeros y deslizamientos que degeneran en cárcavas.

En muchos casos la presencia de una suela subsuperficial debida al excesivo laboreo entre los árboles induce a la formación de exceso de lluvia de tipo de saturación o dunneano, aunque las elevadas intensidades de chubascos de la zona pueden inducir también canales por exceso de lluvia de origen superficial o hortoniano. Se analizan ambas causas estudiando la distribución de regueros en una cuenca del este de la provincia de Córdoba.

Mediante fotointerpretación se identifican todos los signos de erosión de la cuenca, diferenciando las cárcavas y sus cabeceras, en cada una de las cuales se analizará el fenómeno de iniciación de canales que ha predominado durante su formación. Para ello se usarán variables como la pendiente del terreno en cada punto y su area vertiente. La identificación del proceso dominante en la generación de escorrentía permite establecer un valor umbral del esfuerzo cortante generador del canal, a partir del cual se pueden identificar las zonas más susceptibles de sufrir acarcavamiento debido a cada proceso.

RESUMEN 1.18

ESTUDIO COMPARATIVO DE FORMACIÓN DE VOLÚMENES HÚMEDOS EN RIEGO LOCALIZADO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES EMISORES Y TIEMPOS DE RIEGO

Fibla Queralt, J.M. y Pastor Audí, J.

Estació Experimental de l'Ebre – Amposta (Tarragona). Institut de Recerca i Tecnología Agroalimentàries (IRTA). JMiquel.Fibla@irta.es

Con objeto de optimizar la eficiencia del agua de riego de las explotaciones citrícolas de la zona de Alcanar (Tarragona), en las que el sistema de riego utilizado mayoritariamente es el riego por goteo, se ha procedido al estudio y evaluación en campo de los diferentes volúmenes húmedos formados por 4 emisores de diferente caudal (1.6 l/h , 2.3 l/h, 3.5 l/h, y 8 l/h) utilizados durante cuatro tiempos de riego diferentes (1, 2, 3 y 6 horas) en un diseño experimental de cuatro repeticiones por emisor y tiempo de riego.

Teniendo en cuenta las características edafológicas de la parcela experimental, el marco de plantación más utilizado, el diseño comercial más frecuentemente instalado en la zona (doble lateral de riego con emisores integrados), un solape mínimo del 30% de superficie mojada, así como las necesidades hídricas máximas de una plantación adulta en la zona correspondiente al estudio; y después de valorar los volúmenes húmedos formados, los resultados obtenidos dan como conclusión que los emisores que mejor optimizan el agua de riego son:

1.- Emisor de 2.3 l/h con un tiempo de riego de 3 horas y con una separación entre emisores de aproximadamente 57 cm.

2.- Emisor de 3.5 l/h con un tiempo de riego de 2 horas y con una separación entre emisores de aproximadamente 66 cm.

RESUMEN 1.19

ESTIMACIÓN DE BALANCES HÍDRICOS Y LIXIVIACIÓN DE NITRATOS EN SISTEMAS AGRÍCOLAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SONDAS ENVIROSCAN

Arauzo, M.; Díez,J.A. y Hernaíz, P.

CSIC, Centro de Ciencias Medioambientales. Serrano 115, 28006 Madrid. mercedes@ccma.csic.es

Existe una gran preocupación por el aumento de la concentración de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas debido a la contaminación difusa derivada de fertilización nitrogenada en las prácticas agrícolas. La precisión en la dosificación y manejo de los fertilizantes y la optimización de los riegos deben contribuir a la minimización de los procesos de drenaje y, por tanto, a la reducción del aporte de lixiviados de nutrientes hacia las reservas de agua.El conocimiento de la dinámica del agua en el suelo y la realización de unos balances hídricos ajustados (evapotranspiración, drenaje, variaciones en la reserva de agua en el suelo) son, por tanto, aspectos indispensables para la dar una orientación sostenible a la gestión de los sistemas agrícolas.

En este trabajo se presenta una metodología para el cálculo balances hídricos en el suelo y la estimación de los procesos de lixiviación de nitratos hacia el acuífero, de especial aplicabilidad en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.Para la monitorización en continuo del agua en el suelo se han utilizado sondas Enviroscan, dotadas de sensores que, por conductancia, miden la cantidad de agua en el suelo a diferentes niveles de profundidad.

RESUMEN 1.20

MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL Y TELEMETRÍA PARA EL SEGUIMIENTO DE PROCESOS HIDROLÓGICOS EN UNA CUENCA FORESTAL DEL PARQUE NACIONAL DE GARAJONAY (LA GOMERA)

García Santos, G.; Regalado, C.M. y Ritter, A.

Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Dpto. Suelos y Riegos, Apdo. 60 La Laguna, 38200 Tenerife, España; Tfno: 922 476 343; Fax: 922 476 303; ggarcia@icia.es.

El conocimiento de la recarga natural de agua en el suelo es un prerrequisito para estimar los aportes y las pérdidas hídricas en la zona no saturada. Este estudio se lleva a cabo en una cuenca forestal de *laurisilva* situada en el Parque Nacional de Garajonay (La Gomera). La superficie total de la cuenca experimental es de 43,7 Ha, en la cual se miden las componentes hidrológicas y micrometeorológicas que forman parte del balance hídrico del suelo. Todas las medidas son monitorizadas en tiempo real y transmitidas vía GSM. Mediante la técnica de TDR (Time Domain Reflectometry) se estima el contenido de humedad del suelo a dos profundidades (5 y 30 cm) y en cuatro puntos distintos de la cuenca.

Con este trabajo se pretenden dos objetivos: 1) contrastar en condiciones de campo y laboratorio el uso del TDR para suelos forestales orgánicos; 2) cuantificar los "inputs" (precipitación de lluvia y aportes procedentes de la niebla) y estimar los "outputs" (evaporación, transpiración, escorrentía superficial y percolación) hídricos de la zona no saturada en una cuenca hidrológica forestal.

RESUMEN 1.21

EFECTOS GEOMÉTRICOS SOBRE LA PERMITIVIDAD EFECTIVA DEL AGUA EN MEDIOS POROSOS

C. M. Regalado

1Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Dpto. Suelos y Riegos, Apdo. 60 La Laguna, 38200 Tenerife, España; Tfno: 922 476 343; Fax: 922 476 303; cregalad@icia.es.

Métodos capacitivos y de reflectometría (TDR) hacen uso de las diferencias en permitividad del agua con respecto a la fase sólida del suelo (75 vs. 5) para estimar el contenido de humedad en la zona no saturada. El agua en el suelo se encuentra alojada en poros de geometría diversa (cilíndrica, esférica, elipsoidal, etc.) o adsorbida sobre la superficie de partículas minerales de formas y rugosidad variadas. Los efectos que la geometría de un medio poroso saturado infringe sobre la permitividad de la fase líquida son conocidos, aunque poco estudiados en el caso del suelo. En este trabajo se presenta un método sencillo, basado en medias ponderadas de la permitividad, que permite incluir efectos geométricos en el cálculo de la constante dieléctrica del agua. El modelo permite dar cuenta de geometrías regulares tales como esferas y cilindros. Se demuestra, por ejemplo, que la permitividad del agua adsorbida en poros esféricos se ve reducida en un 25% comparada con el valor teórico que se obtiene asumiendo una disposición plana (55 vs. 73). El modelo se generaliza a geometrías elipsoidales, que permitirían por tanto incluir efectos geométricos complejos en la estimación del contenido de humedad en el suelo.

RESUMEN 1.22

ESTIMACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL BALANCE HÍDRICO DEL MAIZ CULTIVADO EN UNA LLANURA MEDITERRÁNEA

Angel Utset[1*], Antonio Martínez-Cob[2]

1. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León
Apdo. 172, 47080 Valladolid, España
utssuaan@jcyl.es
* Participante en el Proyecto CLIMAG

2. Dpto. Genética y Producción Vegetal (EEAD), Lab. Asociado Agronomía y Medio Ambiente (DGA-CSIC), Apdo. 202, 50080 Zaragoza

Se estima el efecto del cambio climático en los componentes del balance hídrico de maíz bajo riego, cultivado en Zaragoza, durante el período 2001-2010. Las estimaciones se realizaron a través de la combinación de un generador de tiempo y un modelo agrohidrológico. Se consideraron series climáticas históricas, el manejo de riego tradicional y las propiedades hidráulicas del suelo del lugar, así como las previsiones del aumento de la temperatura y disminución de las precipitaciones para el Noreste de España. El generador de tiempo LARS-WG y el modelo agrohidrológico de base física SWAP fueron utilizados en el estudio. Las simulaciones señalan que el riego tradicional será suficiente para enfrentar el aumento de las necesidades hídricas del maíz en el período 2001-2010 y que la variabilidad de la transpiración no estará muy influida por la variabilidad de las lluvias, debido a la disponibilidad de riego. De la misma manera, las lluvias intensas podrían ocasionar pérdidas de agua por drenaje y una ligera reducción en la transpiración y por ende en los rendimientos. Se pone de relieve la utilidad de las técnicas empleadas para la toma de decisiones en cultivos bajo riego, teniendo en cuenta los futuros cambios climáticos.

RESUMEN 1.23

CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PROVINCIA DE VALLADOLID: VARIACIONES ESTACIONALES

C. Calvo Revuelta[1]; J. Alvarez-Benedi[1]; M. Andrade Benítez[1], P. Marinero Diez[1]; S. Bolado Rodríguez[2]

[1] Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Ctra Burgos, km 119, Valladolid.
alvbenja@jcyl.es
[2] Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Valladolid. Prado de la Magdalena s/n. 47005 Valladolid

En el año 2000 se detectan los primeros pozos con elevados niveles de As en la zona de Íscar (Valladolid). Estudios posteriores delimitan un área afectada de unos 1700 km^2, de forma triangular, con centro geográfico en Iscar. El agua de estos pozos se utiliza sobre todo para el riego de los cultivos de la zona pero en algunos casos también se emplea como agua de consumo. Los niveles de As encontrados resultan, en muchos casos, superiores a la concentración máxima admisible en aguas potables, según la Organización Mundial de la Salud. Los objetivos de este trabajo son: a.- Determinación del nivel de As en diferentes puntos de la zona afectada, con el fin de establecer la extensión del problema y seleccionar una serie de pozos (red de control) para el estudio de su evolución temporal, b.- Seguimiento de la evolución de la concentración de As en los pozos de la red de control a lo largo del tiempo. El muestreo inicial se llevó a cabo en 63 puntos situados en la zona afectada. El valor medio hallado fue de 38 µg de As/L (con valores máximos próximos a 200 µg/L). El 88 % de los pozos superaron la concentración de 10 µg/L y el 32 % superaron 50 µg/L. Casi un 10 % superó 100 µg/L. A partir de estos datos se seleccionaron 14 puntos de control, de los que se tomaron muestras mensualmente, desde junio de 2002 hasta julio de 2003. Durante el último año, no se detectaron diferencias significativas en la concentración en los diferentes meses, a pesar de que el nivel de agua en los pozos sí ha sufrido variaciones significativas. Se discute la relación entre la concentración de As y otros parámetros fisico-químicos, como son pH, potencial redox, conductividad, hierro y fósforo.

RESUMEN 1.24

EFECTO DE LA MODIFICACIÓN DEL pH SOBRE LA LIXIVIACIÓN DE CATIONES EN COLUMNAS DE SUELOS CALIZOS

J.C. Hernández[1], D.L. Orihuela[1], S. Pérez-Mohedano[2], L. Marijuan[2] y N.R. Furet[3]

[1] Universidad Politécnica Superior de La Rábida. Huelva. E-mail: orihuela@uhu.es
[2] Empresa Huntsman-Tioxide S.L. Madrid.
[3] ISCTN. La Habana. Cuba.

Los suelos calizos presentan un problema para algunos cultivos, ya que al tener un pH elevado provoca la aparición de clorosis férrica, y por consiguiente amarilleamiento foliar, disminución en la producción, etc. Para la corrección del pH de los suelos calizos estudiados se utiliza el Sulfato Ferroso Monohidratado. Este producto suele contener un elevado porcentaje de hierro (15-30%) y de ácido sulfúrico (18%), siendo estos sus dos componentes principales. El objetivo del siguiente trabajo es el estudio de la evolución de pH, CE, Ca++, Mg++, K+ y Na+ en aguas lixiviadas en columnas de distintos suelos calizos, tras la aplicación de Sulfato de Ferroso Monohidratado. De los datos obtenidos se podría concluir que estos suelos calizos deben su alto pH a sales del ión calcio que actúa dominando todo el proceso hidroquímico. El ión Mg++ no es cuantitativamente importante en estos suelos, poniendo de manifiesto, probablemente, que son las arcillas con un alto componente cálcico (calcitas) las que predominan en los procesos químicos e hidroquímicos que se den en estos suelos. Los iones tales como el K+ son prácticamente independientes de proceso establecido en esta investigación. A dosis altas de los tratamiento el ión monovalente que más se altera en sus lixiviados es el sodio, siendo desplazado de sus posiciones de adsorción a partir de un determinado punto de pH.

El uso de SFM no solo baja el pH, por lixiviados del Ca++ en suelos que lo tienen en exceso, sino que además no se afecta al proceso de intercambio de iones como el K+ necesario para una correcta alimentación de la planta.

RESUMEN 1.25

LIXIVIACIÓN DEL FE EN COLUMNAS DE SUELOS CALIZOS MEJORADOS CON SULFATO FERROSO MONOHIDRATADO (SFM)

J.C. Hernández[1], D.L. Orihuela[1], S. Pérez-Mohedano[2], L. Marijuan[2] y N.R. Furet[3]

[1] Universidad Politécnica Superior de La Rábida. Huelva. E-mail: orihuela@uhu.es
[2] Empresa Huntsman-Tioxide S.L. Madrid.
[3] ISCTN. La Habana. Cuba.

El hierro se encuentra en las soluciones del suelo en forma férrica o ferrosa que están en equilibrio**.** Estos equilibrios dependen de las condiciones redox, a veces de las condiciones microbianas, pero especialmente de las condiciones de pH.

No todos los suelos tienen un pH adecuado para mantener el Fe en forma soluble, por lo que los cultivos plantados en ellos presentan problemas sintomatológicos y carenciales que se conocen con el nombre genérico de "clorosis férricas". La corrección de este problema sigue una doble vía; o bien la aplicación directa de hierro al cultivo o la modificación del pH de los suelos. El objetivo del siguiente trabajo es el estudio de la estimación de las dosis necesarias de SFM para modificar temporalmente los niveles de hierro en suelos. Concluimos que 3.000 kg/ha serían un nivel adecuado para modificar este nivel de Fe en suelos calizos.

RESUMEN 1.26

DINÁMICA DE ADSORCIÓN – DESORCIÓN DE ARSÉNICO (V) EN SUELOS DE CULTIVO EN CASTILLA Y LEÓN

J. Álvarez-Benedí[1], S. Bolado Rodríguez[2], I. Cancillo Carro[2] , C. Calvo Revuelta[1]

[1] Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, Ctra. De Burgos Km. 119, Valladolid. alvbenja@jcyl.es.
[2] Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Valladolid. Prado de la Magdalena s/n, 47005 Valladolid.

Los procesos de adsorción-desorción de Arsénico en suelos de cultivo son de un interés primordial por la posible entrada de este elemento en la cadena alimenticia. En este trabajo se estudia la adsorción de la forma principal de Arsénico en condiciones naturales aireadas (arseniato) en tres suelos de cultivo. Un estudio cinético previo muestra que el proceso de adsorción es relativamente rápido en una primera fase, alcanzando un pseudoequilibrio en pocas horas. Las isotermas de adsorción dan cuenta de una fracción ligada irreversiblemente, hecho que concuerda con la elevada histéresis que se evidencia posteriormente en el proceso de desorción. La temperatura mostró un efecto relativamente pequeño en la isoterma en el intervalo 10 ºC a 25 ºC, aunque disminuyó sensiblemente la adsorción a 40ºC. Finalmente, se evaluó el efecto de la presencia de otros iones habituales en los escenarios productivos agrícolas, cuantificando el efecto en la isoterma de adsorción de arsénico. La presencia de fosfatos disminuyó sensiblemente la adsorción de arsénico (aumentando, por tanto, su biodisponibilidad), mientras que el nitrato tuvo el efecto contrario. La presencia de cloruros y sulfatos no mostró un efecto tan claro. Los valores obtenidos tras la modelización de los experimentos en este trabajo suponen la primera base para el establecimiento de futuras estrategias de producción en zonas con elevados contenidos de arsénico en las aguas de riego.

ÁREA 2: Aspectos metodológicos para la caracterización de la Zona no Saturada

RESUMEN 2.1

ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN EL SECTOR SEMIÁRIDO DE LA CUENCA DEL DUERO (ESPAÑA) A PARTIR DE LAS TÉCNICAS TDR Y ERS-SCATTEROMETER

Ceballos Barbancho, A.[1]; Martínez Fernández, J.[1]; Wagner, W.[2] y Scipal, K.[2]

(1) Departamento de Geografía. Universidad de Salamanca. Salamanca. España. ceballos@usal.es
(2) Institute of Photogrammetry and Remote Sensing. Vienna University of Technology. Vienna. Austria.

El objetivo general del presente trabajo es el estudio de la dinámica espacio-temporal de la humedad del suelo, mediante mediciones de campo aplicando la técnica *TDR*, y la posterior validación del *Soil Water Index* para estimar el contenido humedad a partir de la señal del satélite *ERS-Scatterometer*. Para ello se ha medido durante 21 meses (desde junio de 1999 hasta febrero de 2001) la humedad del suelo a intervalos quincenales en un conjunto de 20 estaciones de humedad repartidas en una superficie aproximada de 1.300 km2. Cada estación consta de 4 sondas TDR insertadas horizontalmente a 5, 25, 50 y 100 m de profundidad. De manera complementaria, se ha procedido a la medición de la textura, porcentaje de gravas, densidad aparente, contenido de materia orgánica y a la estimación de la curva de retención hídrica en cada uno de los cuatro niveles de las estaciones de medición de la humedad. Paralelamente, se ha procedido a la validación del *Soil Water Index*, índice que permite estimar el contenido de humedad para el conjunto del perfil edáfico, a partir del valor de humedad de los primeros 5 cm del suelo. Los resultados muestran un coeficiente de determinación significativo (R2 = 0,75), con una desviación cuadrática media igual a 2,2 % vol. La desviación entre ambas estimaciones puede explicarse por el efecto de la fracción textural del suelo sobre su capacidad de retención hídrica. A partir de los resultados obtenidos es posible abordar el estudio de la dinámica espacio-temporal de la humedad del suelo a escala regional en zonas similares a la utilizada para la validación.

RESUMEN 2.2

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA NO SATURADA EN UN BOSQUE MADURO DE LAURISILVA EN EL PARQUE NACIONAL DE GARAJONAY: HIDROFOBICIDAD E IMPLICACIONES HIDROLÓGICAS

Regalado, C.M.[1]; García Santos, G.[1]; Hernández Moreno, J.M.[2]; Pérez Buenafuente, A.[1] y Socorro, A.R.[1]

(1) Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Dpto. Suelos y Riegos, Apdo. 60 La Laguna, 38200 Tenerife, España; Tfno: 922476343; Fax: 922476303. cregalad@icia.es.
(2) Universidad La Laguna, Dpto. Edafología y Geologia, Ave. F. Sanchez, s/n, 38204 La Laguna Tenerife, España. jhmoreno@ull.es.

La hidrofobicidad de los suelos puede afectar las propiedades hidrológicas de la zona no saturada. En suelos repelentes al agua, la capacidad de infiltración se ve reducida en profundidad y las pérdidas de humedad aumentan debido a la escorrentía del flujo superficial y a procesos de evaporación. También es frecuente encontrar en estos suelos, flujos preferenciales o vías rápidas de agua por donde ésta infiltra con mayor rapidez, atravesando la zona no saturada del suelo.

El presente estudio determina la persistencia y el grado de hidrofobicidad potencial de suelos orgánicos procedentes de una cuenca hidrológica de 43,7 Ha situada en el Parque Nacional de Garajonay (La Gomera). La metodología seguida hace uso del test del tiempo de infiltración de la gota de agua (WDPT) y el test de la molaridad de la gota de etanol (MED), a distintos contenidos de humedad de suelo (θg). Se obtiene así un comportamiento hidrófobo no monotónico en el que la repelencia al agua aumenta hasta un valor máximo para luego decrecer a medida que θg disminuye. Se propone un modelo empírico al que se ajusta el conjunto de datos hidrofobicidad-θg obtenidos. Medidas de retención de humedad demuestran que los suelos se comportan como hidrófobos en el rango de agua útil para las plantas. Se investigan igualmente posibles correlaciones entre la hidrofobicidad de estos suelos y sus características físico-químicas, determinando contenidos en materia orgánica, pH y Al.

RESUMEN 2.3

USO DE UN MODELO BASADO EN EVENTOS PARA EVALUAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN UNA CUENCA DE PEQUEÑAS DIMENSIONES

Paz González, A.[1]; Díaz-Fierros Viqueira, F.[2]; Soto González, B.[3]; y López Periago, E.[3]

(1) Facultad de Ciencias. Universidad de la Coruña. 15.071. La Coruña. tucho@udc.es
(2) Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela. 15.782. Santiago.
(3) Facultad de Ciencias de Orense. Universidad de Vigo. 32.004. Orense.

Uno de los parámetros esenciales para simular la formación de excedente de agua y la erosión es la conductividad hidráulica del suelo, parámetro que presenta una amplia variabilidad espacial y temporal. Se estimó la conductividad hidráulica media a saturación (Ks) en una cuenca agrícola de 10.7 has de extensión localizada en O Abelar, provincia de A Coruña mediante modelización inversa, partiendo de datos experimentales de precipitación y caudal. El modelo usado, denominado LISEM (de Roo et al., 1996), es de tipo determinista, está basado en eventos y ha sido puesto a punto para calcular la erosión y la escorrentía; el hecho de que dicho modelo esté integrado en un sistema de información geográfico, permite la introducción de datos de entrada espacialmente distribuídos. Los datos de entrada incluían, entre otros, mapas de uso del suelo, porosidad inicial, n de Manning, índice de área foliar y porcentaje de cobertura vegetal. Se modelizaron ocho eventos registrados en la estación húmeda del período 1997-1998. El ajuste de la conductividad hidráulica efectiva se llevó a cabo mediante comparación de los datos de caudal observados y estimados, para lo que se utilizó como criterios el coeficiente de correlación, r^2, entre los mismos, el coeficiente de eficiencia CE, definido según los criterios de Nash y Sutcliffe (1970), además de los valores de caudal total y caudal punta; el valor de r^2 osciló entre 0.41 y 0.90, y en 5 de los ocho casos superó 0.75, mientras que el valor del coeficiente CE osciló entre 0.19 y 0.85. La conductividad media efectiva a saturación estimada osciló entre aproximadamente 2,5 y 8,5 mm/h. Los resultados de Ks son del mismo orden de magnitud que los medidos directamente en suelos de similares características y ponen de manifiesto que lluvias de intensidad baja o moderada pueden ser suficientes para originar un excedente de agua.

Bibliografía

De Roo, A.P.J., Jetten, V.G., Wesseling, C.G. & Ritsema, C.J. (1996): lisem: A physically-based hydrological and soil erosion model incorporated in a GIS; IAHS Publication 235, 395-403.

Nash J.E. & Sutcliffe, J.V. (1970): River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles; Journal of Hydrology 10 (3), 282-290.

RESUMEN 2.4

VALIDACIÓN DEL USO DE FUNCIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES HIDRODINÁMICAS DE LOS SUELOS EN UNA CUENCA EXPERIMENTAL (VALLCEBRE, ALT LLOBREGAT)

Rubio, C. y Llorens, P.

Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera". Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. crubio@ija.csic.es

En las últimas décadas, se han desarrollado numerosos métodos para determinar las propiedades hídricas de los suelos en el campo y en el laboratorio. Generalmente, estas metodologías requieren de una elevada inversión económica y/o de tiempo debido a la gran variabilidad espacial de dichas propiedades. Por estos motivos, se han desarrollado las funciones de edafotransferencia, FETs, como método de estimación de propiedades hidrodinámicas a partir de propiedades edáficas de más fácil determinación. El objetivo de este trabajo es, evaluar y validar el uso de FETs, concretamente del modelo Rosetta (Schaap et al., 2001), para estimar parámetros hidráulicos de los suelos del área de estudio. El modelo *Rosetta,* es una herramienta útil en la predicción de propiedades hídricas de los suelos, sobretodo en los casos donde existe una escasez de datos de los diferentes parámetros hidrodinámicos. A partir de muestras inalteradas, se han realizado curvas experimentales caracterísiticas de la humedad utilizando el método del recipiente de tensión hídrica para los potenciales mátricos entre saturación y 20.0 kPa y el método de la membrana a presión para los potenciales entre 100 kPa y 1500 kPa. Paralelamente se han determinado las propiedades físicas de los suelos que se utilizan como variables de entrada en el modelo Rosetta: las fracciones texturales y la densidad aparente. La evaluación de los resultados preliminares aporta elementos interesantes que parecen confirmar la utilidad de este tipo de aproximación.

RESUMEN 2.5

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN LADERAS MEDIANTE EL USO DE INFILTRÓMETROS DE MINIDISCO A LO LARGO DE UN GRADIENTE PLUVIOMÉTRICO MEDITERRÁNEO

Ruiz Sinoga, J.D.; Martinez Murillo, J.F.; Marquez Carrero, J.; Gallegos Reina, A.; Noguera Robles, Mª.J.; Romero Lopera, A. y Lucas Santamaría, B.

Departamento de Geografía. Universidad de Málaga. sinoga@uma.es

Son diversos los métodos utilizados para estimar la conductividad hidráulica del suelo. En esta investigación presentamos los resultados obtenidos mediante el uso del método propuesto por Zhang (1997), basado en la determinación del volumen de infiltración acumulado por unidad de tiempo, y su ajuste a la función:

$$I = (C1t + C2\sqrt{t})$$

Las estimaciones fueron realizadas mediante el uso de infiltrómetros de minidisco. Se trata de un infiltrometro cerrado que mide la infiltración bajo una carga hidráulica negativa, de forma que el agua contenida en su interior, una vez en contacto con el suelo, está a una presión inferior a la atmosférica siendo la carga hidráulica negativa, con lo que el suelo se comporta como un medio poroso hidrofilico. Además, permite que el aire que esta contenido en los poros, dependiendo del tipo de tensión del infiltrómetro, fluya hacia el exterior, evitando el efecto de la contrapresión ejercido por otro tipo de infiltrometros, así como vías de flujo preferencial a través de los macroporos, perjudiciales para la matriz del suelo.

Los análisis se han realizado en tres laderas características, de litología metamórfica, en la cuenca Sur de España, a lo largo de un gradiente pluviométrico que oscila entre los 600 a los 300 mm/año, y cuyo aprovechamiento actual es el matorral. A lo largo de las mismas se realizaron experimentos cada 6 m, así como replicas a 2,5 m a izquierda y derecha de los anteriores, estableciendo por tanto una retícula de 6 x 2,5 m. En cada uno de los vértices de la retícula se realizaron 3 experimentos a diferentes tensiones, -0.5, -2, y -6 cm. Asimismo, fueron tomadas muestras de suelo a fin de determinar la textura en cada uno de dichos puntos.

Todo ello, nos ha permitido mostrar también, mediante el uso del método kriging, la variabilidad espacial de la conductividad hidráulica entre e intra laderas.

RESUMEN 2.6

ANÁLISIS DEL MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA DE UN SUELO CON EL MÉTODO DE PHILIP-DUNNE

Rodríguez, D.[1]; Díaz, J.C.[2] y Giráldez, J.V.[3]

(1) Fac. of Eatrh Sciences, Univ. of Utrecht, Budapestlaan 4, 3584 CD Utrecht, Holanda. aguilera@geo.uu.nl
(2) Dpto. de Matemáticas, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba. ma1dialj@uco.es.
(3) Dpto. de Agronomía, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba. ag1gicej@uco.es.

En 1993 John Philip propuso un método sencillo para estimar la conductividad hidráulica saturada de un suelo basado en la infiltración tridimensional del agua descargada desde un tubo cilíndrico en un proceso transitorio, cuyo uso había iniciado Thomas Dunne (Water Resour. Res. 29:3763-8). Para simplificar el problema Philip supuso que el modelo simplificado de Green y Ampt era válido extendido a tres dimensiones con simetría aproximadamente esférica. La aplicación de este método en ensayos de campo ha dado resultados satisfactorios, aunque existen discrepancias sobre la forma de estimar el valor de la conductividad hidráulica saturada y no se conocen las condiciones recomendables de uso.

En este trabajo se analiza la validez de la aproximación de Philip partiendo de la ecuación completa de Richards integrada numéricamente, estimando el grado de error y los intervalos de aplicación aceptable

RESUMEN 2.7

APPARATUS FOR EVALUATION OF HYDRO-MECHANICAL BEHAVIOUR OF POROUS MEDIA

Rodríguez-Pacheco, R.L.; Candela, L. and Lloret, A.

Department of Geotechnical Engineering & Geosciences. School of Civil Engineering-UPC. Gran Capitán s/n, Edif. D-2. Barcelona 08034, Spain. roberto.rodriguez-pacheco@upc.es

A column for performing hydro-mechanical test under different environmental conditions was designed and constructed. It is possible to use it for tests in saturated or unsaturated conditions with different porous materials. The equipment basically consists in an automatic system for the observation of the hydro-mechanical behaviour of a porous media and it has three components: Physical parts, an electronic interface and a control system with an automatic register.

The experimental results demonstrated that the apparatus is capable of measuring surface suction, vertical shrinkage, temperature, relative humidity, change in the water content at different points in the sample and evaporation. Under such conditions, the performance of the equipment was excellent showing that is possible to increase or reduce the size of the sample and change the different parameters according to the aim of the tests. The apparatus was used to develop a study of flow and transport of solutes in saturated and unsaturated conditions.

RESUMEN 2.8

MEDIDA DEL MICRORRELIEVE DE LA SUPERFICIE DEL SUELO A DIFERENTES ESCALAS

Vidal Vázquez, E. y Paz González, A.

Edafología y Q. Agrícola. Facultad de Ciencias. A Zapateira. 15.071. Coruña.
tucho@udc.es

El microrrelieve de la superficie del suelo interviene en el intercambio de aire entre el suelo y la atmósfera, la evaporación y el contenido hídrico, las propiedades térmicas y el balance energético y la distribución del tamaño de agregados. Así mismo, la rugosidad de la superficie influye considerablemente en el reparto de agua de lluvia entre infiltración y escorrentía. El almacenamiento temporal de agua en las pequeñas depresiones que se forman entre agregados y terrones es un parámetro importante para la modelización de procesos erosivos.

En este trabajo se revisan las técnicas disponibles para caracterizar la microtopografía del suelo, poniendo particular énfasis en las diferencias entre métodos destructivos o de contacto y telemétricos, en cuanto a la resolución de medida y destacando la indudable ventajas de los segundos para analizar la evolución de superficies de cultivo inducida por la precipitación. Se ilustra la necesidad de tener en cuenta el efecto del cambio de escala para comparar los resultados de ambos métodos.

Como ejemplo de aplicación, se estudia el efecto del contenido hídrico inicial sobre la evolución de la microtopografía de un lecho de siembra bajo la acción de lluvia simulada, tras caracterización mediante rugosímetro laser. Para ello, se establecieron dos condiciones iniciales diferentes, suelo seco y húmedo, lo que permitió evaluar la importancia relativa de dos de los principales mecanismos de desagregación, estallido por aire ocluido e impacto de la gota de lluvia, sobre el desmoronamiento del microrrelieve de la superficie original. Las sucesivas medidas con rugosímetro laser permitieron comprobar la mayor velocidad de evolución de la superficie inicial seca, como consecuencia de la acción del aire atrapado; dicha evolución degradativa se expresó cuantitativamente en términos de disminución de la rugosidad aleatoria. Además, se evaluó la acción de la precipitación sobre el almacenamiento temporal de agua en las depresiones de la superficie, para lo que se utilizaron modelos de elevación digital del microrrelieve.

RESUMEN 2.9

AJUSTE METODOLÓGICO EN LA MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA EN SUELOS VERTISOLES Y ENTISOLES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA MEDIANTE EL PERMEÁMETRO DE GUELPH

Díaz, E.; Duarte, O., Cerana, J. y Fontanini, P.

Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. edíaz@fca.uner.edu.ar, oduarte@fca.uner.edu.ar, jcerana@fca.uner.edu.ar, pfontanini@uol.com.ar.

La determinación de los parámetros hidráulicos en suelos de texturas extremas, arcillosas y arenosas, presentan problemas de difícil resolución. Dentro de las propiedades hidráulicas del suelo interesa conocer muy particularmente la *"conductividad hidráulica saturada"* (Kfs) para condiciones de campo.

El objetivo del presente trabajo es ajustar la metodología de medición del permeámetro de Guelph en dos situaciones contrastantes: suelos de textura fina, Vertisoles y textura gruesa Entisoles en la Mesopotamia de la República Argentina. En los primeros, la Kfs fue medida por medio de 44 ensayos en suelos de las provincias de Entre Ríos y Corrientes, mientras que para la segunda situación (Entisoles) se efectuaron 10 determinaciones. Además, se analizan los problemas operativos encontrados "in situ": resultados negativos de Kfs, insuficiente carga hidráulica en situaciones de alto contenido hídrico en el suelo, sellado con lodo en la salida de agua del permeámetro y preparación del orificio.

Los valores obtenidos de Kfs en Entisoles presentaron un mínimo de 1,57 mm h^{-1} en las texturas franco arenosas y un máximo de 108,07 mm h^{-1} en las texturas arenosas. En los Vertisoles los valores se ubicaron entre 0,009 mm h^{-1} y 0,66 mm h^{-1} en texturas franco arcillo limosas. Por lo tanto, se considera que la adopción del Permeámetro de Guelph como una herramienta de uso estándar y adaptable a distintas situaciones edaficas, que permite cuantificar el valor de Kfs en función de la variación de la textura de los suelos.

RESUMEN 2.10

ZONIFICACIÓN DE LOS SUELOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA HÍDRICA DEL PARQUE NATURAL DE "EL HONDO" EN FUNCIÓN DE LA SALINIDAD

Ayguadé, H.; Navarro-Pedreño, J.; Guerrero, C.; Gómez, I.; Mataix, J.

Div. Edafología y Química Agrícola. Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández de Elche. Avenida del Ferrocarril s/n. E-03202 Elche (Alicante), Spain. h.ayguade@umh.es

El estudio se ha llevado a cabo en suelos agrícolas del Sur de Alicante (100 muestras) situados en la cuenca de drenaje de aguas que pueden afectar al Parque Natural de "El Hondo".

Estos suelos agrícolas presentan una doble problemática: la escasez de agua para riego, y la mala calidad de la poca disponible. Los azarbes son cauces adonde van a parar los sobrantes o filtraciones de los riegos, es por ello, que la calidad del agua estará determinada, entre otros factores, por el estado de los suelos, que pueden suponer una importante fuente de contaminación. El principal problema que presentan estas aguas es una gran cantidad de sales en disolución, desaconsejándose en ocasiones, su reutilización agrícola.

El objetivo de este estudio es establecer correlaciones entre los cationes mayoritarios presentas en el suelo (Ca, Mg, Na y K) y la conductividad eléctrica del mismo, con el fin de determinar zonas en las que el suelo pueda incorporar preferentemente uno u otro catión al agua. Además se elaboraron mapas empleando un Sistema de Información Geográfica (Geomedia Profesional 5.0), con la finalidad de tener una visión global de las características de la zona e identificar los puntos que pudieran ser más conflictivos. Previamente los puntos de muestreo fueron localizados geográficamente mediante el empleo de GPS.

La conductividad eléctrica se ha determinado en extracto acuoso 1/5 empleando un conductímetro, expresándose los resultados en dS/m a 25ºC.

Para estimar el contenido en cationes se utiliza una extracción con acetato amónico 1N a pH 7. La determinación se realiza mediante espectroscopía de absorción atómica para el Ca y Mg, y de emisión atómica para el Na y K.

El catión más abundante en casi todas las muestras de suelo es el Ca, a pesar de ello, se observa que el catión más correlacionado con la conductividad eléctrica es el Na. Esto indica que los suelos analizados pueden aportar importantes cantidades de Ca y Na a las aguas, incrementando sus conductividades eléctricas, y provocando que su reutilización agrícola sea, en ocasiones, muy limitada.

RESUMEN 2.11

CARACTERIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE SOLUTOS EN SUELOS VOLCÁNICOS AGRÍCOLAS MEDIANTE TDR Y SIMULACIÓN INVERSA

Ritter, A.[1]; Muñoz-Carpena, R.[2]; Regalado, C.M.[1] y Socorro, A.R.[1]

(1) Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), Apdo. 60, 38200 La Laguna (Spain). aritter@icia.es
(2) TREC-IFAS, Agricultural and Biological Engineering Dept. University of Florida, 18905 SW 280 St., Homestead, FL 33031 (USA).

Los suelos volcánicos presentan propiedades particulares que pueden afectar a la distribución de agua y solutos en el suelo. Aplicando una técnica avanzada de análisis de la señal de TDR (Time Domain Reflectometry) es posible estimar la concentración de un soluto salino y por tanto obtener las curvas de ruptura automáticamente. Esta técnica se utiliza en un experimento de desplazamiento de Br^- en una columna de suelo inalterado de grandes dimensiones, instrumentada con sondas TDR a distintas profundidades. A partir de la concentración residente de Br^- y empleando técnicas de optimización inversa se estiman los parámetros de transporte en este suelo volcánico. Bajo el régimen de humedad contemplado, el desplazamiento del soluto resulta principalmente por convección y el frente abruto que presentan las curvas de ruptura sugiere un desplazamiento rápido de los solutos a través del perfil. En consecuencia, el potencial contaminante de productos agroquímicos aplicados a estos suelos volcánicos se espera que sea mayor. Se observa también cierta retención de bromuro en la base del monolito que puede explicarse por fenómenos de eluviación y acumulación de arcillas en la parte baja del perfil. En suelos volcánicos, estos minerales tienen carga variable, y bajo determinadas condiciones de pH y de fuerza iónica, su superficie puede presentar capacidad de intercambio aniónico.

RESUMEN 2.12

PRIMEROS RESULTADOS DE COMPORTAMIENTO DE UN MEDIDOR CUALITATIVO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Prieto Ortiz, C.; Giráldez Cervera, J.V. y Llanos Triviño, I.

Dpto. suelos y riego. Centro de Investigación y Formación Agraria.
ignacio.llanos@juntadeandalucia.es

Se ha desarrollado un equipo capaz de medir la escorrentía superficial de forma cuantitativa y cualitativa. En este trabajo se presentan los primeros resultados de su comportamiento. El muestreo se ha realizado sobre la escorrentía total de un sector acotado de 50 m^2 con pendiente del 18% y vegetación espontánea con cobertura 100%. Un colector recoge el vertido y lo conduce a un contador de tipo basculante. Un vuelco de cada dos se recoge en un colector de fracción (7%) y se conduce al muestreador cualitativo que almacena muestras de 200 cc.. El número inicial de muestras está limitado a 16. Todo el sistema se controla por un PLC.

RESUMEN 2.13

CALIBRACIÓN DE UNA SONDA DE CAPACITANCIA EN SUELOS ARGIUDOLES DE LA ZONA CENTRAL DE LA PROVINCIA DE BS. AS., ARGENTINA

Weinzettel, P. y Usunoff, E.[1]

(1) Instituto de Hidrología de Llanuras, Rep. de Italia 780, 7300 - Azul, Bs. As., Argentina. paw@faa.unicen.edu.ar

Se presentan los resultados obtenidos durante la calibración de una sonda de capacitancia (Troxler, modelo Sentry 200 AP) en suelos Argiudoles típicos en la zona central de la provincia de Buenos Aires.

La sonda de capacitancia ha sido diseñada para realizar mediciones de humedad en suelo mediante la instalación de un caño de acceso que permite la realización de mediciones cada 10 cm de profundidad.

En este trabajo se muestra la metodología utilizada para su calibración en campo, mediante la confección de diferentes curvas de ajuste, y se comparan los resultados obtenidos con respecto a las curvas provistas por el fabricante para diferentes texturas. Los coeficientes de determinación entre los valores medidos con la sonda y aquellos determinados a partir de la toma de muestras del suelo variaron entre 0.62 y 0.92.

El tipo de instalación varió según el suelo estudiado, en algunos casos se realizó el hincado del caño mediante la perforación de un pozo de menor diámetro que el caño de acceso y en otros casos se perforó con una pequeña máquina rotativa colocando el caño y rellenando el reducido espacio anular con el mismo material extraído. La utilización de máquina rotativa se debió a la presencia de costras calcáreas muy tenaces y muy comunes en la zona denominada localmente "tosca".

Se ha notado que la sonda de capacitancia es muy práctica para la determinación de la humedad, pero hay casos en que ha sido muy difícil de calibrar, especialmente debido a la características de los suelos, con alto porcentaje de arcilla y con la presencia de tosca, más que por el método de instalación del caño de acceso.

Para determinados casos se ha notado una muy buena correlación entre las determinaciones realizadas con la sonda y las determinadas aplicando la curva de fábrica, especialmente para texturas más gruesas.

RESUMEN 2.14

EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA DEL HINCHAMIENTO EN SUELOS VOLCÁNICOS CULTIVADOS Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS

Armas Espinel, S.[1], Hernández Moreno, J.M.[1] y Regalado, C.M.[2]

(1) Universidad La Laguna, Dpto. Edafología y Geologia, Ave. F. Sanchez, s/n, 38204 La Laguna Tenerife, España; jhmoreno@ull.es.
(2) Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Dpto. Suelos y Riegos, Apdo. 60 La Laguna, 38200 Tenerife, España; cregalad@icia.es.

El estudio de los procesos de hinchamiento y retracción de los suelos es importante en la zona no saturada, considerando que muchas de sus propiedades físicas e hidráulicas, como la capacidad de retención de humedad, movimiento de agua y solutos, presencia de flujo preferencial, etc., se ven afectadas con estos cambios de volumen. La importancia de los fenómenos de hinchamiento y retracción en suelos volcánicos depende, entre otros, del contenido y tipo de arcilla (alofana), prácticas agronómicas y manejo (desecación, calidad del agua de riego). En este trabajo se seleccionaron una serie de suelos con distinto carácter ándico y condiciones de manejo diferentes. La curva de hinchamiento (volumen *vs.* contenido en humedad) se obtuvo midiendo los cambios de volumen según el principio de Arquímedes, a medida que agregados de suelo, previamente impregnados en neopreno, se secaron al aire. Los distintos grados de hinchamiento obtenidos se relacionaron con la composición mineralógica y propiedades físico-químicas (contenido en arcilla, capacidad intercambio catiónico, materia orgánica, contenido en Na, retención de humedad, etc.) de los suelos, con el objeto de identificar qué variables tienen mayor influencia sobre los procesos de hinchamiento de suelos volcánicos cultivados.

RESUMEN 2.15

MEDIDA DE LA SORTIVIDAD DEL SUELO CON EL PERMEÁMETRO DE PHILIP-DUNNE

Regalado, C.M.[1], Álvarez Benedí, J.[2] y Muñoz Carpena, R.[3]

(1) Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Dpto. Suelos y Riegos, Apdo. 60 La Laguna, 38200 Tenerife, España; Tfno: 922 476 343; Fax: 922 476 303; cregalad@icia.es.
(2) Instituto Tecnológico Agrario, Junta de Castilla y León, Apdo. 172, 47080 Valladolid, javier@iq.cie.uva.es.
(3) TREC-IFAS, Agricultural and Biological Engineering Dept. University of Florida, 18905 SW 280 St., Homestead, FL 33031 (USA), carpena@ufl.edu.

Junto con la conductividad hidráulica (Ksat), la sortividad (*S*) es uno de los parámetros relevantes en el estudio de la zona no saturada del suelo. Ambos parámetros pueden estimarse mediante los permeámetros de Guelph y Philip-Dunne, conocido el incremento de humedad producido en el suelo y los tiempos de infiltración. El permeámetro de Guelph presenta limitaciones importantes, en tanto que genera un alto número de valores negativos de Ksat. El infiltrómetro de Philip-Dunne se presenta por tanto como una alternativa sencilla para la medida de Ksat y *S*. Previos trabajos han demostrado la utilidad del permeámetro de Philip-Dunne para la estimación de Ksat, sin embargo su potencial como método de medida de la sortividad ha recibido menor atención. En este estudio se investigan las posibilidades del método de Philip-Dunne para estimar *S*, como son las condiciones de frontera que limitan el espacio de búsqueda de soluciones con significado físico, y los factores de forma utilizados en el análisis de Philip para reducir a una dimensión el flujo tridimensional de agua en el suelo, analizando la sensibilidad del método.

RESUMEN 2.16

SISTEMA PASIVO MULTINIVEL PARA LA OBTENCIÓN DE PERFILES DE LA FASE GASEOSA DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EN LA ZONA NO SATURADA

Daniel Ronen[1], Yael Laor[2] y Ellen R. Graber[3]

(1) Research Department, Israel Hydrological Service, and Ben-Gurion University of the Negev, The Jacob Blaustein Institute for Desert Research, Department of Environmental Hydrology & Microbiology, Sede Boker Campus 84990, Israel danronen@bgumail.bgu.ac.il .
(2) Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, Agricultural Research Organization, Newe Ya'ar Research Center, P.O.B. 1021 Ramat Yishay 30095, Israel.
(3) Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, The Volcani Center, Agricultural Research Organization, P.O.B 6, Bet-Dagan, Israel, 50250.

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs; por ejemplo tricloroetileno, tetracloroetileno, benzeno) que penetran la zona no saturada, por derrames o volatilización de aguas subterráneas contaminadas, pueden ser transportados en fase gaseosa creando amplias plumas de contaminacion en la zona no saturada. Para estimar correctamente los flujos de estos gases y comprender los mecanismos de transporte de los mismos, a través de la zona no saturada y a través de la interfase entre la zona no saturada y la zona saturada (SUIR), es importante obtener datos sobre la distribución de concentraciones de la fase gaseosa de los COVs. Los métodos existentes de muestreo, activos y pasivos, no son lo suficientemente precisos para explorar la SUIR, donde el contenido de agua es extremadamente variable en función de la profundidad, razón por la cual la distancia vertical entre las muestras obtenidas debe ser extremadamente pequeña. El objetivo de este estudio es demostrar el uso de un sistema pasivo multinivel (SiMuNi) para obtener perfiles detallados de gases (de COVs) en sedimentos no saturados. El SiMuNi esta compuesto por una cadena de células de diálisis de acero inoxidable (volumen 150 mL; distancia entre celulas 6 cm) aisladas unas de las otras. Las células estan llenas de agua destilada y están cerradas en ambos extremos mediante membranas permeables. El muestreo de gases es el resultado del equilibrio pasivo entre la fase gaseosa de la zona no saturada y el agua en las células. Mediante el uso de tricloroetileno (TCE) como compuesto modelo en el laboratorio, y después de calcular empíricamente el tiempo de equilibrio (aproximadamente 50 h), se demostró que el perfil de concentraciones de TCE obtenido mediante el SiMuNi dentro de un filtro de pozo introducido en un tanque experimental de 210L era similar al perfil de concentraciones obtenido mediante células de diálisis enterradas en sedimentos no saturados que rodeaban el filtro en el tanque. Los perfiles de campo obtenidos con el SiMuNi en la SUIR de un acuífero granular freático contaminado por COVs (profundidad del agua subterránea 17 m) demostró la existencia de perfiles de TCE con gradientes muy pronunciados (hasta 1,119 µg TCE/L-aire/cm) y variaciones temporales de concentraciones máximas entre 44,000 µg TCE/L-aire a 124,000 µg TCE/L-aire en aproximadamente 3 meses. Perfiles como los obtenidos por el SiMuNi presentan información detallada, y hasta hoy dia inaccesible, en lo referente a cambios espaciales y temporales de fases gaseosas en la zona no saturada y en el SUIR.

RESUMEN 2.17

EVALUACIÓN DE UNA SONDA FDR PARA LA ESTIMACION DE LA EVOLUCION DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO Y PARA EL CONTROL DE RIEGOS EN OLIVAR.

Hidalgo, J.[1]; Hidalgo, J. C.[1]; Pastor, M.[2]

(1) Ingeniero Agrónomo. Servicio de Asesoramiento al Regante. Caja Rural de Jaén.
(2) Dr. Ingeniero Agrónomo. Dpto. Suelos y Riegos. CIFA Córdoba. DGIFA. CAP Junta de Andalucía.

La metodología para programación de riegos basada en el balance de agua es la utilizada tradicionalmente para los cultivos, pero requiere de calibración local. Existe una gran incertidumbre por no conocer la influencia de cada componente del balance, tales como evapotranspiración de referencia, coeficiente de cultivo, coeficiente reductor para cultivos donde no hay cobertura completa y precipitación efectiva. Para evaluar la metodología del balance de agua, el método más directo sería poder determinar la evolución del contenido de agua en el suelo, pero a nivel práctico ello entraña una gran dificultad.

Hay diferentes métodos de medida del contenido de agua en el suelo: gravimetría, sonda de neutrones, sonda TDR, y sonda FDR, entre otros. Cada método plantea una serie de ventajas e inconvenientes.

La gravimetría es un método sencillo y muy fiable, sin embargo su mayor inconveniente es que se trata de un método destructivo, con lo que no se puede realizar un seguimiento a lo largo del tiempo para un mismo punto. Entre los métodos no destructivos los más utilizados son sonda de neutrones y TDR (time domain reflectometry). La sonda de neutrones permite hacer un seguimiento a lo largo del tiempo con unos muy buenos resultados, aunque exige una calibración local y de la sonda utilizada. También presenta una serie de inconvenientes, relacionados con riesgos radioactivos que obligan a disponer de permisos de circulación, acondicionamiento de vehículos, acondicionamiento de lugar de conservación y cursos de manipulación especiales para personal, etc.

Otros métodos se basan en la correlación existente entre la constante dieléctrica del medio (ka) y la humedad del suelo, en campos electromagnéticos con diferentes frecuencias. Desde hace 30 años se han desarrollado dos métodos de medida TDR y capacitancia.

La constante dieléctrica del suelo puede ser medida por la capacitancia. El sistema Enviroscan (Sentek PTY, Australia) consiste en sondas multisensores que miden el contenido de humedad en suelo mediante capacitancia, donde cada sensor actúa como parte de un capacitor en el cual los dipolos permanentes de las moléculas de agua en un medio dieléctrico se polarizan y alinean en un campo eléctrico. Esta empresa autraliana también ha desarrollado una sonda móvil con un único sensor que actúa de la misma manera (Diviner 2000) que permite un mayor número de puntos medidos con un precio mucho más asequible.

El aparato es suministrado con una calibración estándar realizada en suelos ligeros de Australia, y el mismo fabricante recomienda realizar una calibración para cada tipo de suelo.

Se ha realizado una calibración de la sonda en un suelo destinado al olivar en la provincia de Jaén. El suelo se ha clasificado como Regosol vértico según la clasificación de la FAO, tiene una profundidad media de 110 cm. El contenido de arcillas, limo y arena son 52, 41 y 7% respectivamente, con un contenido en carbonato cálcico del 35%. El suelo es muy uniforme en toda la superficie y la pendiente es prácticamente nula.

Se instalaron específicamente 13 tubos de acceso a sonda FDR para realizar la calibración del aparato en una superficie total de unos 20 m2, determinando la humedad volumétrica junto al punto de medida y en cada momento de muestreo, tomando muestras inalteradas para las tres profundidades a lo largo de todo el año, abarcando de este modo un amplio rango de humedad de suelo (entre 9 y 32 cm3.cm-3).

Además, durante un año se han tomado datos con la sonda Diviner 2000 en 30 tubos de acceso a sonda, colocados entre líneas de olivos en una parcela de aproximadamente una hectárea. Se observa una elevada variabilidad en las medidas, que se reduce cuando se utilizan los coeficientes específicos para el suelo obtenidos de la calibración realizada.

Los datos obtenidos nos hacen ser muy cautos a la hora de recomendar la utilización de esta sonda para realizar medidas cuantitativas precisas del contenido de agua en el perfil, tarea para la que la sonda de neutrones o el método gravimétrico nos parecen mucho más adecuados. Sin embargo, este instrumento nos parece muy útil para control del riego (evitar las pérdidas de agua en profundidad, por ejemplo), así como para documentar la extracción de agua por las raíces a unas determinadas profundidades, cometidos para los que este tipo de sonda parece muy adecuada.

RESUMEN 2.18

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA CAPA ARABLE DEL SUELO EN ZONAS SEMIÁRIDAS

J. Gutiérrez-Ravé Caballero1, J. Párraga Martínez1, J. L. Díaz Hernández2

[1] Dpto. de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada, C/ Campus Universitario de Cartuja s/n, 18071 Granada jparraga@ugr.es

[2] Centro de Investigaciones Agrarias, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Camino de Purchil s/n, Apdo. 2027, 18080 Granada, josel.diaz@juntadeandalucia.es

La restauración ecológica en áreas degradadas mediterráneas, debe tener presente la disponibilidad del recurso agua en el suelo. La determinación de humedad por dispersión de neutrones afecta a volúmenes importantes de suelo, lo que confiere a estas medidas gran representatividad. Generalmente las calibraciones se realizan de modo uniforme para cada área, sin considerar los horizontes conflictivos (por ejemplo, en la subcapa 0–10 cm, la ventaja del método de lectura se torna en incertidumbre por quedar parte de la esfera de influencia al aire). El objetivo es conocer por un lado, si se aprecian diferencias en la determinación de la humedad de la capa arable (0-40 cm) y por otro, si interesa realizar calibraciones especificas para cada una de las subcapas.

Se escogió como área de trabajo el barranco del Aljibe (Depresión de Guadix, Granada), terrenos agrícolas abandonados que han soportado una notable presión antrópica, y han podido perder su horizonación original. Se realizaron 42 sondeos, extrayendo 4 muestras de la capa arable (cada 10 cm) a las cuales se les determinó la humedad gravimétrica (referida a tierra fina). Las lecturas de sonda se realizaron inmediatamente después de extraer las muestras, a los mismos intervalos de profundidad.

El conjunto de datos obtenidos se sometió a depuración detectándose algunos *outliers* y en la nube de puntos (humedad–lectura) se observaron dos tendencias: lecturas más bajas (0-10 cm) y el resto de lecturas de la demás profundidades. Se ensayaron distintos ajustes para cada una de las subcapas de la capa arable, siendo los lineales los más fiables. La tendencia que define la subcapa más superficial es netamente distinta de las demás, que adoptan directrices paralelas debido a su progresivo aumento del contenido de humedad con la profundidad. Por tanto, se pueden englobar las ecuaciones de tendencia paralela en una sola ecuación (10–40 cm), y realizar para el horizonte superficial un proceso de calibrado específico.

ÁREA 3: Variabilidad espacial y cambios de escala

RESUMEN 3.1

APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN UNA PEQUEÑA CUENCA DE DRENAJE. ESTUDIOS PRELIMINARES

Marco Maneta y Susanne Schnabel

Grupo de Investigación Geoambiental. Dpto Geografía y OT. Área Geografía Física. Universidad de Extremadura. Avda Universidad s/n 10071Cáceres. maneta@unex.es

La distribución espacial de la humedad del suelo se ha realizado tradicionalmente mediante técnicas de interpolación o mediante métodos geoestadísticos a partir de valores de humedad medidos puntualmente. Los valores interpolados son casi siempre función exclusiva de los valores vecinos conocidos. En el método propuesto, se considera que el contenido de humedad del suelo en cuencas semiáridas es en gran medida explicado por factores topográficos locales tales como curvaturas horizontales y verticales, factores topográficos de entorno tales como el índice topográfico ln(a/tan(b) y por la vegetación. De esta manera, y a diferencia de las interpolaciones clásicas, se tienen en cuenta factores que rompen el principio de autocorrelación espacial tales como cambios bruscos en los usos del suelo.

Ninguno de los factores anteriormente mencionados es por si solo capaz de explicar la variación espacial de la humedad del suelo de manera satisfactoria, sin embargo si pueden hacerlo parcialmente de forma combinada. Se ha podido ver en este estudio preliminar que la interrelación entre estos factores es de una forma compleja que no se ajustan correctamente a modelos lineales de regresión múltiple.

Nuestra propuesta trata de demostrar mediante este estudio preliminar que es posible realizar una predicción razonable de la distribución espacial de la humedad edáfica superficial, estudiar sus patrones espaciales y contrastar la importancia de cada variable a partir de un número limitado de mediciones mediante el uso de redes neuronales artificiales multicapa de tipo *feedforward* con aprendizaje mediante mecanismos de retropropagación del error utilizando principalmente variables derivadas de un modelo digital de elevaciones (MDE) y de fotografía aérea. Una vez entrenada y usada la red, se ha realizado un análisis de importancia (*saliency analysis)* de las variables utilizadas.

Este estudio ha usado el MDE con una resolución planimétrica de 5 metros y 79 medidas de humedad realizadas con TDR en una pequeña cuenca experimental de dehesa en Extremadura con condiciones de humedad altas (invierno).

RESUMEN 3.2

CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD SUPERFICIAL DEL SUELO Y SU VARIABILIDAD EN CUENCAS AGRÍCOLAS

Álvarez, J.[1], Murillo, I.[1], López, J.J.[2], Casalí, J.[1] y Gimena, F.[1]

(1) Universidad Pública de Navarra. Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Edificio Los Tejos, Campus de Arrosadia, Pamplona (Spain). jesus.alvarez@unavarra.es
(2) Universidad de Castilla-La Mancha. Departamento de Ingeniería Civil; E.T.S Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Ciudad Real (Spain)

Una buena caracterización del contenido de humedad en la parte superficial del suelo es fundamental para la correcta estimación de los componentes del balance de agua en la superficie durante un evento o suceso de lluvia. Dada la alta variabilidad espacial y temporal que presenta resulta de gran interés caracterizarla y estudiar su evolución y comportamiento en función de las características físicas del terreno. En la presente comunicación se presentan los resultados preliminares de un trabajo llevado a cabo en una cuenca agrícola de la zona media de Navarra, en el que se ha realizado un seguimiento de la humedad superficial mediante medidas con una sonda TDR y gravimetría entre los meses de Octubre y Diciembre de 2002. Tras el correspondiente análisis estadístico se obtuvo una representación de la distribución espacial de la humedad en el suelo y su evolución en el tiempo. Analizando esta información junto con los datos de precipitación y escorrentía recogidos en la estación meteorológica instalada en el punto de salida de la cuenca se estudió la evolución de la humedad superficial en función de parámetros del terreno tales como el tipo de suelo, las labores realizadas o la pendiente. Este estudio servirá de base para la calibración de estimaciones realizadas por medio de simulación u otras técnicas.

RESUMEN 3.3

VARIABILIDAD ESPACIAL DE PROPIEDADES HIDRÁULICAS Y ELEMENTOS TRAZA EN SUELOS AFECTADOS POR EL VERTIDO DE AZNALCÓLLAR SOMETIDOS A RECUPERACIÓN

Moreno, F., Girón, I.F. y Cabrera, F.

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC). Apartado 1052. 41080 Sevilla. fmoreno@irnase.csic.es

Después del accidente minero de Aznalcóllar (25/04/98) se llevaron a cabo las labores de recuperación de los suelos, consistentes en: a) la remoción de los lodos depositados sobre la superficie de los mismos, así como de una capa de suelo contaminado de hasta 20 cm de profundidad, y b) la aplicación de enmiendas. Como consecuencia de estas labores, quedaron enterradas en los suelos, cantidades variables de lodos, distribuídas aleatoriamente, lo que ha dado lugar a aumentos en las concentraciones totales de elementos contaminantes, respecto a las existentes inmediatamente después del vertido. La utilización de maquinaria pesada en las labores de recuperación alteró negativamente las propiedades físicas de estos suelos.

Se ha estudiado la variabilidad espacial de las propiedades hidráulicas y de las concentraciones totales de los elementos traza en suelos sometidos a recuperación, de dos zonas de la cuenca del Guadiamar afectadas por el vertido: finca Los Lagares (suelo arcilloso) y vado de El Quema (suelo franco). En cada zona se estableció una malla de 50 x 50 m que cubre 10 ha, con 40 puntos, en los cuales 1) se midieron *in situ* las propiedades hidráulicas de la capa superficial en el intervalo próximo a saturación y 2) se tomaron muestras a las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm para la determinación las concentraciones totales de S, As, Cu, Fe, Pb y Zn. El análisis de los resultados se llevó cabo por métodos geoestadísticos.

En ambas zonas, los coeficientes de variación de la conductividad hidráulica fueron superiores al 70% y los correspondientes semivariogramas no mostraron una estructura espacial clara. La alta variabilidad de la conductividad hidráulica está fuertemente relacionada con los cambios en la textura del suelo.

Las concentraciones totales de elementos traza, también mostraron alta variabilidad. Los correspondientes semivariogramas mostraron cierta estructura espacial, y generalmente se ajustaron a modelos esféricos o lineales.

RESUMEN 3.4

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y VARIABILIDAD ESPACIAL DE UN SUELO AFECTADO POR EL VERTIDO MINERO DE AZNALCÓLLAR

Pérez de Mora A.; Burgos P.; Girón I.; Madejón, E. y Cabrera, F.

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC). Apartado 1052. 41080 Sevilla. fcabrera@irnase.csic.es

La primera medida adoptada tras el vertido de la mina de Aznalcóllar, fue la retirada de los lodos de la superficie de los suelos y la remoción de una capa de suelo contaminado de hasta 20 cm. A pesar de estas labores de limpieza, en la capa superficial de los suelos siguen permaneciendo cantidades variables de lodo cuya presencia contribuye a aumentar la acidez del suelo y las concentraciones totales de metales pesados y de otros elementos traza componentes de los sulfuros, así como al aumento de la movilidad y la disponibilidad de los mismos, con el consiguiente peligro de lixiviación y de absorción por las plantas. La pérdida de la capa superficial del suelo produjo además una disminución del contenido de materia orgánica, repercutiendo negativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos.

El objetivo del presente trabajo es la caracterización del suelo después de la limpieza, previa a su recuperación mediante técnicas de estabilización *in situ*. Para ello, se analizaron las propiedades físico-químicas de un suelo franco, situado en la cuenca norte del Guadiamar (el Vicario), en las proximidades de la balsa que originó el vertido. El estudio se llevó a cabo en una parcela de 1000 m^2 en la que se estableció una malla de 50 x 20 m con 48 puntos, en los cuales se tomaron muestras de suelo a 0-15, 15-30, 30-60 cm, en las que se determinó la granulometría, el pH, el contenido de materia orgánica, el N-Kjeldahl y las concentraciones totales y disponibles de As, Cd, Cu, Mn, Pb, S y Zn.

Se observó predominio de pH ácidos y altas concentración de As, Cd, Cu, Pb y S, así como una alta correlación ($p<0,01$) entre el contenido total de S, el pH y las concentraciones totales de As, Cd, Cu y Pb. El análisis discriminante de los parámetros estudiados mostró una gran variabilidad espacial relacionada fundamentalmente con las variaciones de pH en el suelo.

RESUMEN 3.5

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA EN SUELOS DE OLIVAR Y SU INFLUENCIA EN EL BALANCE HIDROLÓGICO GLOBAL

Polo, M.J.; Lafuente, M.P. y Giráldez, J.V.

Dpto. Agronomía, Universidad de Córdoba. ag1pogom@uco.es

La conductividad hidráulica saturada es un parámetro físico del suelo que interviene en todos aquellos procesos relacionados con el movimiento de agua y solutos a través del mismo. Por ello, constituye uno de los descriptores fundamentales de la naturaleza de un suelo, utilizándose a menudo para estimar otros parámetros más complejos de determinar. La variabilidad espacial de su valor en las capas superficiales del suelo es inherente a las características del suelo, por constituir este un medio complejo. No obstante, en sistemas agrícolas como el olivar, existen zonas diferenciadas en cuanto al manejo de suelo, aplicación de sustancias, intensidad y cantidad de lluvia recibida, etc., en las cuales pueden producirse variaciones significativas de, en este caso, la conductividad hidráulica, que induzcan resultados diferentes cuando se utilizan valores promedio como entrada de modelos hidrológicos, diferencias que se acentúan si el resto de entradas al modelo presentan una determinada distribución espacial (por ejemplo, aplicación de herbicidas). Este trabajo evalúa las fuentes extrínsecas de variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en la superficie del suelo en suelos de olivar, y analiza la repercusión de esta variabilidad en el balance hidrológico global en función de la intensidad de lluvia considerada, el contenido de agua inicial del suelo, y el manejo de suelo adoptado en el sistema.

RESUMEN 3.6

DETERMINACIÓN DE AGUA ÚTIL PARA RIEGO EN LA ZONA REGABLE DE TERRÁ CHÁ (LUGO) USANDO UN MEDIDOR DE POTENCIAL DE PUNTO DE ROCIO

Dafonte Dafonte, J.; Cancela Barrio, J.; Neira Seijo, X.X. y Cuesta García, T.

Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior. Univ. Santiago de Compostela. jdafonte@lugo.usc.es

La zona regable de Terra Chá de 1772 ha se encuentra situada en la zona central de la provincia de Lugo, el regadío lleva funcionando unos 40 años, y en la actualidad se va a llevar a cabo una modernización del mismo. Entroncada con esta necesidad de mejora de las instalaciones de riego, es necesaria una mejora del manejo del mismo. Una variable de gran importancia en la gestión del riego es el agua útil. Este trabajo tiene como objetivo utilizar para la determinación de la curva de retención de agua en el suelo un medidor de potencial de punto de rocio, que posteriormente permita la estimación del agua útil, usando los datos obtenidos y la densidad aparente, para trabajar con humedades volumétricas.

El tipo de muestreo fue aleatorio sistemático, para lo cual se construyó una malla de 500 x 500 m sobre las tres sectores de riego, el primer punto de la malla se ubicó de manera aleatoria, y la malla estaba orientada en la dirección norte-sur, El número total de muestras de suelo fue de 60 muestras en el horizonte A en 60 puntos.

El resultado final será la obtención mapas de estimación del agua útil, utilizando diferentes tipos de krigeado, que serían una herramienta importante para la planificación y gestión de la zona regable.

RESUMEN 3.7

ABONADO MINERAL: IRREGULARIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN Y CONTAMINACIÓN DE AGUAS

Nogales García, J.M. y Araújo Torres, R.

Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Universidad de Valladolid, momaf@iaf.uva.es

Desde la Estación de Ensayos y Caracterización de Abonadoras y Sembradoras de Palencia (EECAS) se han podido comprobrar irregularidades muy importantes en la distribución de abonos minerales que superan ampliamente las recomendaciones realizadas al respecto en el "Código de Buenas Prácticas Agrarias".

Pretendemos poner de manifiesto nuestras experiencias con el fin de que en un foro tan cualificado, como el que convoca las jornadas, conozca el comportamiento que tiene el abono mineral al ser distribuido por las máquinas abonadoras de proyección y evalúe la posible repercusión medio ambiental y en particular el riesgo de contaminación de aguas por nitratos.

RESUMEN 3.8

VARIABILIDAD ESPACIAL DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO DE UNA PLANTACIÓN DE VIÑEDO

García-Sinovas, D.; San José, G.; Atienza del Rey J. y Álvarez-Benedí, J.

Instituto Tecnológico Agrario. Junta de Castilla y León. garsinda@jcyl.es

La caracterización del contenido en materia orgánica del suelo en una parcela experimental es un aspecto básico, no sólo por sus consecuencias en la evaluación de la fertilidad, sino por el efecto que esta propiedad tiene en la adsorción y transporte de determinados plaguicidas. Basándose en esta conexión, parece razonable que la caracterización espacial de la adsorción de determinados soslutos (propiedad cuya estimación requiere un esfuerzo analítico considerable) pueda abordarse a partir de una más sencilla determinación del contenido en materia orgánica. Desde este punto de vista se propusieron como objetivos de este trabajo: i) La validación de una metodología para la caracterización del contenido en materia orgánica con valores de incertidumbre analítica conocidos y ii) La descripción práctica estadística y geoestadística de esta propiedad en la parcela objeto de estudio.

Entre diferentes alternativas, se escogió el método descrito por Walkley y Black, basado en la determinación del carbono orgánico del suelo oxidado con $K_2Cr_2O_7$ en presencia de H_2SO_4. Este procedimiento fue adaptado y validado de acuerdo a los criterios de la Norma ISO-17025, junto con el establecimiento de unos criterios de control de calidad que confieren fiabilidad a los resultados. Con la sistemática desarrollada se realizó un muestreo de 384 muestras de una parcela de viñedo de dimensiones 101,2 m x 89,6 m sobre el que se llevó a cabo en primer lugar un estudio estadístico para ver la distribución de los valores de materia orgánica y finalmente se acometió un análisis de la variabilidad espacial, del que se derivan conclusiones en planes de muestreo futuros y la predicción de la adsorción de plaguicidas en la parcela a estudio.

RESUMEN 3.9

VARIABILIDAD ESPACIAL Y ESCALADO DE PARÁMETROS DE FORMA QUE DESCRIBEN LA HIDROFOBICIDAD DEL SUELO

Regalado, C.M. y García Santos, G.

Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Dpto. Suelos y Riegos, Apdo. 60 La Laguna, 38200 Tenerife, España; Tfno: 922 476 343; Fax: 922 476 303; cregalad@icia.es.

La hidrofobicidad de los suelos es una propiedad físico-química de especial relevancia para el movimiento de agua, fenómenos de escorrentía o flujo preferencial en la zona no saturada. Sin embargo su variabilidad espacial y cómo la repelencia al agua de los suelos cambia a medida que la escala de observación se modifica, han sido poco estudiadas. Con el fin de investigar la variabilidad de la hidrofobicidad a gran escala en una cuenca hidrológica de 47,5 Ha, se recogieron 42 muestras alteradas de suelo del horizonte O sobre una malla uniforme dividida en rectángulos de 100m×75m. La variabilidad a pequeña y mediana escala se midió sobre cuatro puntos distribuidos al azar dentro de la cuenca. En cada uno de estos cuatro puntos se tomaron 9 muestras en una malla cuadrada a distancias de 5cm y 16 muestras separadas entre si 25cm×25cm. La persistencia y grado de hidrofobicidad de las 142 muestras totales se caracterizó a distintos contenidos de humedad (θ_g), haciendo variar θ_g desde saturación hasta suelo seco a 105 ºC en decrementos de un 10%. Las curvas hidrofobicidad-θ_g resultantes se ajustaron a un modelo empírico caracterizado por parámetros de forma, β_k. Cuando se representó el conjunto de datos hidrofobicidad-θ_g sin hacer distinciones sobre su distribución espacial, se observa una alta dispersividad. La dispersión de datos se redujo a través de relaciones de escalado del tipo $\nu_i=\alpha_k^n \nu_i^*$ que acoplan el valor de una variable medida, ν_i, con otra de referencia, ν_i, a través de un parámetro de escalado, α_k, elevado a una potencia n. Mediante gráficos de normalidad Box-Cox se generaron familias de transformaciones que permitieron normalizar los parámetros de escalado, α_k, y parámetros de forma, β_k. La hipótesis de normalidad se estudió utilizando cuatro tests (Anderson-Darling, Shaphiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado de bondad de ajuste), que asumen restricciones y tamaños de población diferentes. La distribución espacial de los parámetros α_k y β_k se investigó mediante gráficos de contorno. Técnicas geoestadísticas, tales como semi-variogramas, permitieron establecer relaciones que describen la variabilidad de dichos parámetros con la distancia de observación. La combinación de las técnicas de caracterización espacial y escalado descritas, con datos de humedad de suelo en tiempo real, se presenta como una estrategia potente para describir variaciones espacio-temporales del grado de hidrofobicidad, y por tanto de propiedades hidrológicas afectadas por la misma, tales como la infiltración de agua en la zona no saturada del suelo.

ÁREA 4: Desarrollo, calibración y aplicación de modelos

RESUMEN 4.1

EVALUACIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS DE FLUJO DE AGUA EN EL SUELO HYDRUS-2D Y SIMDAS EN RIEGO LOCALIZADO

Arbat, G.[1]; Barragán, J.[2]; Puig, J.[1]; Poch, R.[1] y Ramírez de Cartagena, F.[1]

(1) Departamento de Ingeniería Química, Agraria y Tecnología Agroalimentaria, Universidad de Girona, Campus Montilivi 17071 Girona. gerard.arbat@udg.es
(2) Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Lleida, Alcalde Rovira Roure 177, 25198 Lleida.

En un sistema de riego localizado resulta muy importante conocer la distribución de agua en el suelo para evitar pérdidas por percolación y conseguir un nivel de producción óptimo. Para ello en la fase inicial de diseño agronómico deben realizarse pruebas de campo previas, consistentes en aplicar un volumen de agua acorde a las necesidades del cultivo con un emisor aislado de un determinado caudal y tomar los datos de profundidad alcanzada por el frente húmedo y el radio mojado a 30 cm de profundidad. Sin embargo, debido al esfuerzo que entrañan estas pruebas, son muchos los casos en que no se realizan.

Una alternativa a la realización de las pruebas de campo es la utilización de modelos que permitan simular el movimiento de agua en estas condiciones, conocidos el tiempo de riego, el caudal del emisor y las propiedades hidráulicas del suelo o en su defecto la textura.

En este trabajo para realizar las simulaciones se han utilizado dos modelos numéricos: HYDRUS-2D y SIMDAS, este segundo modificado para poder tener en cuenta el charco formado bajo el emisor e implementando las propiedades hidráulicas del suelo según el modelo de van Genuchten-Mualem. En lo referente a la distribución de agua los dos modelos han proporcionado resultados muy similares.

Para verificar los resultados de los modelos se realizaron ensayos en un suelo *Typic Calcixerepts* (SSS, 1999) consistentes en aplicar un volumen total de 25 l mediante emisores de distinto caudal: 2, 4, 8.5 y 25 l/h. En todos los casos se tomaron medidas de las dimensiones del charco formado bajo el emisor y del contenido de agua en el suelo inmediatamente antes, durante y posteriormente al riego mediante una sonda TDR (IMKO TRIME-T), a distintas distancias del emisor y hasta una profundidad de 140 cm. Los resultados experimentales se comparan con los obtenidos mediante simulación, resultando satisfactorios para el fin propuesto.

RESUMEN 4.2

MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL TRANSPORTE DE SOLUTOS VOLÁTILES NO PASIVOS

Orlando Silva y Jordi Grifoll

Departamento de Ingeniería Química. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química, Av. dels Països Catalans, 26. 43007 Tarragona. Universidad Rovira i Virgili. osilva@etseq.urv.es; jgrifoll@etseq.urv.es

La modelización del transporte de un soluto en la zona no saturada del suelo se realiza, de manera habitual, sin considerar los efectos de la dependencia de las propiedades físicas con la composición. Esto es, atribuir al soluto la calidad de un agente pasivo. Esta aproximación se suele aceptar cuando la concentración del compuesto en la fase líquida es baja. Sin embargo, la tensión superficial puede ser muy sensible a variaciones de concentración de impurezas e influir en las relaciones hidráulicas. En el caso de mezclas solubles en cualquier proporción, múltiples propiedades físicas suelen depender acentuadamente y de forma no lineal de la concentración. Bajo estas condiciones, la evolución del flujo global no puede desacoplarse de la evolución del soluto.

En este trabajo, se presenta un modelo de infiltración, redistribución y transporte de solutos volátiles no pasivos en la zona no saturada que incorpora la dependencia con la concentración de la densidad, la viscosidad, la tensión superficial, el coeficiente de difusión molecular en fase líquida y los coeficientes de distribución gas-líquido y sólido-líquido. Adicionalmente, se considera la corrección del coeficiente de distribución gas-líquido con la carga de presión.

Se ha implementado una versión unidimensional del modelo en un código de simulación numérica y se ha utilizado para simular la infiltración y redistribución de mezclas metanol-agua. La dependencia de las propiedades físicas de la mezcla metanol-agua se ha descrito mediante ajustes empíricos de datos experimentales recogidos de la bibliografía.

Las simulaciones realizadas abarcan diferentes tipos de suelos, diferentes cantidades de metanol infiltradas inicialmente, diferentes condiciones iniciales de humedad en el suelo y diferentes episodios de lluvia posteriores a la infiltración inicial. Los resultados obtenidos simulando la redistribución del soluto a corto y largo plazo (días o años) muestran diferencias significativas entre las simulaciones que consideran las dependencias de las propiedades físicas con la concentración y las que las ignoran.

RESUMEN 4.3

INFLUENCIA DE OBSTÁCULOS EN LA DISPERSIÓN DE SUBSTANCIAS AGROQUÍMICAS EN EL SUELO

Jiménez Hornero, F.J.[1]; Laguna, A.[2] y Giráldez, J.V.[1,3]

(1) Dpto. de Suelos y Riegos, CIFA, Córdoba, Apdo. 3092, 14080 Córdoba, jihof@arrakis.es.
(2) Dpto. de Física Aplicada, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba, fa1lalua@uco.es.
(3) Dpto. de Agronomía, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba, ag1gicej@uco.es.

La presencia de obstáculos dificulta el paso de solutos por un medio retrasándolos. Usando un modelo de gases en malla, *lattice BGK*, sólo, o combinado con un modelo de caminantes aleatorios, se describe el desplazamiento de solutos en sistemas de geometría irregular, en donde ocurren flujos retardados y flujos preferenciales.

Los resultados son comparados con las soluciones de modelos simplificados.

RESUMEN 4.4

VARIACIÓN DEL BALANCE DEL AGUA ANUAL REGIONAL EN EL SUELO

Vanderlinden, K.[1]; Giráldez, J.V.[2], y Van Meirvenne, M.[3]

(1) Grupo de Trabajo Rules, Universidad de Granada, Instituto del Agua de Andalucía, Carrera del Darro s/n, 18071 Granada. ag2vandk@uco.es.
(2) Dpto. de Agronomía, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba. ag1gicej@uco.es.
(3) Dept. of Soil Management and Soil Care, Universidad de Gante, Coupure 653, 9000 Gante, Bélgica. Marc.VanMeirvenne@rug.ac.be

Usando modelos hidrológicos sencillos, en los que en suelo está representado por un cubo en el que la entrada es el agua de lluvia y la salida la evaporación, usando los datos meteorológicos disponibles, se ha calculado el balance de agua diario en 161 observatorios de Andalucía. Para ello se han interpolado los valores mensuales y anuales de evaporación, escorrentía y grado de saturación del suelo, en toda la región.

Se presentan unos mapas de los valores de estas variables. Se han determinado también unas relaciones exponenciales entre esas magnitudes, y el índice de aridez, cociente entre la evaporación de referencia y la precipitación medias anuales, analizando la validez de los resultados.

RESUMEN 4.5

PESTICIDE DISPERSION-ADVECTION EQUATION WITH SOIL TEMPERATURE EFFECT

Lourival Costa Paraiba[1] y Petronio Pulino[2]

(1) Embrapa Meio Ambiente, CP 69, 13820-000, Jaguariúna, São Paulo, Brazil, Telf.: 55-19-38678767, Fax: 55-19-38678740. lourival@cnpma.embrapa.br
(2) Department of Applied Mathematic, IMECC-UNICAMP, CP 6065, 13083-970, Campinas, São Paulo, Brazil. pulino@ime.unicamp.br

A dispersion-advection equation, denoted as a DAPESTE model, of one-dimensional evolution to simulate pesticide leaching in soil with sinusoidal function to describe the daily average soil temperature at different depths will be presented. In numerical simulation, the Finite Elements Method (FEM) will be used for the space semi-discretization and the Regressive Eüler Method (REM) for time discretization. It will be used appropriated FEM for dispersion-advection problems in which the advective transport predominates over the dispersive one. Let us suppose that the pesticide diffusivities in the gaseous and aqueous soil phases depend on the soil temperature. In this way, the effective hydrodynamic dispersion coeffcient of the dispersion-advection equation will depend on the soil temperature. The pesticide air-water partition coeffcient of the Henry law, varying with the temperature, will be determined by the Clausius-Clapeyron equation. The van't Hoff equation will be used to determine the temperature dependence of the pesticide soil sorption coeffcient. The Arrhenius equation will be used to estimated the effect of the soil temperature on the pesticide degradation rate. These temperature dependence relationships can help comprehend the pesticide behavior in the soil under different scenarios of the soil temperatures, especially in pesticide concentration leaching and its half-life in soil.

RESUMEN 4.6

EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN SUELOS ARCILLOSOS CULTIVADOS EN SECANO

Ordóñez, R.[1]; González, P.[1]; Laguna, A.[2]; Giráldez, J.V.[1,3], y Perea, F.[4]

(1) Depto. de Suelos y Riegos, CIFA, Córdoba, Apdo. 3092, 14080 Córdoba. pedro.gonzalez.fernandez@juntadeandalucia.es, rafaela.ordonez.ext@juntadeandalucia.es
(2) Depto. de Física Aplicada, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba. fa1lalua@uco.es.
(3) Depto. de Agronomía, , Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba. ag1gicej@uco.es.
(4) Depto. Ciencias Agroforestales, Universidad de Sevilla, Carretera de Utrera, km. 1, 41071 Sevilla. francisco.perea.ext@juntadeandalucia.es

El agua es el factor limitante más importante para el cultivo agrícola de secano, por lo que es imprescindible conocer su evolución en el suelo para mejorar su aprovechamiento. Para ello se tiende a la reducción de labores y al mantenimiento de residuos sobre el suelo, en el sistema denominado genéricamente agricultura de conservación, para aumentar la recarga y disminuir la descarga como evaporación por la superficie.

Con un modelo hidrológico sencillo basado en la ecuación de conservación de masa, aprovechando la información meteorológica y agronómica disponible en unos ensayos iniciados a comienzos de la década de los ochenta, para identificar los parámetros, se muestran los posibles efectos del mantenimiento continuado de agricultura de conservación en la campiña andaluza.

RESUMEN 4.7

MODELIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA INVERSA DE EXTRACTOS ACUOSOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA INTERSTICIAL

F. Javier Samper Calvete y Ana Vázquez

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de La Coruña. Campus de Elviña s/n. 15192 La Coruña. España. samper@iccp.udc.es samper@iccp.udc.es; http://caminos.udc.es/hs/default.html

La técnica de extractos acuosos es ampliamente utilizada para la caracterización de las sales solubles de muestras de suelos. También puede servir para deducir la composición química del agua intersticial de la muestra, especialmente en el caso de suelos arcillosos expansivos con de muy baja permeabilidad para los que la técnica de extractos acuosos puede ser el único método factible para la obtención de muestras de agua representativas para análisis químicos. El método consiste en añadir a una determinada masa de muestra de suelo M_s una masa de agua L veces M_s (generalmente L = 4). La mezcla de agua y muestra de sólido se mantiene en agitación durante un cierto tiempo (2 días) después del cual se separa por centrifugación el sobrenadante para su análisis químico. En el proceso de mezcla se pueden disolver sales solubles, producir procesos de intercambio iónico, así como otros procesos químicos (degasificación). La existencia de sales solubles (halita, carbonatos, y yesos) en suelos con una cierta capacidad de intercambio catiónico, como la mayoría de los suelos arcillosos, introduce numerosas dificultades en la interpretación de los resultados de este tipo de ensayos.

En este trabajo se presenta una metodología numérica para la interpretación de los resultados de ensayos de extractos acuosos basada en la modelización conceptual y numérica del ensayo. Aunque la metodología ha sido desarrollada y aplicada a las arcillas expansivas bentoníticas utilizadas como material de relleno y sellado de almacenamientos de residuos radiactivos, es aplicable a cualquier tipo de suelo. El modelo numérico se ha resuelto con el código de transporte reactivo CORE desarrollado en la Universidad de La Coruña y a permite tener en cuenta las condiciones y procesos que tienen lugar durante el ensayo:

1- Aumento de la cantidad de agua intersticial, que induce una dilución del agua intersticial inicial

2- Procesos cinéticos de disolución/precipitación de fases minerales (calcita y dolomita)

3- Procesos de disolución/precipitación de fases minerales en condiciones de equilibrio (yeso)

4- Procesos de intercambio catiónico en condiciones de equilibrio entre los siguientes cationes: calcio, magnesio, sodio, potasio e hidrogenión.

5- Reacciones ácido-base y de formación de complejos acuosos.

La metodología se ha aplicado con éxito a la modelización de ensayos de extractos acuosos realizados con agua destilada y agua granítica a distintas duraciones (entre 1 y 30 días) y a distintas relaciones líquido/sólido (L/ M_s) que varían entre 1 y 16.

RESUMEN 4.8

INVERSE MODELLING OF REACTIVE TRANSPORT IN SINGLE AND DUAL POROSITY MEDIA

J. Samper[1], Fernández, A.M.[2], Montenegro, L.[1], Zheng, L.[1], Vázquez, A.[1] and Dai, Z.[3]

(1) E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de La Coruña. Campus de Elviña s/n. 15192 La Coruña. España. samper@iccp.udc.es; http://caminos.udc.es/hs/default.html
(2) CIEMAT. Madrid.
(3) Ahora en Department of Geological Sciences, Wright State University, OH 45435, USA.

A methodology for solving the inverse problem of coupled nonisothermal saturated/unsaturated water flow and multicomponent reactive solute transport in porous media is presented. In addition to prior information on model parameters, the methodology relies also on hydraulic heads, aqueous and total concentrations, water fluxes and water contents. The formulation is based on minimizing a generalized least-squares criterion by means of a Gauss-Newton-Levenberg-Marquardt method. Statistical measures of goodness-of-fit, parameter uncertainty as well as approximate confidence intervals are computed from the *a posteriori* parameter covariance matrix. All these features are incorporated in INVERSE-CORE^{2D}, a code which solves both the forward and inverse problems. The methodology copes with the simultaneous estimation of a wide range of flow, transport and geochemical parameters as well as initial and boundary pH, pE and concentrations. The forward modeling part is based on CORE^{2D} (Samper et al, 2000). The inverse methodology has been applied and tested with laboratory and field data (Dai and Samper, 2003a;b). It has been used to successfully interpret: 1) diffusion and permeation experiments (Dai et al., 1999; García-Gutiérrez et al., 2001), 2) infiltration experiments (Dai and Samper, 1999a) and 3) paleohydrochemical conditions at the Llobregat Delta Aquitard in Barcelona, Spain (Dai, 2000 and Dai and Samper, 2001).

Here we present its application to the interpretation of a long-term permeation test performed on a sample of FEBEX compacted bentonite. FEBEX (Full-scale Engineered Barrier EXperiment) is a demonstration and research project dealing with the bentonite engineered barrier designed for sealing and containment of waste in a high level radioactive waste repository (ENRESA, 1998). FEBEX porewater chemistry has been analyzed in great detail (Fernández et al., 2001). Hydrogeochemical modelling of porewaters indicate that the main geochemical processes controlling the chemistry of the bentonite are (Fernández et al., 1999; ENRESA, 2000; Samper et al., 2001): acid-base reactions, aqueous complexation, cation exchange, dissolution/ex-solution of CO_2 and dissolution/precipitation of highly soluble minerals such as calcite, dolomite, chalcedony and gypsum/anhydrite.

All these processes are assumed to take place under equilibrium conditions, although the relevance of kinetics of mineral dissolution-precipitation has been also tested. The initial saline porewater of the bentonite is flushed with a fresh water with a chemical composition typical of granite formation. In addition to hydrodynamic data, chemical

analyses of efluent waters were performed which provide information on the chemical processes taking place at the bentonite during the duration of the test. Direct and inverse modelling of this experiment has been carried out.

Models of chloride breakhrough curves indicate that bentonite exhibits a double porosity behavior. Results of the direct model for reactive species (i.e. without calibration of geochemical parameters) are very encouraging. In general, the model reproduces the trends of measured data for most species. However, there are some discrepancies which are especially noticeable for sulfate. These discrepancies could be caused by uncertainties in model processes, initial concentrations, and geochemical parameters. These uncertainties can be evaluated by solving the inverse problem of the estimation of geochemical parameters such as: selectivity coefficients, initial concentrations, and mineral dissolution kinetic parameters. This is part of the work in progress.

References

Dai, Z., Inverse Problem of Water Flow and Reactive Solute Transport in Variably Saturated Porous Media, Ph.D. Dissertation, 334 pp., *University of La Coruña*, La Coruña, Spain, 2000.

Dai, Z., J. Samper and J. Molinero, Numerical interpretation of diffusion and permeation experiments, FEBEX Report, 70-ULC-L-5-011, *University of La Coruña*, 84 pp., 1999.

Dai, Z. and J. Samper, Estimación automática de parámetros de flujo no saturado mediante ensayos de infiltracón, *IV Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada del Suelo, Tenerife*, 175-180, 1999a (In Spanish).

Dai, Z. and J. Samper, INVERSE-CORE^{2D}: A Code for inverse problem of water flow and reactive solute transport, Users Manual, Version 0, *University of La Coruña*, 240 pp., 1999b.

Dai, Z. and J. Samper, Inverse problem of water flow and multicomponent reactive solute transport: Application to the Delta Aquitard in Spain *In: XXXI Int. IAH Congress on New Approaches Characterizing Groundwater Flow, Munich,* K. Seiler y Wohnlich Ed. Balkema Pub. 289-292, 2001.

Dai, Z. and J. Samper, Inverse problem of coupled water flow and multicomponent reactive transport in porous media: Formulation and Application to Synthetic Experiments, *Water Resour. Res*., (submitted), 2003a.

Dai, Z. and J. Samper, Inverse problem of coupled water flow and multicomponent reactive transport in porous media: Application to Laboratory and Field Data, *Water Resour. Res*. (submitted), 2003b.

ENRESA, FEBEX Full-scale engineered barriers experiment in crystalline rock: Pre-operational Stage Summary Report, ENRESA Tech. Pub. 1/98 (1998).

ENRESA, Full-scale engineered barriers experiment for a deep geological repository in crystalline host rock (FEBEX Project), European Commission, EUR 19147 EN. 403 pp, (2000).

Fernández, A.M, Cuevas, J. & Rivas P. 2001. Pore water chemistry of the FEBEX bentonite. Mat. Res. Soc. Symp. Pro. 663, pp. 573-588, 2001.

Fernández A.M., Cuevas J. y Rivas P., Estudio del agua intersticial de la arcilla FEBEX. Informe Técnico Proyecto FEBEX 70-IMA-L-0-44. CIEMAT, 1999.

Samper, F.J., R. Juncosa, J. Delgado and L. Montenegro, CORE^{2D}: A code for non-isothermal water flow and reactive solute transport, Users manual version 2, Universidad de La Coruña, Tech. Publ. 6/2000. ENRESA, 131 pp., 2000.

Samper, J., Juncosa, R., Navarro, V., Delgado, J., L. Montenegro and A. Vázquez, Coupled thermo-hydro-geochemical models of engineered barrier systems: the FEBEX project, In: Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Mat. Res. Soc. Symp. Syney, (2001).

Acknowledgments. The work presented here has been funded by ENRESA. The project as a whole was supported by the EC (Contracts FI4W-CT95-0006 and FIKW-CT-2000-0016 of the Nuclear Fission Safety Programme).

ÁREA 5: Papel de la zona no saturada en la gestión de recursos y medio ambiente

RESUMEN 5.1

INFLUENCIA DE LA MODIFICACION DE SUELOS CON UN SURFACTANTE CATIÓNICO EN EL INCREMENTO DE ADSORCIÓN DE PESTICIDAS POR SUELOS

Andrades, M.S.[2]; Rodríguez-Cruz, M.S.[1]; Bernal, M.A.[1]; Sánchez-Martín, M.J.[1] y Sánchez-Camazano, M.[1]

(1) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC. Apdo. 257. 37071 Salamanca. Spain. mjesussm@usal.es

(2) Dpto Agricultura y Alimentación. Universidad de La Rioja. Madre de Dios, 51. 26006 Logroño. Spain.

Estudios llevados a cabo en los últimos años han indicado que la contaminación de suelos y aguas por pesticidas agrícolas procedentes de fuentes puntuales de contaminación puede ser más importante que la contaminación difusa de suelos. Teniendo en cuenta que la adsorción y movilidad de los pesticidas hidrofóbicos depende principalmente del contenido en materia orgánica del suelo, algunas investigaciones han considerado la posibilidad de formación de barreras adsorbentes hidrofóbicas mediante la inyección "in situ" de surfactantes catiónicos o mediante la formación "ex situ" de suelos orgánicos. Estas barreras localizadas en zonas puntuales serían de gran interés para inmovilizar pesticidas hidrofóbicos previniendo de esta forma la contaminación del suelo y las aguas.

En este sentido se estudia en este trabajo la eficacia en la adsorción de pesticidas de diferente hidrofobicidad por suelos de distintas características modificados con el surfactante catiónico, bromuro de octadeciltrimetilamonio (ODTMA) en relación a los suelos naturales. Se utilizaron cinco suelos con bajo contenido en materia orgánica <2%, contenido variable en arcilla (11.8%-38.1%) y diferente contenido de montmorillonita en esta fracción. Los pesticidas estudiados, alacloro, atrazina, linuron, metalaxil y penconazol, fueron muy diferentes en cuanto a su solubilidad en agua (30-8400 µg/mL) y coeficiente de distribución octanol/agua log Kow (1.75-3.72). Se obtuvieron las isotermas de adsorción-desorción de todos los pesticidas por los suelos naturales y por los suelos modificados.

Los valores de las constantes de Freundlich Kf, como indicadores de la capacidad de adsorción de los pesticidas por los suelos, indican un aumento de adsorción de todos los pesticidas por los suelos saturados con el surfactante catiónico en relación a los suelos naturales. El incremento más elevado de estas constantes se encuentra en el organo suelo con mayor contenido en montmorillonita y en la adsorción del pesticida más hidrofóbico penconazol (140 veces). Las cantidades de pesticidas adsorbidos por los suelos-ODTMA a partir de una concentración inicial de 25 µg/mL son más elevadas para los pesticidas con mayor carácter hidrofóbico, estas cantidades representan porcentajes de adsorción superiores al 67% (alacloro), 38% (atrazina), 83% (linuron), 19% metalaxil y 95% penconazol. La adsorción de los pesticidas está relacionada con la heterogeneidad de los minerales de la arcilla de los suelos excepto en el caso de penconazol. La desorción de los pesticidas desde los organo suelos expresada como porcentaje de la cantidad adsorbida fue en general inferior que desde los suelos naturales. La relación entre las cantidades adsorbidas en los suelos naturales y orgánicos después de la desorción manifiestan la eficacia de los suelos-ODTMA en la adsorción de los pesticidas estudiados y la influencia de la hidrofobicidad del pesticida y de la heterogeneidad de minerales de la arcilla presentes en los suelos en este proceso.

RESUMEN 5.2

EL PAPEL DE LA ZNS EN EL TRANSPORTE DE AGUA Y AGROQUÍMICOS HACIA EL ACUÍFERO SUPERFICIAL EN UNA ZONA AGRÍCOLA FRONTERIZA CON EL ESPACIO NATURAL PROTEGIDO DE LOS EVERGLADES (FLORIDA, USA)

Morawietz, M.[1], Muñoz-Carpena, R.[2] y Y.C. Li.[2]

(1) Universidad de Friburgo (Alemania). martin.moravietz@pluto.uni-freiburg.de
(2) University of Florida IFAS-TREC (USA).

Junto al Parque Nacional de los Everglades (Florida, USA) se encuentra la cuenca del Frog Pond (2000 ha). Durante los últimos años, esta zona, de propiedad pública, ha sido arrendada a agricultores bajo un código restringido de prácticas culturales encaminadas a minimizar el impacto sobre la calidad de agua. Esta cuenca se encuentra delimitada por dos canales que la rodean, constituyendo el canal del oeste la frontera con los Everglades. El acuífero de la zona es extremadamente superficial (0-70 cm de profundidad del nivel freático) y transmisivo (Ks=7.000-10.000 m/día). Para el estudio de los procesos hidrológicas en esta zona, se diseñó y construyó una completa red de seguimiento (espacialmente distribuida) compuesta por 16 pozos con transductores de presión, 5 puntos de registro automático de aguas superficiales en los dos canales, una zanja de drenaje interior, 2 pluviómetros en distintos puntos, una estación meteorológica automática completa y puntos de medida de la humedad del suelo. Desde Marzo de 2002 se vienen registrando cada 15 minutos precipitación, evapotranspiración y niveles de agua. En los pozos y estaciones de agua superficial se recogen muestras de agua de la que se analizan la concentración de 29 compuestos inorgánicos (nutrientes y metales pesados) y pesticidas (atrazina). La información y mantenimiento de este complejo conjunto de datos se realiza mediante una avanzada base de datos on-line con capacidades de análisis grafico y estadístico desarrollada para el proyecto. Los datos obtenidos comparados con los registros de aplicaciones de agroquímicos en el campo permiten identificar el papel que la ZNS tiene en este sistema extremo de cara al transporte de contaminantes. El análisis de los datos con alta resolución temporal permite discutir el papel que la delgada ZNS tiene de cara al riesgo de inundaciones en la zona. Igualmente se puede definir el peso relativo que las dos variables hidrológicas fundamentales en la zona (lluvia y gestión del nivel de los canales mediante compuertas) tienen de cara a la profundidad útil de la ZNS. Estas observaciones se refuerzan mediante la calibración/aplicación de un modelo local de flujo de agua subterránea (Visual Modflow) analizando la respuesta frente a diferentes regímenes de lluvia y manejo de canales.

RESUMEN 5.3

LIXIVIADO DE METALES PESADOS DEPOSITADOS EN UN SUELO POR EL VERTIDO PRODUCIDO POR LA ROTURA DE LA BALSA DE LODOS DE LA MINA DE AZNALCÓLLAR

Ordóñez, R.[1]; Vanderlinden, K.[2,3]; Polo, M.J.[3], González, P.[1], y Giráldez, J.V.[1,3]

(1) Dpto. de Suelos y Riegos, CIFA, Córdoba, Apdo. 3092, 14080 Córdoba, pedro.gonzalez.fernandez@juntadeandalucia.es, rafaela.ordonez.ext@juntadeandalucia.es.
(2) Grupo de Trabajo Rules, Universidad de Granada, Instituto Andaluz del Agua, Carrera del Darro s/n, 28071 Granada, ag2vandk@uco.es.
(3) Dpto. de Agronomía, Universidad de Córdoba, Apdo. 3048, 14080 Córdoba, ag1pogom@uco.es, ag1gicej@uco.es.

El vertido causado por la rotura de la balsa de lodos mineros aportó a los suelos de la vega del Río Guadiamar una cantidad apreciable de metales pesados. Aunque las operaciones de retirada de lodos y limpieza de los suelos fueron efectivas, quedaron restos en algunas zonas, en las que existe un riesgo de contaminación a los acuíferos freáticos. El periodo que siguió a la rotura fue seco, por lo que no hubo mucha lixiviación de metales, pero, posteriormente, la ocurrencia de lluvias abundantes, dio lugar a un desplazamiento de estos metales en el perfil del suelo.

Se presentan perfiles de concentración de algunos metales, y se propone un modelo de desplazamiento sencillo que describe el movimiento observado de aquellos. Se plantean las posibles formas de evolución de los metales en suelo.

RESUMEN 5.4

INFLUENCIA DE LA HUMEDAD Y LA TEMPERATURA EN LA EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE AEROBIOS TOTALES Y DE ESCHERICHIA COLI EN UN SUELO TRATADO CON LODOS DE DEPURADORA URBANA

Estrada de Luis, I.B.; Gil Matellanes, M.V.; Aller Urdiales, A. y Morán Palao, A.

Instituto de Recursos Naturales. Universidad de León. dfqbel@unileon.es

Dada la gran influencia de la humedad y temperatura en la supervivencia de la población microbiana de un suelo, se estudió el comportamiento de las poblaciones de aerobios totales y de *Escherichia coli*, así como las variaciones de pH y de conductividad en un suelo de textura franco arcillo arenosa, ligeramente ácido (pH 5,84), al que también se adicionó lodo de depuradora urbana sometido a un tratamiento anaerobio seguido de deshidratación mecánica, puesto que este tipo de lodos en un suelo, incrementa la actividad y diversidad de las poblaciones microbianas del suelo.

Se ha trabajado en condiciones de laboratorio, manteniendo constantes cuatro temperaturas diferentes (5, 15, 25 y 35ºC), y con contenidos de humedad de las muestras del 5, 10, 15, 20 y 30%. Se incubaron muestras de suelo sólo y de suelo más lodo, para las mismas condiciones de humedad y temperatura durante un periodo de 80 días, tomando muestras los días 0, 5, 10, 20, 40, 60 y 80.

El lodo adicionado tenía un pH básico (8,98) y su contenido en metales pesados cumplía los límites máximos indicados para su aplicación en agricultura dentro de la legislación europea vigente. La dosis de lodo aplicada se calculó en función de las unidades de nitrógeno que aportaba dicho lodo.

Estadísticamente se comprobó que la temperatura presenta diferencias significativas para un nivel de significación $p = 0,05$ para la población de aerobios totales, presentando la mayor población a las temperaturas de 5 y 15ºC, siendo mayores las poblaciones a la temperatura más baja. Por el contrario, la mayor población de *Escherichia coli* se presenta a 35ºC.

Respecto al contenido de humedad de las muestras, se observa que las mayores poblaciones de aerobios totales y *Escherichia coli*, se alcanzan para el 30% de humedad, y esto no es representativo del todo, debido a que para que no se compactaran las muestras dado el gran contenido en agua que presentaban, cada vez que se ajustaba la humedad, se las revolvía ligeramente, con lo cual estábamos aumentando el contenido de oxígeno de las muestras.

Para la evolución de la población de aerobios totales van a ser significativos los valores de pH, de tal forma que un aumento o una disminución de estos parámetros químicos va a hacer que aumente o disminuya la población de aerobios totales, o bien, un aumento o una disminución de esta población va a provocar una variación de los parámetros químicos estudiados. Algo similar ocurre entre el amonio y la población de enterobacterias, y entre el amonio, los nitratos y la conductividad con la población de hongos.

RESUMEN 5.5

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES AL SUELO EN LA PERSISTENCIA DEL HERBICIDA LINURON EN CONDICIONES DE CAMPO

Rodríguez-Cruz, M.S.[1]; Andrades, M.S.[2]; Sánchez-Martín, M.J.[1] y Sánchez-Camazano, M.[1]

(1) Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC. Apdo. 257. 37071 Salamanca. Spain. mjesussm@usal.es
(2) Dpto Agricultura y Alimentación. Universidad de La Rioja. Madre de Dios, 51. 26006 Logroño. Spain.

La producción de lodos procedentes de la depuración de aguas residuales ha aumentado en España en gran medida a consecuencia del incremento de estaciones depuradoras construidas en los últimos años. Uno de los destinos que se considera más viable para estos lodos es su utilización como enmienda en agricultura debido a su elevado contenido en materia orgánica y nutrientes. Sin embargo la materia orgánica procedente de estos materiales puede modificar el comportamiento de los pesticidas aplicados en el suelo ya que como es sabido su presencia influye en la adsorción, degradación y lavado de estos compuestos en el suelo.

En este trabajo se estudia la influencia de la aplicación al suelo de dos lodos de depuradora de distinta procedencia en el comportamiento del herbicida linuron. Se determinó la velocidad de disipación del herbicida en el campo y su distribución en el perfil del suelo a diferentes periodos de tiempo.

El estudio se realizó en parcelas experimentales de 9 m2 situadas en un suelo arenoso franco. Los lodos residuales procedían de dos depuradoras de núcleos urbanos distintos y con tratamientos diferentes. Estos lodos se añadieron en dos dosis 40 t/ha y 100 t/ha. El linuron fue aplicado al suelo 2 semanas después de la adición de los lodos en dos cantidades 3 g i.a./ha y 15 g i.a./ha en forma de una formulación comercial. En cada parcela se tomaron muestras superficiales de suelo periódicamente durante 12 meses (0, 4, 7, 15, 30, 60, 90, 210 y 365 días después de la aplicación del herbicida). Además se tomaron pequeñas columnas de suelos de 0-50cm (después de 6 meses) y de 0-100 cm (después de 12 meses) y se estudió la presencia y/o distribución del herbicida y sus metabolitos.

Después de 15 días de la aplicación del herbicida se encontró un porcentaje de linuron disipado entre 70% y 55% en el suelo de las distintas parcelas dependiendo de la naturaleza de los lodos adicionados e independiente de la cantidad de linuron aplicado. Estos porcentajes aumentaron hasta 90-95% en los suelos enmendados y >98% en el suelo sin tratar después de 6 meses de tratamiento. De acuerdo con la cinética de desaparición de linuron durante los 6 primeros meses las constantes de velocidad de disipación fueron menores en el suelo de las parcelas enmendadas con lodos (0.0162-0.0245) que en el suelo natural (0.0260). El perfil de distribución del herbicida en las columnas indicó su presencia en el suelo de todas las parcelas después de 6 meses de tratamiento disminuyendo la concentración del herbicida en profundidad hasta <0.1 mg/Kg de suelo a 50 cm. Después de 12 meses de tratamiento solo se encontraron residuos del herbicida (<0.05mg/Kg) en las columnas de suelo de las parcelas tratadas con lodos en dosis elevadas. El metabolito 3,4-dicloroanilina fue el más frecuentemente encontrado en las columnas de suelos.

RESUMEN 5.6

EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE SUELO HÚMEDO EN MICROIRRIGACIÓN. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE ESTE VOLUMEN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL OLIVO (OLEA EUROPAEA L; CULT.'ARBEQUINA')

Gispert Folch, J.R. y García Fàbrega, J.A.

Departamento de Arboricultura Mediterránea. Centro de "Mas Bové"- Constantí (Tarragona). joanramon.gispert@irta.es
Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA)

El agua ocupa una variada disposición tridimensional en el desplazamiento de su frente de humedad, según sean las características del perfil físico del suelo, el volumen de agua aplicado, el caudal del emisor, el contenido de agua presente en el suelo al inicio del riego y la topografía del terreno.

Las raíces del cultivo, en un sistema de microirrigación, también ocupan una distribución tridimensional, más o menos densa y más o menos coincidente con la distribución volumétrica de la humedad generada en el suelo por un emisor.

La influencia que a nivel fisiológico y de nutrición hídrica puede ejercer la correcta definición de la forma y tamaño del volumen húmedo del suelo es obvia. Asimismo averiguar el comportamiento de los cultivos según el porcentaje de volumen húmedo es otro aspecto de gran interés.

Por todo lo anterior, el trabajo que se presenta consta de dos partes a la vez esenciales y complementarias: 1) Diseño de un Equipo Medidor del Volumen Húmedo del Suelo (EMVHS) y metodología de evaluación 2) Comportamiento del olivo (Cult. '*Arbequina'*) en microirrigación con distintos tratamientos de volumen húmedo del suelo.

El EMVHS que se describe en la primera parte del trabajo es una versión mejorada del equipo que ya fue presentado en las IV Jornadas de la ZNS (Tenerife, 1999). Se hace un análisis del principio en que se basa el método (Resistividad eléctrica), los componentes y función del equipo medidor (Electrodos, conductor eléctrico, multímetro, controles) y del sistema portátil de microirrigación para la realización de la prueba de campo (barrenas, generador eléctrico, sistema de impulsión, automatismos, válvulas, ramales, emisores, filtraje) para describir, finalmente, el proceso de evaluación que se sigue.

En la segunda parte del trabajo se pretende proporcionar referencias prácticas sobre el comportamiento del olivo, Cultivar '*Arbequina*', sometido a 5 niveles de volumen húmedo del suelo, durante un período experimental de 4 años en una parcela comercial en Vinyols i els Arcs (Baix Camp) en Tarragona. Se describe la aplicación práctica del EMVHS así como el seguimiento de diversos parámetros de producción (Kg/ha, Frutos/árbol, peso/fruto), vegetativos (crecimiento tronco, brotación) y de calidad relacionados con los distintos niveles de volumen de suelo húmedo.

RESUMEN 5.7

LIXIVIACIÓN DE NITRATOS BAJO CULTIVO DE REMOLACHA EN LA ZONA VULNERABLE DEL ACUÍFERO CUATERNARIO DE VITORIA-GASTEIZ (PAÍS VASCO)

Martínez, M.[1]; García-Linares, C.[1]; Sánchez-Pérez, J.M.[2]; Aizpurua, A.[3]; Ruiz de Loizaga, I.[4] y Antigüedad, I.[1]

(1) Grupo de Hidrogeología. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. 48940 Leioa (Bizkaia). gpbgalic@lgdx04.lg.ehu.es
(2) Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes (LEH, FRE CNRS-UPS 2630) Université Paul Sabatier. 31055 Toulouse (Francia).
(3) Neiker-Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario. 48060 Derio (Bizkaia).
(4) Aira-Asociación Independiente de Remolacheros Alaveses. Vitoria-Gasteiz (Álava).

Se ha estudiado la lixiviación de nitratos en una parcela con cultivo de remolacha en el acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz en una zona declarada Vulnerable a la contaminación por nitratos, según la Directiva Europea 91/676/CEE . Esta investigación se enmarca en un proyecto más amplio tendente a probar la eficacia de nuevos fertilizantes en la productividad del cultivo, teniendo en cuenta también los impactos al medio, en particular la contaminación de las aguas subterráneas por los nitratos.

Se eligió una parcela de 2800 m^2, llana, dividida en ocho bandas de 350 m^2, en las que se aplicaron de forma controlada cuatro abonos diferentes: fisiostart (8 N amoniacal, 30 P, 23 S, 2 Zn), umostart (11 N amoniacal, 46 P, 2 Zn), urea y habitual (8 N, 24 P, 8 K) por duplicado. En dos de las bandas se dejaron sendas zonas testigo (abonado 0) de 140 m^2. En cada una de las bandas y zonas testigo se instalaron cuatro dispositivos Tensionic, dos a 50 cm y dos a 100 cm de profundidad. Además, al lado de esta parcela se colocaron otros ocho dispositivos, con igual disposición, en un campo de cultivo directamente controlado por el agricultor. El control se alargó desde el momento de la siembra, en marzo 2002, hasta el momento de la recogida, en diciembre, con observaciones quincenales del potencial hídrico y toma de muestras de agua en los Tensionic. Apenas se recogió agua en los muestreos del estiaje. El nivel freático se mantuvo casi siempre algo por debajo de los dispositivos. Se tomaron muestras de suelo en ocho sondeos manuales, hasta 1 m de profundidad, justo antes de la siembra y después de la recogida. Los suelos son de naturaleza franco-arcillo-limosa en superficie (perfil A) y algo más franca en profundidad (perfil B).

Con toda la información recogida (suelo, agua del suelo, agua subterránea) se observa que: - 1) Hasta agosto las concentraciones en $NO3^-$ en las aguas de la zona no saturada fueron altas y bastante similares (100-170 mg/l) en todas las bandas, incluida la testigo, aunque algo mayores en el campo del agricultor y, en general, a 100 cm de profundidad; estos $NO3^-$ están muy influenciados por los cultivos anteriores (cereal). - 2) A partir de agosto en las aguas se aprecia una notable disminución general de los contenidos debido, al principio, al regadío y, sobre todo después, a las muy importantes lluvias del otoño; este lavado se evidencia también claramente en los análisis de suelo y de las aguas subterráneas. La analítica de suelos muestra claramente cómo ha habido una pérdida importante de nitratos, ya que la concentración media de este elemento en los horizontes A, pasa de 7.7 mg/kg antes de la siembra a 2 mg/kg después de la recogida de la remolacha. Lo mismo ocurre en los horizontes B, donde dicha concentración disminuye significativamente, de 8.33 mg/kg a 1.15 mg/kg.

RESUMEN 5.8

EVALUACIÓN DEL MODELO STICS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LIXIVIACIÓN DE NITRATOS BAJO CULTIVO DE PATATA EN LA ZONA NO SATURADA DEL SUELO

Sánchez-Pérez, J.M.[1]; Martínez, M.[2]; García-Linares, C.[2]; Antigüedad, I.[2] y Justes, E.[3]

(1) Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes (LEH, FRE CNRS-UPS 2630) Université Paul Sabatier. 31055 Toulouse, Francia.
(2) Grupo de Hidrogeología (Geodinámica). Universidad del País Vasco - Euskal Herriko Unibertsitatea. 48940 Leioa, País Vasco, España. gpbgalic@lgdx04.lg.ehu.es
(3) INRA, UMR ARCHE, Auzeville, 31326 Castanet-Tolosan cedex, Francia.

El acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco) es un ejemplo ampliamente estudiado del efecto de las prácticas agrícolas (uso abusivo de fertilizantes agrícolas, reutilización de aguas de riego cargadas en nitratos) sobre la contaminación de las aguas subterráneas. En este acuífero las concentraciones en nitratos en las aguas subterráneas alcanzaron los 200 mg NO3-.L-1 en el período 1993 - 1994. Este episodio de máxima contaminación fue seguido durante 18 meses (enero 1993 - junio 1994), en dos parcelas experimentales (un cultivo de patata y un suelo no cultivado) con el objetivo de evaluar el efecto de los aportes de fertilizantes sobre la zona saturada y no saturada del suelo.

Los resultados mostraron que las cantidades de nitratos lavados en el cultivo de patata fueron superiores a aquellas de la zona no cultivada, es decir 259 kg N-NO3-.ha^{-1} y 48 kg N-NO3-.ha^{-1} respectivamente. Estos resultados corresponden a una estimación de los aportes calculados a partir de un balance de masa y no integran los aspectos relativos al funcionamiento agronómico del cultivo. En este trabajo se propone aplicar el modelo STICS (Brisson *et al.*, 1998; 2003) con el objeto de validar los datos provenientes del balance de nitratos y aportar información sobre los aspectos relativos a la mineralización neta de nitrógeno y al consumo de nitratos del cultivo.

RESUMEN 5.9

APLICACIÓN EXPERIMENTAL DE ZEOLITA AL CULTIVO DE FRESÓN. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO MEDIANTE TÉCNICAS DE ANALISIS MULTIVARIABLE

De la Torre, M.L.[1]; Grande, J.A.[2]; Sainz, A.[3]; Sánchez, M.C.[4] y González, F.[5]

(1) Departamento de Ingeniería Minera Mecánica y Energética, Grupo de Recursos y Calidad del Agua, Universidad de Huelva, E-21819 Palos de la Frontera, Huelva, mltorre@uhu.es
(2) Departamento de Ingeniería Minera Mecánica y Energética, Grupo de Recursos y Calidad del Agua, Universidad de Huelva, E-21819 Palos de la Frontera, Huelva, grangil@uhu.es
(3) Departamento de Ciencias Agroforestales, Grupo de Recursos y Calidad del Agua, Universidad de Huelva, E-21819 Palos de la Frontera, Huelva, sainz@uhu.es
(4) Departamento de Ingeniería Minera Mecánica y Energética, Grupo de Recursos y Calidad del Agua, Universidad de Huelva, E-21819 Palos de la Frontera, Huelva, mamencita@hotmail.com
(5) Departamento de Ingeniería Minera Mecánica y Energética, Grupo de Recursos y Calidad del Agua, Universidad de Huelva, E-21819 Palos de la Frontera, Huelva, francisca.gonzalez@dimme.uhu.es

El laboreo intensivo sobre medios arenosos muy permeables provoca un descenso rápido de soluciones altamente nitrogenadas procedentes de los excesos de abonado hacia la zona saturada, con el consiguiente gasto de agua y fertilizantes, que se traduce finalmente en un fenómeno de contaminación por nitratos de las aguas subterráneas. La zeolita, aplicada a un suelo agrícola incrementa la capacidad de retención de amonio y de agua y disminuye las pérdidas de nutrientes. El objetivo central de este estudio se concreta en el diseño experimental de estrategias de mejora ambiental conducentes a la disminución de la contaminación en zona saturada mediante la aplicación de zeolita a un cultivo de fresón y el estudio de la incidencia de este tratamiento en el tránsito de contaminantes a través de zona no saturada, utilizando técnicas de análisis multivariable. La aplicación de estas técnicas a las muestras de referencia sugiere concluir, de entrada, la existencia de tres factores que permiten sintetizar, en conjunto, la información contenida en la totalidad de las variables; estos tres factores, a saber: ABONADO, PRODUCCIÓN y EXCESO DE SALES reflejan en definitiva lo esencial de un mecanismo de transformación de nutrientes a expensas de los aportes (ABONADO) y en beneficio de un resultado agronómico (PRODUCCIÓN) con un cierto coste medioambienteal (EXCESO DE SALES).

RESUMEN 5.10

INFLUENCIA DE LOS APORTES DE RESIDUOS ORGÁNICOS GANADEROS EN EL LAVADO DE NITRATOS EN UN CULTIVO DE MAÍZ EN REGADÍO

Domingo Olivé, F.[1]; Serra Gironella, J.[1] y Teixidor Albert, N.[2]

(1) IRTA-Estació Experimental Agrícola Mas Badia, Mas Badia, 17134 La Tallada d'Empordà, Girona; Tel: 972780275; Fax: 972780517; francesc.domingo@irta.es y joan.serra@irta.es

(2) Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, Generalitat de Catalunya, Mas Badia, 17134 La Tallada d'Empordà, Girona; Tel: 972780275; Fax: 972780517; narcis.teixidor@irta.es

El cultivo del maíz es uno de los cultivos extensivos con extracciones más elevadas de nitrógeno, para las producciones que se consiguen en regadío en la zona del Valle del Ebro y adyacentes, pudiendo ser superiores a los 400 Kg de N ha^{-1}. En estas condiciones, los aportes de N en forma de fertilizantes orgánicos y minerales que se realizan son muy importantes. Además, en algunas zonas, la densidad de explotaciones ganaderas es elevada y las aplicaciones de residuos orgánicos ganaderos en las parcelas agrícolas suelen ser elevados.

El riego por superficie a turnos, muy extendido en regadíos antiguos, limita en gran medida el uso de herramientas de programación del riego que permitirían una gestión eficiente del agua. La ineficiencia en el uso del agua puede provocar, dependiendo del tipo de suelo, cultivo, etc., un uso ineficiente del nitrógeno aplicado con los fertilizantes.

Durante el año 2002, se ha iniciado un ensayo para el estudio de la eficiencia del N, en el cultivo del maíz en regadío, de los residuos orgánicos y fertilizantes minerales. En el ensayo, en parcela subdividida con 4 repeticiones, se aplican 3 dosis de estiércoles de bovino (0, 30 y 60 Tn ha^{-1}), factor principal, y 4 dosis de nitrógeno en forma de fertilizante mineral (o, 100, 200 y 300 Kg de N ha^{-1}), factor secundario. El ensayo se localiza en La Tallada d'Empordà (Girona) sobre un suelo aluvial, muy profundo, de textura gruesa y contenido de M.O. en el horizonte superficial de 2.1 %, clasificado cómo Xerofluvent oxiáquico, franca gruesa, mezclada, calcárea, térmica (SSS, 1992).

En este ensayo se ha medido el contenido de humedad del suelo, mediante sonda TDR, hasta 150 cm de profundidad, durante el ciclo del cultivo y durante el periodo invernal sin cultivo, en 4 de los tratamientos. Se ha extraído, periódicamente, la solución del suelo mediante cápsulas de cerámica porosa instaladas a 70 y 110 cm de profundidad. Al final del ciclo de cultivo se ha determinado la producción de grano para cada una de las parcelas del ensayo.

La producción de maíz en los tratamientos con aplicación de estiércoles es del 15 al 25% superior, para una misma dosis de N en forma de fertilizante mineral, a los tratamientos que no reciben residuos orgánicos. El tratamiento testimonio, sin aplicación de residuos orgánicos y sin aporte de fertilizantes nitrogenados, produce un promedio de 12 Tn ha^{-1} de grano, lo cuál permite suponer una mineralización muy importante de N orgánico del suelo, superior a 150 Kg de N ha^{-1} durante el ciclo del cultivo.

Para una aplicación de 200 Kg de N ha^{-1} en forma de fertilizante mineral, el lavado de nitratos fuera de la zona radicular, durante el periodo de riego del cultivo, es superior (40 %) para el tratamiento sin aplicación de estiércol que para el tratamiento dónde se han aplicado 60 Tn ha^{-1}. Cuando no se aplica N mineral, no se aprecian diferencias destacables entre los tratamientos con y sin aporte de estiércol.

RESUMEN 5.11

AGRICULTURA Y ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS: ¿AMIGOS O ENEMIGOS? EL CASO DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LOS EVERGLADES (FLORIDA, USA)

Muñoz-Carpena, R. y Li, Y.C.

University of Florida IFAS-TREC (USA). carpena@ufl.edu

La reducción del transporte de agroquímicos a través de la zona no saturada (ZNS) hacia acuíferos superficiales es un problema prioritario para la sostenibilidad de la agricultura en todo el mundo. Este problema se agudiza en zonas agrícolas adyacentes a espacios naturales o protegidos, donde el impacto medioambiental puede ser inmediato. En países desarrollados, la opinión pública, cada día más sensibilizada en temas medioambientales, demanda prácticas culturales menos contaminantes y reguladas (Buenas Practicas Agrícolas, BPA). Actualmente, en Estados Unidos se viene desarrollando el proyecto de restauración ecológica más caro (>10.000 millones €) y complejo (9 agencias y más de 3.000 científicos y técnicos) de la historia en la zona natural de los Everglades (Reserva de la Biosfera) al sur de la Florida. El objetivo consiste en restaurar los hidroperiodos (altura y estacionalidad del agua en la superficie pantanosa) a su régimen natural anterior a la construcción del complejo sistema de canales de drenaje realizado en la primera mitad el siglo pasado. Aunque esta obra pública posibilitó el desarrollo y asentamiento de la zona de Miami (al sureste de los Everglades), su impacto medioambiental ha sido enorme, debido a que interceptó el flujo superficial natural que alimentaba a los Everglades desde el norte (Lago Okeechobee). La urbanización del gran Miami se extiende hacia el Parque Natural de los Everglades rápidamente. Entre la ciudad y el espacio protegido se encuentra una de las zonas agrícolas más singulares de EEUU, especializada en productos tropical/subtropicales (hortícolas, frutas y ornamentales), de gran impacto en la economía estatal (producción >1.000 millones €). La agricultura en esta zona se está re-planteando actualmente como un "buffer" (sistema amortiguador) entre el espacio protegido y la zona urbana. Sin embargo, este papel está comprometido por factores de tipo comercial y medioambiental. La hidrología extrema de la zona (precipitaciones 1500 mm, acuíferos muy superficiales de origen coralino con transmisividades entre las más altas del planeta), así como la inexistencia de suelo natural, hacen de éste un medio muy susceptible a la contaminación por agroquímicos. El sector agrícola de la zona está encaminado en la reducción de su impacto potencial sobre la calidad de agua de la zona a través de la aplicación de BPA. En este trabajo se revisan varias de las BPA de aplicación a la ZNS que se están desarrollando en la zona.

RESUMEN 5.12

DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN UN SUELO DEGRADADO ENMENDADO CON RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS

Walter, I.; Martínez, F. y Cuevas, G.

Dpto. de Medio Ambiente, INIA. Carretera de La Coruña, km 7 28040 Madrid. walter@inia.es

En 1997 se inició una experiencia en la zona sureste de la Comunidad de Madrid con el objetivo principal de recuperar la fertilidad de un suelo degradado mediante la aplicación en superficie de diferentes dosis de lodo anaeróbico y de residuo sólido urbano (0, 40, 80 y 120 Mg ha^{-1}). En el presente trabajo se describen los resultados obtenidos del estudio de la dinámica de los metales pesados Zn, Pb, Cd, Ni, Cu y Cr en el periodo de cinco años. Si bien los metales pesados totales, de forma general, han aumentado significativamente debido a la aplicación de los residuos en todas las dosis, los metales pesados extraídos con DTPA (llamados asimilables) no han experimentado grandes cambios. Se registra un aumento significativo en el contenido de Zn, Pb, y Cu asimilables en todos los tratamientos con RSU, el Cd solamente presenta un aumento significativo en los tratamientos de 80 y 120 Mg ha^{-1} y el Ni únicamente con la dosis más alta de este residuo. Las parcelas con aplicación de lodo anaeróbico registran un aumento significativo sólo en los metales Zn y Cu. Este aumento comienza a manifestarse a partir del tercer año de la aplicación y los valores obtenidos están por debajo de los alcanzados en las parcelas tratadas con RSU en su dosis más bajas. El Cr, extraído con DTPA, no fue detectado en ningún tratamiento (valor por debajo del limite de detección). Se ha calculado el porcentaje que corresponde la fracción asimilable de cada metal con respecto a su contenido total para cada año, observándose que hay una dinámica en los metales pesados bien diferenciada entre ambos residuos, probablemente debido a la diferente descomposición de sus materias orgánicas.

RESUMEN 5.13

ESTUDIO DE LA DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO Y BORO APORTADOS POR LAS AGUAS DEPURADAS: METODOLOGÍA Y RESULTADOS PRELIMINARES.

Mendoza-Grimón, V[1]; Rodriguez-Martín, R[2]; Fernández Vera, J.R[1]; Palacios Díaz, MP[1] y Hernández Moreno, JM[2].

(1) Dpto. Agronomía. Univ. Las Palmas de Gran Canaria. mpalacios@dpat.ulpgc.es
(2) Dpto. Edafología. Univ. La Laguna.

El fósforo y el boro son dos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. En los análisis rutinarios de las aguas depuradas no se discriminan las especies químicas en las que se aportan dichos nutrientes. La asimilabilidad es diferente para las distintas especies cultivadas y su capacidad de adsorción en el suelo varía, por lo que este estudio resulta imprescindible para corregir los programas de abonado y determinar el riesgo potencial de la reutilización de este recurso. La metodología tradicional de suelos utiliza métodos destructivos mientras que la metodología propuesta en este estudio utiliza pelos radicales, que son muestreadores de solución de suelo no destructivos y que permiten obtener varias tomas in situ. Se realiza un estudio de optimización de los métodos analíticos y un ensayo de calibración para discriminar el efecto debido al muestreador utilizado, con un suelo regado con agua de riego convencional (AR) y con otro regado con agua depurada (AD) en una finca situada al noroeste de Gran Canaria Se ha determinado fósforo y boro (fracciones inorgánica y total) en: (a) la solución del extracto saturado (convencional), (b) la solución extraída a través de los pelos inmersos en dicha solución del suelo y (c) la solución extraída por los muestreadores colocados en una muestra de suelo saturado. Se presentan los resultados obtenidos en una parcela experimental, regada con agua depurada y cultivada con alfalfa y pasto del Sudán, tras diferentes periodos después del riego.

Para las determinaciones de fósforo se ha utilizado el método del ácido ascórbico y el método de la azometina para el Boro. Las concentraciones de fósforo inorgánico obtenidas en el suelo regado con AD son inferiores a las obtenidas en suelo regado con AR. Para el boro la tendencia es la contraria (más boro inorgánico en el suelo regado con AD).

Las concentraciones de boro inorgánico medidas en la solución del extracto saturado del suelo (a) fueron similares a las obtenidas en la solución extraída a través de los pelos inmersos en dicha solución (b). Este hecho parece indicar que los pelos radicales no afectan a la composición química de las soluciones extraídas. Ambas concentraciones resultaron inferiores a las medidas en las soluciones extraídas por los pelos radicales en suelo *in situ* saturado (c). Esto parece indicar que los pelos introducen modificaciones en las soluciones debida a algún efecto físico derivado de las condiciones de extracción. Las muestras obtenidas por los pelos en suelo regado con AD (c) tienen una concentración superior a las obtenidas en el regado con AR.

Las concentraciones de fósforo inorgánico tienden a ser superiores en las muestras obtenidas en el suelo regado con AR que en el regado con AD (tanto en las muestras de laboratorio como en campo). Esto parece indicar una tendencia a la inmovilización de las formas de fósforo aportadas. No parece existir efecto del tipo de muestreo en las concentraciones determinadas de fósforo inorgánico. Contrariamente a lo que sucedía con el B, las concentraciones en la zona radicular de alfalfa son inferiores a las del pasto del Sudán.

RESUMEN 5.14

CAMBIOS EN EL PH DEL PERFIL DE UN SUELO ÁCIDO CULTIVADO Y ENMENDADO CON DIVERSOS MATERIALES PARA INCREMENTAR SU FERTILIDAD

González Fernández, P.[1]; Ordoñez Fernández, R.[1]; Espejo Serrano, R.[2] y Peregrini Alonso,F.[2]

(1) CIFA " Alameda del Obispo". Apartado 3092. 14080 Córdoba. pedro.gonzalez.fernandez@juntadeandalucia.es
(2) ETSI Agrónomos. Univ. Politécnica. Ciudad Universitaria 28040 Madrid.

Los suelos ácidos limitan severamente el desarrollo de las cosechas por sus propiedades fitotóxicas y deficiente abastecimiento de nutrientes esenciales.

En un suelo ácido y muy meteorizado (Plinthic Palexerult) representativo de los suelos de raña del SurOeste de la Península Ibérica se han ensayado seis enmiendas distintas con el fin de incrementar su fertilidad natural. Como índice de la efectividad de las medidas correctoras aplicadas al suelo y de su evolución durante 1603 días, se ha utilizado la medida de la actividad de los protones en unas suspensiones 1:2,5 suelo / agua o solución de Cl_2Ca 0.1M. Como productos enmendantes se utilizaron: Espumas de azucarería, dolomita, yeso, y residuos dolomíticos de convertidores. Todos los enmendantes aplicados excepto el yeso cuando lo es de forma aislada incrementan el pH. En las parcelas tratadas sólo con yeso se detecta una ligera disminución del pH en los horizontes subsuperficiales.

El máximo efecto de los encalantes se produce, en estas condiciones, a los 452 días de su aplicación, .

El suelo natural, sin enmiendas, sometido a un cultivo continuo con abonados NPK, sin aporte alguno de Ca o Mg, apenas disminuye su pH a pesar de que a lo largo del periodo en estudio ha recibido 577 kg/ha de N en forma de fertilizantes nitrogenados, de los cuales un 50 % estaban en forma amónica o ureica. El efecto acidificante de estos abonos se contrarresta en gran medida con un mayor aporte de bases y materia orgánica procedentes de la mayor biomasa producida. El rango de variación de su pH oscilaba 1,29 unidades, con un Coeficiente de Variación del 8.8 %. Oscilación sólo igualada o superada por los cambios en los pH medios de las parcelas tratadas con dolomías (1,5 unidades) o Dolomía+ Yeso + Cenizas volantes (1, 28 unidades). Los valores mas estables se presentan en el tratamiento con Espumas de Azucarera y en el tratamiento con Dolomía+Yeso+Residuos Dolomíticos.

Los efectos de las dolomias y espumas perduran al cabo de los 1603 días, siendo detectables los incrementos del pH causados en el epipedion y en el horizonte AB. En el horizonte mas profundo (Bt),los resultados sugieren que solo el tratamiento con yeso alteró el pH; disminuyendolo significativamente hasta el muestreo del día 452. El yeso por su mayor solubilidad tiene unos efectos aparentemente mas efímeros pero más profundos; tal como se esperaba.

RESUMEN 5.15

FERTIRRIGACIÓN POTÁSICA EN OLIVAR. RESPUESTA DEL ÁRBOL Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL EN EL SUELO DEL K EXTRAÍBLE.

Hidalgo, J.C.[1]; Pastor, M.[2]; González, P.[2] y Ordóñez, R.[2]

(1) Servicio de Asesoramiento al Regante. Caja Rural de Jaén.
jchidalgo_cajarural@hotmail.com
(2) Dpto. Suelos y Riegos. CIFA Córdoba. DGIFA. CAP Junta de Andalucía.

El cultivo del olivar tiene una gran importancia económica en España, y especialmente en Andalucía, región en la que se produce más del 70% del aceite de oliva español. En la actualidad el olivar es el primer cultivo de regadío de esta región, con una superficie regada de 230.193 hectáreas.

El sistema de riego más utilizado es el de goteo de alta frecuencia. En dicho sistema, la aplicación de abonos junto con el agua de riego es especialmente importante, sobre todo en años secos, en los que el árbol debe extraer del bulbo húmedo todos los nutrientes que necesita, por lo que si no se aplicaran fertilizantes junto con el agua de riego, probablemente se produciría un empobrecimiento progresivo del bulbo, lo que comprometería el abastecimiento de las necesidades nutritivas de la planta.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la respuesta del olivo a diversas dosis de abonado potásico aplicado en fertirrigación, así como la dinámica que el potasio sigue en el suelo y la recarga de este elemento en la zona afectada por el riego.

La parcela en la que se han realizado los experimentos está situada en una terraza baja del Guadalquivir sobre unos suelos poco evolucionados que se pueden clasificar como *Typic Xerofluvent*. Se ha utilizado un diseño experimental en bloques al azar con 4 repeticiones por tratamiento. La parcela elemental estaba formada por una fila de 5 olivos de los que se controlaron los tres árboles centrales. El estudio, de 4 años de duración, comenzó en el año 1999 en un olivar de la variedad `Picual´ que no había sido abonado desde su plantación con fertilizantes potásicos.

Los tratamientos de fertirrigación K han sido tres: a) testigo sin abono potásico; b) 100 kg K_2O ha^{-1}; c) 200 kg K2O ha^{-1}. En ambos casos se utilizó *cloruro potásico* como fuente de K.

En otoño de 2000, se tomaron muestras de suelo, tanto en la zona humedecida por el riego (bajo el emisor y a 20, 40 y 60 cm del emisor) como de la zona no regada (en el centro de la calle), así como a diferentes profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm y 60-80 cm). Una vez secas al aire se ha determinado el contenido de K+, Mg^{2+}, Na^{+} y Ca^{2+} extraíbles con acetato amónico 1N a pH 7. Además se realizó la extracción de los fosfatos del suelo, según el método Olsen. Anualmente se han pesado las producciones de aceituna de los olivos, determinándose en laboratorio su rendimiento graso mediante R.M.N. desecando previamente la muestra hasta peso constante. A partir de los datos anteriores se ha calculado la producción de aceite por olivo.

Los contenidos de K extraíble con acetato amónico han revelado un considerable movimiento del potasio en el suelo cuando se aplica en fertirrigación, produciéndose un enriquecimiento significativo de K en la zona humedecida por el riego, especialmente en el tratamiento con 200 kg K_2O ha^{-1}. En el caso del tratamiento control, sin abonado potásico,

se observa un agotamiento que sitúa los niveles de K extraíble en bajos o muy bajos.

El abonado K ha afectado positivamente a la producción de aceite del olivar, aunque debido a la variabilidad observada las diferencias no han resultado ser significativas, lo que hace pensar que a medio y largo plazo las diferencias con respecto al control se irán haciendo cada vez mayores, lo que es lógico pensar si tenemos en cuenta el empobrecimiento observado del bulbo y las importantes extracciones que se producen en un olivar de regadío de alto rendimiento.

La fertilización P en fertirrigación realizada en todos los tratamientos ha aumentado los niveles de fósforo asimilable en los primeros centímetros de suelo así como a una cierta distancia en horizontal con respecto al emisor, lo que demuestra que la movilidad de este elemento es mayor en este tipo de fertilización que en abonado P convencional.

RESUMEN 5.16

LA ZONA NO SATURADA EN LA DIRECTIVA MARCO EUROPEA DEL AGUA: ¿LA GRAN IGNORADA?

F. Javier Samper Calvete

Catedrático de Universidad. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de La Coruña. Campus de Elviña s/n. 15192 La Coruña. España. samper@iccp.udc.es; http://caminos.udc.es/hs/default.html

El 23 de octubre del 2000 se publicó en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas la Directiva 2000/60/CE o Directiva Marco del Agua del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco común para la protección de las aguas. La Directiva Marco del Agua (DMA) define la política de la Comunidad Europea en el ámbito del medio ambiente que se orienta a la conservación, protección y mejora de la calidad del medio ambiente y a la utilización prudente y racional de los recursos naturales.

En esta ponencia se abordan los aspectos relativos a las aguas subterráneas en la Directiva, con énfasis en lo relacionado con las aguas situadas en la zona no saturada y su incidencia en la planificación y gestión de las aguas subterráneas en España. El tratamiento que la Directiva otorga a las aguas subterráneas es adecuado. Diferencia claramente las medidas necesarias para la protección de las aguas subterráneas que deben ser necesariamente diferentes a las que se deben adoptar para las aguas superficiales. Es certera en reconocer el carácter prioritario de los principios de prevención y protección para las aguas subterráneas. Sin embargo, la zona no saturada es totalmente ignorada en la DMA, no siendo siquiera mencionada en ninguno de sus artículos o anexos.

La ponencia analiza también las implicaciones de la DMA para España. La DMA enfatiza la necesidad de considerar de forma integrada las aguas superficiales y subterráneas. Las relaciones entre las aguas subterráneas y las de superficie se establecen fundamentalmente a través de: 1) la zona no saturada; 2) la conexión acuífero-río, 3) la descarga de las aguas subterráneas directamente a la atmósfera en sus múltiples formas (manantiales, zonas de rezume, humedales, ... etc) y 4) la interfaz acuífero-mar. En zonas semiáridas, como la mayor parte del territorio español, estas relaciones son especialmente complejas. Su estudio requiere técnicas sofisticadas y costosas. Los flujos de descarga/recarga de agua en humedales y ríos son difíciles de medir y estimar. El estudio detallado de estos flujos se ha abordado sólo en casos excepcionales y emblemáticos como las zonas húmedas de los Parques Nacionales de las Tablas de Daimiel y Doñana. La caracterización y cuantificación de las relaciones entre las aguas subterráneas y las superficiales va a suponer uno de los mayores retos para la aplicación de la DMA en España.

Entendemos que la DMA será beneficiosa para las aguas subterráneas en España ya que promoverá la implementación de medidas de protección de acuíferos, actualmente inexistentes, facilitará la participación de los usuarios en la planificación, gestión y explotación de los recursos hidráulicos y contribuirá a "desvelar" las indudables ventajas del uso de las aguas subterráneas, y remediar el injustificado sesgo actual existente en un gran número de organismos de cuenca a favor de las aguas superficiales. Además, la DMA será beneficiosa para los especialistas en Ciencias del Suelo y Geohidrología ya que:

promoverá el desarrollo de programas nacionales de acción en aguas subterráneas, facilitará el acceso de más expertos en aguas subterráneas a los organismos de cuenca y abrirá posibilidades para la educación y formación en aguas subterráneas.

RESUMEN 5.17

CAMBIOS EN LA ADSORCIÓN / BIODISPONIBILIDAD DE DOS FUNGICIDAS CON EL TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL SUELO

Lucía Cox, Pilar Velarde, Maria C. Fernandes, María C. Hermosín y Juan Cornejo

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC. Apdo 1052, 41080, Sevilla.

Los procesos de adsorción-desorción de plaguicidas en suelos determinan su biodisponibilidad y su posterior degradación en el suelo: las moléculas adsorbidas deben desorberse hacia la solución del suelo para poder estar biodisponibles a los microorganismos del suelo. Existe una gran variedad de modelos desarrollados para describir la biodegradación de plaguicidas, desde los que usan cinéticas de primer orden y cinéticas de Monod a los que combinan parámetros de difusión, adsorción y biodegradación. Algunos modelos caracterizan la disponibilidad del plaguicida para la biodegradación a través de un coeficiente de adsorción Kd, que es el cociente entre la cantidad de plaguicida adsorbido y cantidad en solución. Sin embargo, la adsorción se ha visto que se ve afectada también por el tiempo de residencia o envejecimiento ("aging") en el suelo, existiendo muy pocos datos en la bibliografía sobre biodisponibilidad y degradación de residuos de plaguicidas envejecidos. El objetivo de este estudio fue determinar los cambios en la distribución fase adsorbida/fase en solución de dos fungicidas, metalaxil y triciclazol, con el tiempo de residencia en el suelo. Para ello se seleccionaron dos suelos de diferentes características físico-químicas, se trataron con las dosis normales de campo de los respectivos fungicidas y se incubaron 30 días a 20 0C y con un contenido de humedad del 40 % de la capacidad máxima de retención de agua del suelo. Los suelos se muestrearon periódicamente y se determinaron los cambios en la concentración de fungicida en la solución del suelo (extraíble con una solución acuosa) y los cambios en la cantidad total de fungicida en el suelo (extraíble con un disolvente orgánico), que representan el plaguicida inmediatamente disponible para la biodegradación y lixiviación y el potencialmente disponible, respectivamente. Los coeficientes de distribución Kd para triciclazol fueron mayores que para metalaxil en ambos suelos, y para ambos fungicidas aumentaron con el contenido en materia orgánica y arcilla del suelo. Con el tiempo de residencia en el suelo, los coeficientes Kd aumentaron por un factor de 1.5 en el caso de metalaxil en ambos suelos, mientras que en el caso de triciclazol no se vió afectado el Kd en el caso del suelo de menor adsorción mientras que en el suelo de mayor capacidad de adsorción el valor de Kd aumentó por un factor de 1.4. Estos resultados indican que la adsorción de pesticidas en suelos no es un simple proceso de equilibrio, como se asume en la mayoría de los modelos de dinámica de plaguicidas en suelo.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado con el proyecto AGL 2001-1554 del Ministerio de Ciencia y Tecnología y RNM 124 de la Junta de Andalucía. M.C. Fernandes agradece a la Fundación para la Ciencia y Tecnología de Portugal por su beca predoctoral BFRH/BD/721/2000 del Programa POCTI