

LIXIVIACIÓN DE FORMAS SOLUBLES DE Ca^{++} , K^+ Y PO_4^- Y SU RELACIÓN CON LA CE Y EL PH EN CONDICIONES EXPERIMENTALES (HUELVA. ESPAÑA).

¹Orihuela, D.L.; ¹Hernández, J.C.; ¹Romero, E.; ¹González, A.

¹ Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva. España. E-mail: orihuela@uhu.es

RESUMEN. La lixiviación de las formas solubles de los abonos de síntesis ha sido una preocupación en el mundo científico en los últimos años por las repercusiones económicas que dichos procesos involucran en la agricultura intensiva. Estudiamos en este caso las formas de Ca^{++} , K^+ y PO_4^- . Se estudia en este trabajo un proceso de lixiviación controlado con aplicaciones de abonos, en parcelas experimentales, realizado en la Universidad de Huelva- España. El proceso de toma de muestra de las aguas de lixiviación se ha realizado mediante captación con cápsulas de cerámica porosa a diferentes profundidades. El proceso de análisis se realiza en campo, directamente mediante un aparato portátil de reflectometría (Reflectoquant). Se estudian las formas solubles (Ca^{++} , K^+ , PO_4^-), concluyéndose como hechos más significativos que el proceso de lixiviado está condicionado por la evolución del pH y de la CE (Conductividad Eléctrica) de las aguas en los perfiles de la zona no saturada del suelo.

ABSTRACT. During the past few years leaching of the soluble species from fertilisers has been a concern of much importance due to the economic repercussions of this process the intensive agriculture. In this work, the study of Ca^{++} , K^+ and PO_4^- is presented. A controlled leaching process after the applications of fertilizers is studied in experimental plot by University of Huelva (Spain). Sampling of soil solution has been done by means of ceramic capsules to different depths. The analysis process is carried out in field, directly, by means of reflectometry with portable apparatus (Reflectoquant). The soluble forms (Ca^{++} , K^+ and PO_4^-) are monitored, concluding as facts significant that the leaching process is conditioned by pH and CE (Electric Conductivity) in the not saturated area of the soil. Here the quantitative aspects of the treatments are discussed.

1.- Introducción

El objetivo principal del planteamiento de esta experiencia, en el contexto del proyecto de investigación que lo financia, era ajustar lo más exactamente posible las dosis de abonado, para el mejor desarrollo del cultivo que nos ocupa (*Stevia rebaudiana* Bertoni), y la evitación de sobredosis, especialmente en lo que se refiere a la fertilización nitrogenada. Por tal motivo se intenta controlar los excesos de formas solubles mediante la captación de las mismas, teniendo en cuenta que con el control del riego se

pretende en teoría la “opción cero”, es decir que por debajo del nivel del sistema radicular de la planta, no se pierda agua y consecuentemente no se lixivien formas solubles más allá de la posición en que el sistema radicular pueda capturarlas.

El Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente (II PAI RNM 149), de la Universidad de Huelva, viene realizando aportaciones al estudio del tránsito de contaminantes a través de la zona no saturada desde 1992, presentando sus experiencias a los foros internacionales que se organizan sobre esta temática concreta. Los trabajos de Orihuela et al. (1998) y González et al. (1998) y otros, suponen las aportaciones más relevantes. Paralelamente se han realizado actividades académicas conducentes a informar sobre las técnicas utilizadas y las posibilidades reales que existen en la investigación y aplicación a casos concretos (Garrido, 1994). No podemos olvidar que el sector costero de la provincia de Huelva está caracterizado por la presencia de cultivos intensivos extratempranos sobre los que se asienta gran parte de la economía de la zona.

Stevia rebaudiana es una hierba perenne que pertenece a la familia de las compuestas. Puede permanecer en el campo, sin reducción de rendimiento, durante unos 7 años. En clima mediterráneo son posibles 3 cosechas por año.

Es nativa de la cordillera del Amambay, al nordeste de Paraguay. Allí sus hojas han sido usadas por siglos por los indios Guaraní, para disminuir el sabor amargo de algunas medicinas y tés. La llamaban Kaá-Heé (hoja de miel).

Los europeos empezaron a tener conocimiento de la *Stevia* a través de los primeros colonizadores españoles alrededor de 1550, que aprendieron de la población local indígena acerca de la calidad dulcificante de la planta. La llamaron "hierba dulce".

Los modernos científicos a finales de este siglo se han interesado por la *Stevia rebaudiana*, pues sus hojas contienen varios agentes químicos llamados glucósidos, son los que dan el sabor dulce pero no proporciona calorías. El mejor glucósido es el denominado stevioside, su poder edulcorante es 200-300 veces superior al de la sacarosa, y es actualmente uno de los edulcorantes naturales más usados en Japón y Corea.

Usos potenciales de la *Stevia rebaudiana*:

- Como edulcorante natural, sustituyendo a los edulcorantes artificiales.
- Para producir clorofila para medicamentos e higiene oral.
- Para producir sustratos para la fabricación biotecnológica de giberelinas.
- Para producir fitosterolios como sustrato básico para productos farmacéuticos.

- Para fabricar ensilados para el cebo de cabras y ovejas.
- Para la producción de celulosa a partir de los tallos.

2.- Metodología

Se ha trabajado en dos parcelas experimentales situadas, la primera, en el Campus de la Rábida de la Universidad de Huelva, y la segunda, situada en Cartaya (Huelva). En la primera parcela se cultivan cítricos, melocotoneros y plantas forrajeras principalmente. En la segunda, exclusivamente stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni)

En la primera parcela, para el estudio del tránsito de contaminantes en zona no saturada (ZNS), se instalaron baterías de tomamuestras dotados con cápsulas de succión de cerámica porosa y de teflón. Se pretendía evaluar individualmente el comportamiento de cada tipo de cápsula y, posteriormente, realizar un estudio comparado.

En la segunda parcela se pretendía medir la posibilidad de lixiviados de abonos en parcelas reales.

Los resultados de la primera se han expuesto en otros foros (Gonzalez, A. 1999). Los resultados parciales de la parcela de Stevia se exponen aquí.

Las características edáficas más importantes de los suelos sobre los que estaba plantada stevia presentaron la siguiente analítica (Laboratorio Regional Agrario de la Junta de Andalucía).

Tabla 1: Principales características del suelo de la parcela.

pH al agua:	8,36
Textura:	Franca (Ar 37%; Ac 24,5 %; Lm 38,5%)
Materia orgánica:	0,77%
Nitrógeno total:	0,047%
C.I.C:	23,81 meq/100g.
Ca-cambio:	16,22 meq/100g
Mg-cambio:	6,92 meq/100g.
Na-cambio:	0,28 meq/100g.
K-cambio:	0,39 meq/100g.
P-asimilable:	12 ppm OLSEN.
K-asimilable:	153 ppm.

El muestreo de las aguas de las cápsulas para la totalidad de la parcela se llevó a cabo con periodicidad mensual de Noviembre a Febrero por ser esta la época de lluvias. Las muestras fueron analizadas de forma inmediata en campo por Reflectometría, mediante un reflectoquant de la firma Merk y entre otros se analizaron los parámetros cuyo estudio se presenta en esta comunicación: pH, Conductividad Eléctrica, Calcio Potasio y Fosfatos .

La parcela experimental tenía una superficie de 32 x 30 m. Esta parcela se subdividió en cuatro subparcelas, (S1,S2,S3 y S4) para producir cuatro repeticiones de cada plot, dejando pasillos de 2 m. Cada una de las subparcelas contenían 12 plot experimentales de 3x4 m. En cada subparcela se aplican tres niveles de Nitrógeno, tres de Fósforo y tres de Potasio además de los testigos sin abonar. Las dosis de abono aplicadas en las parcelas de las cápsulas, las que tenían diferentes niveles de nitrógeno, fueron las siguientes:

N0: 0 kg de N; 100kg/ha de P_2O_5 ; 300 kg/ha K_2O

N1: 100 kg/ha urea; 100kg/ha de P_2O_5 ; 300 kg/ha K_2O

N2: 200 kg/ha urea; 100kg/ha de P_2O_5 ; 300 kg/ha K_2O

N3: 400 kg/ha urea; 100kg/ha de P_2O_5 ; 300 kg/ha K_2O

El riego fue equivalente a 8.000 m^3/ha y año. Se instalaron tensiómetros para poder mantener la humedad próxima a la capacidad de campo.

Las precipitaciones fueron: Noviembre 125,4 mm.; Diciembre 120,4 mm.; Enero 120,6 mm., y Febrero 0,30 mm según el Observatorio Meteorológico de Huelva.

De acuerdo al diseño experimental (Figura 1), se instalaron cápsulas de cerámica en los plots que tenían abonado nitrogenado en diferentes dosis, por ser este el elemento más fácilmente percolable dentro de los abonos normalmente usados en la agricultura. Estas cápsulas se instalaron a dos profundidades distintas, 0,30 y 0,60 m. respectivamente. Se procedió al transplante de las plantas de stevia y se instaló un sistema de riego por goteos, mediante cinta.

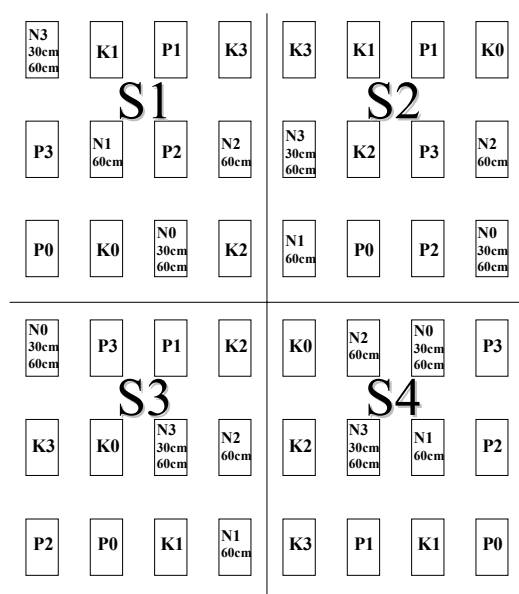


Figura 1. Diseño experimental de la parcela de Stevia.

Los tomamuestras de cerámica porosa francesa SDEC 3100 (Figura 2) consta de elementos ampliamente explicados en la bibliografía científica, y por lo general en sistemas de riego no suele tener excesivos problemas por pérdida de vacío.

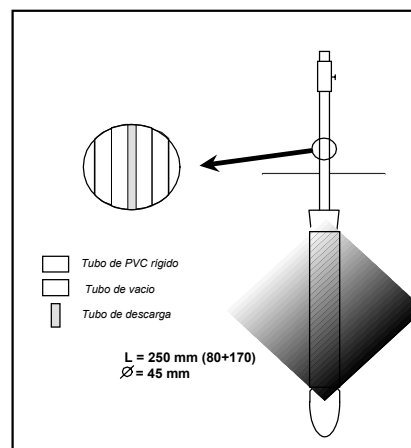


Figura 2. Detalle de las características de la cápsula porosa instalada.

En realidad al estar bajo el suelo normalmente húmedo cualquier poro que se produzca en la unión de las piezas puede ser rellenado por las arcillas del suelo. Aun conociendo las serias limitaciones en cuanto a su uso (Morell, I. 1998) para el estudio de determinados parámetros químicos y físico-químicos del agua se eligió este tipo de cápsula con preferencia a las de teflon, y es que las cápsulas de teflón son elementos simples con las piezas unidas por roscas. Es en el exterior donde se originan los problemas al estar la conexión capilar-matriz de almacenamiento al aire libre. La propia experiencia indica que a pesar de usar diversos productos adhesivos y/o aislantes existentes en el mercado, sigue dando problemas de pérdida rápida de vacío. Añadase a ello la gran dificultad de laboreo en parcelas de campo con matraces en superficie o escasamente enterrados. En condiciones de laboratorio, en medio saturado, ambas ofrecen óptimo resultado.

En las experiencias, las cápsulas de cerámica a la vez que succionan tienen capacidad almacenadora; este volumen se extrae posteriormente por medio de una jeringa convencional

3.- Resultados

Tabla 2. Datos experimentales (Los valores de las claves numéricas se citan en la literatura)

S	P	N-A	T	pH	CE(mmhos/cm)	Ca(mg/l)	K(mg/l)	PO4=(mg/l)
1	2	3	1	8,8	0,9	10,8	0,32	25,0
1	1	4	1	7,6	1,5	12,6	0,52	40,0
2	2	1	1	8,5	1,2	23,7	0,85	90,0
2	2	2	1	8,6	0,8	32,5	0,77	60,0
4	1	1	1	8,8	0,8	35,3	0,95	101,0
1	1	1	2	8,2	0,1	43,7	0,26	67,0
1	2	1	2	7,1	0,5	7,9	0,74	12,0
1	2	2	2	7,0	0,1	8,2	0,67	104,0
1	2	3	2	8,3	0,3	9,6	0,52	106,0
1	1	4	2	8,4	0,2	13,2	0,85	19,0
1	2	4	2	6,8	0,6	9,4	1,14	10,0
2	1	1	2	7,5	0,7	5,9	0,92	10,0
2	2	1	2	8,4	0,5	15,9	0,97	30,0
2	2	2	2	9,0	0,4	27,8	0,37	106,0
3	1	1	2	7,5	0,3	37,0	0,92	9,0
3	2	1	2	8,3	0,6	26,1	0,36	18,0
4	1	1	2	8,5	0,4	3,4	1,02	16,0
4	2	4	2	8,8	0,3	18,0	0,94	51,0
1	1	1	3	6,0	0,5	32,8	1,09	113,0
1	2	1	3	8,0	0,3	5,7	0,61	76,0
1	2	2	3	6,1	0,6	36,8	0,94	70,0
1	2	3	3	7,6	0,5	39,3	1,09	31,0
1	1	4	3	7,3	0,6	33,5	1,19	119,0
1	2	4	3	8,1	0,4	24,6	0,37	69,0
2	1	1	3	8,1	0,4	12,5	0,57	53,0
2	2	1	3	5,0	0,5	24,7	0,71	21,0
2	2	2	3	7,1	0,3	31,1	0,36	25,0
2	2	3	3	6,6	0,5	6,3	1,11	71,0

2	1	4	3	7,9	0,4	19,0	0,43	13,0
3	1	1	3	7,8	0,4	19,7	0,67	25,0
3	2	1	3	8,0	0,5	9,8	1,14	45,0
3	2	2	3	7,9	0,4	29,0	0,70	91,0
3	2	3	3	7,7	0,6	37,4	0,94	78,0
3	1	4	3	8,2	0,3	34,0	0,25	9,0
4	1	1	3	7,6	0,6	3,5	0,44	97,0
4	2	2	3	8,0	0,4	36,7	0,50	91,0
1	1	1	4	8,8	0,6	20,9	0,85	45,0
1	2	1	4	7,4	0,5	3,4	0,91	109,0
1	2	2	4	7,4	0,3	7,3	0,36	75,0
1	2	3	4	8,5	0,5	28,6	0,92	117,0
1	1	4	4	7,4	0,4	20,6	0,67	82,0
1	2	4	4	7,6	0,5	14,9	1,08	13,0
2	1	1	4	7,6	0,4	39,2	1,15	62,0
2	2	1	4	8,9	0,3	41,7	0,48	55,0
2	2	2	4	9,3	0,4	43,8	0,37	29,0
2	1	4	4	9,3	0,5	21,9	0,78	75,0
3	1	1	4	8,7	0,4	19,0	0,93	31,0
3	2	1	4	8,4	0,3	23,9	0,85	107,0
3	2	3	4	8,0	0,5	24,0	1,19	45,0
3	1	4	4	8,9	0,6	20,9	0,48	118,0
4	2	4	4	8,4	0,5	30,1	1,07	15,0

Claves de Lectura

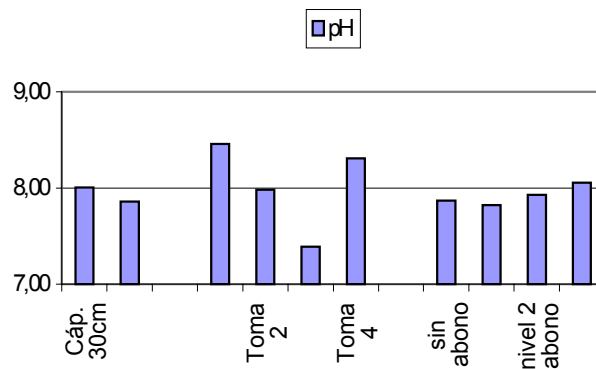
S= Subparcelas de replicación. (1: S1; 2: S2; 3:S3; 4:S4)

P= Profundidad colocación cápsula. (1: 0,30 m. ; 2: 0,60m.)

N-A= Nivel de abono nitrogenado (1: sin abono; 2: nivel 1 de abono; 3: nivel 2 de abono; 4: nivel 3 de abono).

T= Toma (1: Noviembre; 2:Diciembre; 3:Enero; 4:Febrero).

Figura 3: Representación de pH en la cápsulas.



3.1.- pH

Los suelos de la parcela experimental presentaban una textura franca con pH elevados debido aun componente cálcico de cambio notable. Este valor del pH condiciona el mismo en las aguas lixiviadas que son captadas por las cápsulas.

En la figura 3 se observa que :

1. Las aguas drenadas a diferentes profundidades presentan el pH propio del suelo que les rodea. No hay diferencias significativas en el pH entre las cápsulas a 0,3m. con respecto a las de 0,6m.

2. A lo largo del tiempo, es decir en las diversas tomas, el pH inicial es mas alto que en las dos tomas siguientes y después vuelve a recuperarse. Este fenómeno se debe al efecto de lavado que se produce en los suelos por efecto de la lluvia del invierno. Cuando cesa la lluvia de nuevo el agua drenada vuelve a tener un pH mas alto.
3. Diferentes niveles de abonado nitrogenado en los plots no establecen diferencias significativas en los valores del pH de las aguas de lixiviación.

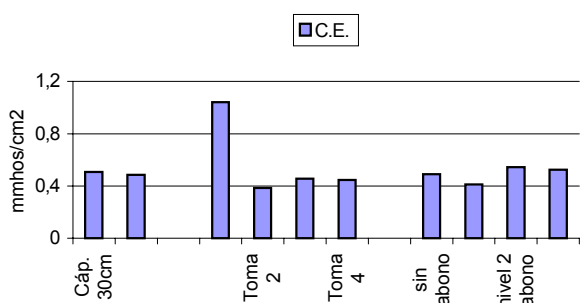


Figura 4: Representación de la CE en las cápsulas.

3.2 C.E.

Los valores de la CE observados en las aguas (figura 4) presentan una evolución muy consonante con la pluviometría, y como más importante decir:

1. La CE en las aguas no presentan diferencias significativas con respecto a la profundidad
2. Si hay diferencias significativas respecto a la CE en el tiempo. Las aguas drenadas al inicio del invierno tienen una CE significativamente mayor que las aguas que se drenan en el resto del invierno. Cuando vuelva la época seca es razonable pensar que la conductividad se eleve de nuevo.
3. Diferentes niveles de abonado nitrogenado, a las dosis empleadas en esta experiencia no modifican significativamente los niveles de CE. en las aguas.

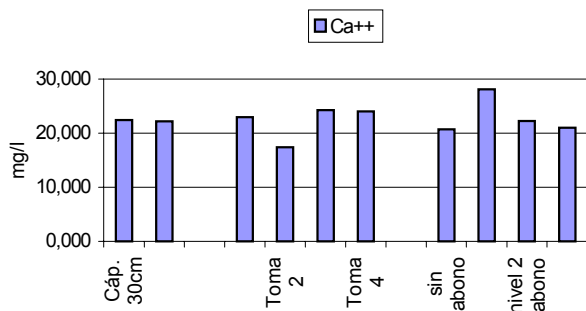


Figura 5: Representación de Ca^{++} en las cápsulas.

3.3 Calcio

1. Los valores analíticos del Ca en las aguas a 0,3m y a 0,6 m (figura 5) no son significativamente distintos. Las aguas presentan en ese perfil de profundidad una cierta uniformidad. Esto es consonante con la propia analítica del suelo, puesto que quien gobernará el

nivel del calcio en las aguas es el nivel del calcio cambiante en el suelo. Este es alto y mantendrá estos niveles también altos y constantes en las aguas.

2. No hay diferencias significativas con respecto al tiempo. Es decir la pluviometría y los riegos no diluyen significativamente las soluciones en calcio. Aparentemente hay una bajada después de las intensas lluvias de Noviembre-Diciembre pero su cuantía no es significativa.
3. Diferentes niveles de abonado nitrogenado no modifican los niveles de calcio en las aguas. De hecho los abonos usados se comportan como neutros.

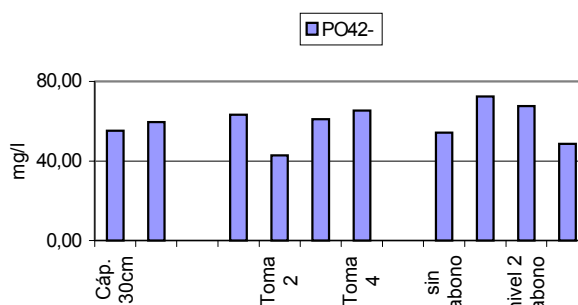


Figura 6: Representación de PO_4^{2-} en las cápsulas.

3.4 Fósforo

1. No hay diferencias entre en las formas fosfóricas analizadas (figura 6) a diferentes profundidades. Es decir el suelo en un perfil de 0,6 m presenta una uniformidad en este elemento.

Igual sucede respecto al tiempo y con respecto del uso de diferentes abonos nitrogenados. La disolución del "pool" de formas solubles de fósforo estará especialmente condicionada no solo por la reserva orgánica del suelo, sino especialmente por el pH. Los valores de pH observados en estos suelos posiblemente estén bloqueando formas fosfóricas que no aparecen en las aguas de lixiviación, y de ahí su bajo nivel en las analíticas.

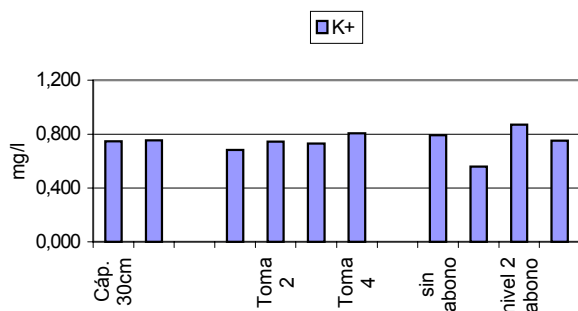


Figura 7: Representación de K^+ en las cápsulas.

3.5 Potasio

2. No hay diferencias entre el potasio analizado (figura 7) a diferentes profundidades. Es decir el suelo en un perfil de 0,6m presenta uniformidad en las analíticas de este elemento.

Igual sucede respecto al tiempo y con respecto del uso de diferentes abonados nitrogenados. Se concluye pues que el potasio de cambio gobierna el potasio soluble y mantiene unos niveles constantes, aunque bajos, en los suelos que nos ocupan.

cápsulas de cerámica y PTFE. *Progresos en la Investigación en Zona no Saturada*. Collectánea, 11. Serv. Publ. Univ. Huelva. pp: 89 - 108.
URBANO, P. (1992). *Tratado de Fitorécia General*. Mundi Prensa. Madrid.

4.- Conclusiones

1. El pH de las aguas del suelo siguen caminos paralelos con el propio pH del suelo, y las aplicaciones de abonos, en los márgenes agrícolas que aquí se aplican, no modifican ni espacial ni temporalmente su valor.
2. La C.E. de las aguas en los suelos agrícolas están influenciadas especialmente por el volumen de agua del suelo (riego y/o lluvia). Los abonos aplicados, en este caso, no influyen de forma significativa.
3. El calcio en las aguas del suelo está gobernado por el valor del calcio de cambio que es por lo general consonante con el pH.
4. El fósforo soluble en las aguas de los suelos agrícolas está condicionado por la reserva orgánica del suelo y sobre el no actúan significativamente ni el pH ni el volumen de agua del suelo.
5. El potasio de las aguas del suelo está gobernado por el potasio de cambio y en este caso no actúan sobre el resto de los condicionantes edáficos (pH, C.E. y volumen de agua).

Agradecimientos. La parcela primera se manejó con fondos del Plan de Investigación de la Junta de Andalucía y fondos del Proyecto Tioxide (Orihuela 1998).

La parcela segunda con fondos del Proyecto Europeo FAIR5-CT97-3751 (Orihuela 1997).

5.- Bibliografía

- DOMÍNGUEZ, A. (1978). *Abonos minerales*. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- FAO (1983). *Anuario FAO Fertilizantes*. Vol 33. Roma.
- FAO (1986). *Guía de fertilizantes y nutrición vegetal*. *Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal*. N1 9. Roma.
- FOSTER, N.W.; NICHOLSON, J.A.; HAZLETT, P.W. (1989). Temporal variation in nitrate and nutrient cations in drainage waters from a deciduous forest. *Jour. Environ. Qual.* 18, 238-244.
- GARRIDO, R. (1994) : Técnicas de muestreo en zona no saturada. Metodología. Impacto sobre el agua de las actividades agrícolas, urbanas e industriales. Edita Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente. Universidad de Huelva.
- GARRIDO, R.; ORIHUELA, D.; GONZÁLEZ, A.; ROMERO, E. (1998). Experiencias en zona no saturada en la parcela experimental de La Rábida (Palos de la Frontera. Huelva). Descripción y problemática. III Jorn. Inv. Z.N.S. GHMA. Univ. Huelva. Palos de la Frontera (in litt.).
- GONZALEZ, A; ORIHUELA, D.L.; ROMERO, E; GARRIDO, R. (1998) : Progresos en la investigación en zona no saturada. *Collectánea*, 11. Serv. Publ. Univ. Huelva.
- GONZALEZ, A; ROMERO, E; ORIHUELA, D.L.; GARRIDO, R. (1999) :Evaluación de tomamuestras de agua en parcela experimental de la Rábida. Palos de la frontera. Huelva. IV Jornadas de Investigación en la Zona no Saturada. Tenerife. Noviembre 1999.
- ORIHUELA, D.L.; GONZÁLEZ, A.; ROMERO, E.; GARRIDO, R. (1998):Evolución espacial de formas nitrogenadas (nitrito, amonio y nitratos), en suelos cultivados. *Progresos en la investigación en zona no saturada*. *Collectánea*, 11. Serv. Publ. Univ. Huelva. pp: 289 - 300.
- MORELL, I. y SÁNCHEZ, J.M. (1998). Evaluación de tomamuestras de cápsula porosa bajo condiciones de laboratorio: comparación entre