

NITRATO LIXIVIADO DE COLUMNAS DE SUELO SIN DISTURBAR, PERTENECIENTES A DOS SUELOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

LILY MARCANO¹, GRACIANO ELIZALDE²

¹Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Estado Carabobo. Venezuela

²Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Estado Aragua, Venezuela
e-mail: lmarcano@uc.edu.ve; elizalde@agr.ucv.ve

Recibido: octubre de 2008

Recibido en forma final revisado: mayo de 2009

RESUMEN

Se cuantificó el nitrato lixiviado en columnas de suelo sin disturbar de 2 suelos agrícolas diferentes en cuanto a sus propiedades químicas y físicas durante cuatro meses. El contenido de nitrato al inicio del ensayo en el suelo lacustrino fue mucho mayor que en el suelo aluvial. Después de los eventos de riego, disminuyó significativamente en todos los horizontes del suelo lacustrino, a diferencia del suelo aluvial donde aumentó. En el suelo lacustrino, el nitrato lixiviado aumentó gradualmente, alcanzando un máximo el día 72, cuando comenzó a disminuir, mientras que en el aluvial permaneció prácticamente constante durante todo el ensayo. La concentración de nitrato del lixiviado en suelo lacustrino ($50,48 \text{ mg L}^{-1}$) es 5 veces superior al límite máximo tolerable por las normas ambientales. Para el suelo aluvial la concentración del lixiviado es menor ($20,78 \text{ mg L}^{-1}$), pero aún así, es el doble de la concentración máxima tolerable. Por lo tanto, se considera que el riego actúa como un promotor de los procesos de nitrificación producidos por los microorganismos del suelo a costa de la materia orgánica del mismo, lo que lleva a pérdida de NO_3^- por lixiviación. Debido al mayor contenido de materia orgánica, alta permeabilidad y mayores requerimientos de agua de riego, las cantidades absolutas de N-NO_3^- lixiviadas que se obtuvieron después de 4 meses de ensayo, fueron mucho mayores para el suelo lacustrino (436 mg), que las lixiviadas en el suelo aluvial (30 mg).

Palabras clave: Nitrato Lixiviado, Columnas Sin Disturbar, Suelos Agrícolas, Suelo lacustrino, Lisímetros Monolíticos.

NITRATE LEACHATE FROM UNDISTURBED SOIL COLUMNS FROM TWO SOILS IN THE VALENCIA LAKE BASIN

ABSTRACT

Nitrate leaching was assessed in undisturbed soil columns in two agricultural soils. Initially, nitrate content at different horizons was much higher in lacustrine soil than in the alluvial soil. In lacustrine soil, nitrate leaching gradually increased, reaching the highest peak at day 72, when it started to decrease, while the alluvial remained virtually constant throughout the experiment. Nitrate leaching concentration in lacustrine soil (50.48 mg L^{-1}) is 5 times higher than the maximum tolerable limit for environmental standards. In alluvial soil it was lower (20.78 mg L^{-1}), but it is still twice the maximum acceptable concentration. Therefore, it is considered that irrigation acts as a promoter of the processes of nitrification produced by microorganisms in the soil at the expense of organic matter, which leads to loss of NO_3^- through lixiviation. Because of the higher content of organic matter, high permeability and higher requirements of irrigation water, the absolute amounts of nitrate leaching in lacustrine soil were much higher (436 mg) than that of alluvial soil (30 mg) after 4 months.

Keywords: Nitrate Leaching, Undisturbed columns, Agricultural soil, lacustrine soil, Lysimeter monolithic.

INTRODUCCIÓN

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del N, es la acumulación de nitratos en el sub-suelo de los suelos agrícolas que, por lixiviación, pueden incorporarse a las

aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales, creando graves problemas de salud si su concentración excede los niveles de tolerancia internacionalmente aceptados para aguas de consumo humano (10 mg/L). Los estudios realizados sobre el efecto

del proceso de lixiviación de los nitratos del suelo sobre la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, indican que existe una relación muy estrecha entre éste y las prácticas inadecuadas de manejo de los suelos (Martínez & Guiraud, 1990; Honecutt *et al.* 1991; Shuman, 2001; Ridley *et al.* 2001; Sierra *et al.* 2001), tales como el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados y estiércoles (Goulding, 2000; Jarvis, 2000) que se aplican al suelo y el riego intensivo (Cavero *et al.* 2003; Waddell *et al.* 2000). Otros factores que influyen la magnitud de las pérdidas por lixiviación son las condiciones climáticas, el tipo de suelo (Sogbedji *et al.* 2000) y de cultivo. La cantidad de N aplicado en la agricultura ha aumentado considerablemente en los últimos años. Sin embargo, se estima que, de lo aplicado, solamente un 30% (Urquiaga & Zapata, 2000) es aprovechado por el cultivo y el resto se pierde del suelo por diferentes vías, como la lixiviación. El flujo de nitratos a las aguas subterráneas vía lixiviación es función del volumen de agua drenada y el contenido de Nitrógeno nitrato (N-NO_3^-) del suelo, por ello las prácticas de conservación del agua pueden ser importantes en la reducción de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación (Cameron *et al.* 1992; Haynes, 1986). Los estudios de movimiento de agua y de solutos realizados en lisímetros ofrecen una buena alternativa para determinar la cantidad de nitrato lixiviado del suelo sin modificar sus condiciones hidráulicas, manteniendo la estructura prácticamente inalterada, bajo condiciones ambientales controladas (Goulding & Webster 1992; Casanova, 1995).

El objetivo de este estudio fue cuantificar el nitrato lixiviado de dos suelos agrícolas (lacustrino y aluvial), representativos de la Cuenca del Lago de Valencia (CLV), mediante la aplicación de riego, con la frecuencia necesaria para mantener los suelos húmedos, utilizando columnas de suelo sin disturbar durante cuatro meses.

TÉCNICAS EXPERIMENTALES

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Agrología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, utilizando lisímetros monolíticos con suelos sin disturbar, seleccionados con base a condiciones similares de relieve, clima, manejo y recientemente utilizados con cultivo de caña de azúcar. Ambos suelos son de clase textural franca. El suelo lacustrino ubicado en la estación experimental Samán Mocho, estado Carabobo y el aluvial en el Campo Experimental del CENIAP, INIA, estado Aragua. Los lisímetros monolíticos son columnas elaboradas con PVC, utilizadas para medir propiedades hidráulicas de los suelos, flujo y balance de agua y movimientos de solutos. En esta investigación se cuantificó el nitrato lixiviado en 2 suelos agrícolas (lacustrino y aluvial), representativos de la CLV, sin vegetación ni fertilización (Marcano, 2007). Para

ello se utilizaron columnas sin disturbar (3 columnas por suelo) de 20 cm de diámetro y 60 cm de profundidad donde se mantuvieron constantes todos los parámetros involucrados en el ciclo del nitrógeno, menos los intrínsecos de cada suelo, para obtener algunas conclusiones sobre las relaciones entre las condiciones de los suelos escogidos y el proceso de lixiviación de nitratos. Del mismo sitio donde se tomaron las columnas, se recolectaron muestras para la caracterización de los suelos en los diferentes horizontes. Se determinó el pH y la conductividad eléctrica potenciométricamente en extracto acuoso 1:2,5 y 1:2, respectivamente, el carbono orgánico por el método de oxidación húmeda de Wakley & Black (1936) modificado, nitrógeno total por el método Kjeldhal (Bremner, 1996). El contenido de humedad en cada horizonte de ambos suelos se determinó inicialmente y una vez finalizados los eventos de lavados, después de fraccionar las columnas por los horizontes establecidos. A todas las columnas se les aplicó periódicamente una lámina de agua de 1,1 cm, con la cual se mantuvo a los suelos permanentemente húmedos y cercanos a su máxima capacidad de retención de agua durante 4 meses, hasta acumular una lámina de 55,7 cm en 50 riegos espaciados tres días para el suelo lacustrino y de 16,7 cm en 15 riegos aplicados cada nueve días para el aluvial. Se tomaron las provisiones necesarias para no producir perturbación del suelo superficial en cada aplicación de agua. Después de cada evento de lavado, se midió el volumen lixiviado y las muestras fueron analizadas para determinar el contenido de nitratos presentes (Mulvaney, 1996). Se determinó el contenido de nitrógeno total (Bremner, 1996) y N-NO_3^- a profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm en muestras tomadas en los sitios donde se extrajeron las columnas y en las columnas fraccionadas a estas profundidades al final de los ensayos. El nitrógeno inorgánico se extrajo con solución 2M de KCl, (1:10 suelo: solución), (Mulvaney, 1996; Keeney & Nelson, 1982). Los resultados se analizaron estadísticamente por medio de la prueba no paramétrica de Wilcoxon Rank Sum Test a nivel de significancia 0,05%. La cantidad de amonio en el lixiviado fue insignificante comparada con la del nitrato, por ello no se reportan los valores obtenidos. Prunty & Montgomery (1991) en experimento realizado en lisímetros con maíz fertilizado con urea encontraron concentraciones de amonio lixiviado por debajo de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NH_4^+ , las cuales fueron insignificantes comparadas con la concentración de N-NO_3^- . La cantidad de N-NO_3^- en los lixiviados fue calculada, para cada evento, como el producto del volumen drenado por la concentración de nitrato. La concentración de nitrato promedio se obtuvo dividiendo la carga total de nitratos (mg acumulados) durante el experimento entre el volumen total lixiviado acumulado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 1 y 2 se muestran las características físico-químicas por horizontes del suelo lacustrino y aluvial, respectivamente.

Tabla 1. Características físico-químicas por horizontes del suelo lacustrino.

SUELO LACUSTRINO			
Propiedades	Profundidad (cm)		
	0-20	20-40	40-60
pH 1:2,5	7,75	8,14	7,90
CE 1:2 (dSm ⁻¹)	0,27	0,18	0,67
CO (%)	4,83	3,27	2,72
CaCO ₃ eq (%)	40,42	41,25	50,42
N-total (%)	0,4123	0,3119	0,2533
K(cm h ⁻¹)	4,22	8,12	8,30
EPT (%)	68,60	68,50	66,30
EP>15µm (%)	19,25	20,79	25,18
Da (Mg m ⁻³)	0,62	0,46	0,45
Arcilla (%)	25,2	15,2	19,2

Tabla 2. Características físico-químicas por horizontes del suelo aluvial.

SUELO ALUVIAL			
Propiedades	Profundidad (cm)		
	0-20	20-40	40-60
pH 1:2,5	6,10	6,65	7,46
CE 1:2 (dSm ⁻¹)	0,10	0,07	0,10
CO (%)	1,11	0,75	0,35
CaCO ₃ eq (%)	7,50	0,00	6,25
N-total (%)	0,0694	0,0495	0,0265
K(cm h ⁻¹)	0,0028	0,0015	0,0040
EPT (%)	36,93	38,71	40,86
EP>15µm (%)	5,40	7,80	5,53
Da (Mg m ⁻³)	1,58	1,61	1,59
Arcilla (%)	17,2	19,2	19,2

Los suelos son distintos en cuanto a varias de las propiedades relacionadas con la dinámica de los nitratos: contenido de carbono orgánico (%CO) y nitrógeno total (N-total), así como en la cantidad de CaCO₃ equivalente, densidad aparente (Da), espacio poroso total (EPT) y conductividad hidráulica (K).

El contenido de nitrato al inicio del ensayo en los diferentes horizontes en el suelo lacustrino fue mucho mayor que en el suelo aluvial (figura 1).

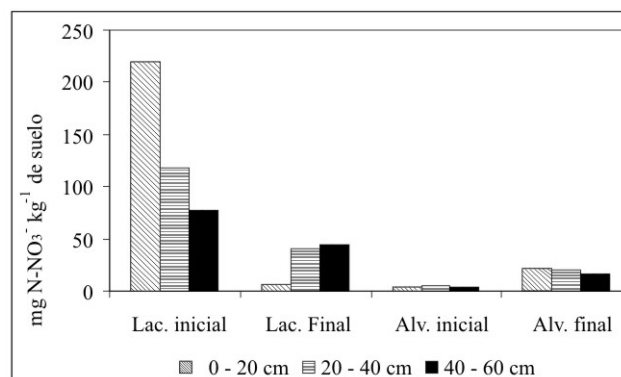


Figura 1. Contenido de N-NO₃-(mg N kg⁻¹suelo) por horizonte en ambos suelos, antes y después de los ensayos.

En el suelo lacustrino disminuyó el contenido de nitratos en todos los horizontes por efecto del riego, pero la disminución fue mayor en el horizonte superficial y menor en el más profundo. En este suelo, con pH ligeramente alcalino y alto contenido de materia orgánica, las pérdidas del N-NO₃ pudieron haber ocurrido por volatilización, además de la lixiviación, por lo que el nitrato disminuyó marcadamente en el horizonte superficial.

En el suelo aluvial los contenidos iniciales de Nitrato son bajos en todos los horizontes, posiblemente debido al bajo contenido de materia orgánica de todos ellos. Después de los eventos de riego del suelo aluvial el contenido de nitrato aumentó en todos los horizontes.

Por lo tanto, en este suelo el riego estimuló la mineralización de la materia orgánica nativa con mayor velocidad que la lixiviación del nitrato resultante.

En la tabla 3 se observa la disminución del N-total en ambos suelos después de los riegos y las láminas aplicadas y lixiviadas en ambos suelos.

Tabla 3. Promedios ponderados de N-total (mg N kg⁻¹ de suelo) antes y después de los ensayos y lámina de agua aplicada y lixiviada en ambos suelos.

Suelo	Lacustrino	Aluvial
N-total inicial	3.353 a	484 c
N-total después de los riegos	2.331 b	117 c
Lámina de agua aplicada (cm)	55,73	16,71
Lámina de agua lixiviada (cm)	27,55	4,59

*Letras minúsculas indican diferencias significativas a 0,05%.

Estos resultados indican que en el suelo aluvial parte del nitrógeno del suelo se nitrificó y permaneció en el suelo después de los eventos de riego debido a que la lámina de agua aplicada no fue suficiente para lixiviar completamente los nitratos formados. La cantidad de agua que se hizo pasar a través del suelo lacustrino fue más de 3 veces mayor que en el suelo aluvial en el mismo intervalo de tiempo, debido a su mayor permeabilidad (tabla 4). El promedio del volumen lixiviado en cada evento de lavado se mantuvo constante en 172 mL en el suelo lacustrino y en 103 mL para el aluvial; el promedio de agua retenida por los suelos fue de 53% y de 76%, respectivamente. En la misma tabla se muestra que la concentración en nitratos de los lixiviados fue menor en el suelo aluvial respecto al lacustrino, sugiriendo una mayor capacidad del primero para retener nitratos.

Tabla 4. Volumen lixiviado y retenido acumulado, cantidad adicionada de agua durante el ensayo y cantidades totales de nitrato lixiviadas y la concentración de nitrato en los suelos.

Suelo lacustrino		Unidad
Volumen lixiviado*	8.651 a	mL
Volumen retenido	8.849	mL
Cantidad de agua adicionada	17.500	mL
N-NO ₃ - lixiviado	436,74	mg
N-NO ₃ - lixiviado*	4,22	mg/L
Suelo aluvial		Unidad
Volumen lixiviado	1.443 b	mL
Volumen retenido	4.057	mL
Cantidad de agua adicionada	5.250	mL
N-NO ₃ - lixiviado	29,99	mg
N-NO ₃ - lixiviado*	20,78 b	mg/L

*Letras minúsculas indican diferencias significativas a 0,05%.

En el suelo lacustrino se observó un aumento en el contenido de humedad con la profundidad, acorde a su alta conductividad hidráulica (tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de humedad (% g/g) en ambos suelos al inicio y al final del experimento.

Porcentaje de humedad inicial		
profundidad	Lacustrino	Aluvial
0 - 20	70,70	17,08
20 - 40	89,79	14,60
40 - 60	96,45	12,46
Porcentaje de humedad después de los ensayos		
profundidad	Lacustrino	Aluvial
0 - 20	82,06	23,14
20 - 40	108,09	20,41
40 - 60	140,45	18,74
Potenciales métricos a tensión -33kPa		
profundidad	Lacustrino	Aluvial
0 - 20	78,34	25,82
20 - 40	116,51	22,37
40 - 60	117,27	26,14

En general, el contenido de humedad del suelo estuvo ligeramente por encima del potencial mátrico de -33 kPa. El incremento del contenido de humedad con la profundidad en este suelo es evidencia de su buena permeabilidad. En el suelo aluvial el contenido de humedad al final del ensayo apenas disminuyó con la profundidad y estuvo ligeramente por debajo del potencial mátrico a tensión de -33kPa; por lo que se comprueba que en ambos suelos la humedad se mantuvo cercana a la saturación. El hecho que los horizontes superficiales del suelo aluvial estuvieran más húmedos que los profundos, es evidencia de la lenta permeabilidad de este suelo, la cual, como se indicó, motivó la disminución de la frecuencia del riego respecto al suelo lacustrino.

La distribución del contenido de nitratos lixiviados de cada evento de riego a lo largo del ensayo, para el suelo lacustrino y para el suelo aluvial, se muestra en la figura 2 y en la figura 3, respectivamente.

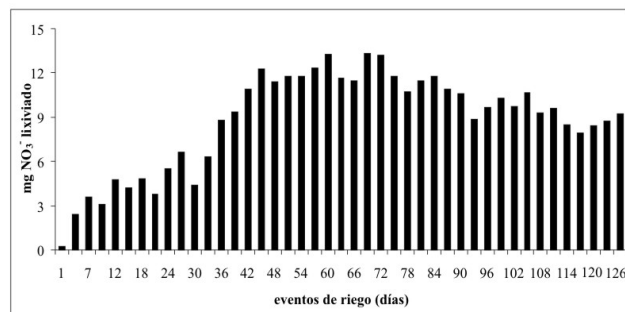


Figura 2. Nitrato lixiviado (miligramos) de los lisímetros en cada uno de los eventos de riego (días) en el suelo lacustrino.

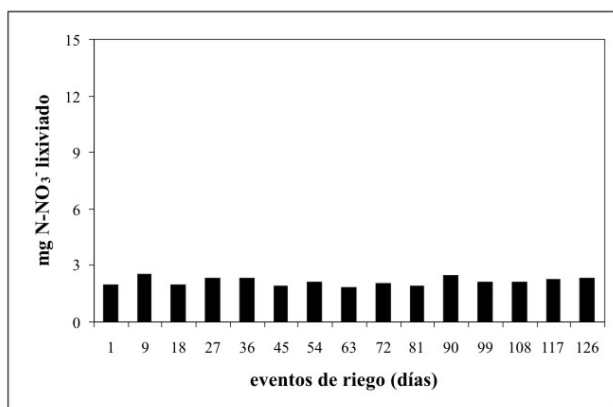


Figura 3. Nitrato lixiviado (miligramos) de los lisímetros en cada uno de los eventos de riego (días) en el suelo aluvial.

En el suelo lacustrino el nitrato lixiviado aumentó gradualmente, alcanzando un máximo el día 72 (13,31 mg), cuando comenzó a disminuir, mientras que en el aluvial permaneció prácticamente constante durante todo el ensayo.

CONCLUSIONES

La concentración de nitrato del lixiviado en suelo lacustrino (50,48 mg L⁻¹) es 5 veces superior al límite máximo tolerable por las normas ambientales. Para el suelo aluvial la concentración de nitrato del lixiviado es menor (20,78 mg L⁻¹), pero aún así, es el doble de la concentración máxima tolerable. Por lo tanto, se considera que el riego actúa como un promotor de los procesos de nitrificación producidos por los microorganismos del suelo a costa de la materia orgánica del mismo, lo que lleva a pérdida de NO₃⁻ por lixiviación. Debido, probablemente, al mayor contenido de materia orgánica, alta permeabilidad y mayores requerimientos de agua de riego, las cantidades absolutas de N-NO₃⁻ lixiviadas que se obtuvieron después de 4 meses de ensayo, fueron mucho mayores para el suelo lacustrino (436 mg), que las lixiviadas en el suelo aluvial (30 mg). Esas cantidades equivalen a 139 kg de nitrato por hectárea para el suelo lacustrino y 9,5 kg por hectárea para el suelo aluvial.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a todo el personal del laboratorio de Agrología por la colaboración prestada durante la construcción de los lisímetros. Al CDCH por el soporte económico a través de la subvención menor, sin la cual se nos hubiera hecho difícil desarrollar este trabajo.

REFERENCIAS

- BREMNER, J.M. (1996). Nitrogen total. En *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical methods*, J.M. Bigham (ed.). Book series 5. ASA-SSSA. Madison, WI. pp. 1085-1121.
- CAMERON, K.C., SMITH, N.P., MCLAY, C.D.A., FRASER, P.M., MCPHERSON, R.J., HARRISON, D.F., HARBOTTLE, Y.P. (1992). Lysimeters without edge flow: an improved design and sampling procedure *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56; pp. 1625-1628.
- CASANOVA, O. (1995). Alternativas metodológicas en estudios de pérdidas de nitrógeno por lavado. *Notas técnicas N° 36. Fac. Agronomía. U. República Montevideo.* P. 8.
- CAVERO, J., BELTRAM, A., ARAGUES, R. (2003). Nitrate exported in drainage waters of two sprinkler-irrigated watersheds. *J. Environmental quality*. 32. pp. 916-926.
- GOULDING, K.W.T. & WEBSTER, C. P. (1992). Methods for measuring nitrate leaching. *Aspects of applied biology. Nitrate and farming systems.* 30. pp. 63-70.
- GOULDING, K. (2000). Nitrate Leaching from Arable and Horticultural Land. *Soil Use and Management.* 16. pp. 145-151.
- HONEYCUTT, C.W., POTARO, L.J., HALTEMAN, W.A. (1991). Predicting Nitrate formation from soil, fertilizer, crop residue and sludge with thermal units. *J. Environ. Qual.* 20. pp. 850-856.
- HAYNES, R.J. (1986). The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation. En *Mineral nitrogen in the plant-soil system.* Haynes (ed). Academic Press, Inc. pp. 52-109
- JARVIS, S.C. (2000). Progress in studies of nitrate leaching from grassland soils. *Soil Use and Management.* 16. pp. 152-156.
- KEENEY, D.R. , NELSON, D.W. (1982). Nitrogen inorganic forms. En *Methods of soil analysis. Parte 2. Chemical and microbiological properties.* A. L. Page (ed), Agrom. Monograg. N° 9, ASA y SSSA. Madison. WI. pp. 643-698.
- MARCANO, L. (2007). Dinámica del nitrato en dos suelos de la cuenca del lago de Valencia y su incidencia en la

- contaminación potencial de las aguas. Tesis de Doctorado. Postgrado en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, (UC.V., Maracay). p. 168.
- MARTÍNEZ, J., GUIRAUD, G. (1990). A lysimeter study of the effects of ryegrass catch crop, during a water wheat/maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop. *Journal of Soil Science*.41. pp. 5-16.
- MULVANEY, R.L. (1996). Nitrogen-inorganic forms. En *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*. J.M: Bigham (ed), Book Series 5.ASA-SSSA. Madison, WI. pp. 1123-1184.
- PRUNTY, L. & MONTGOMERY, B.R. (1991). Lysimeter study of nitrogen fertilizer and irrigation rates on quality of recharge water and corn field. *J. Environ. Qual.* 20. pp. 373-380.
- RIDLEY, A.M., WHITE, R.E., HELYAR, K.R., MORRISON, G.R., HENG, L.K., FISHER, R. (2001). Nitrate leaching loss under annual and perennial pasture with and without lime on a duplex (texture contrast) soil in humid southeastern Australia. *European Journal of Soil Science*.52. pp. 237-252.
- SHUMAN, M. (2001). Phosphate and nitrate movement through simulated golf greens. *Water, Air, and Soil Pollution*. 129. pp.305-318.
- SIERRA, J., FONTAINE, S., DESFONTAINES, L. (2001). Factors controlling N mineralization, nitrification, and nitrogen losses in an oxisol amended with sewage sludge. *Aust. J. Soil Re-s*.39. pp.519-534.
- SOGBEDI, J., HAROLD, M., VAN ES, Y., CHARISSA, L. GEOHRING, L.D., MAGDOFF, F.R. (2000). Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. *J. Environ. Qual.*29. pp.1813-1820.
- WADDELL, J.T., GRUPTA, S.C., MONCRIEFT, J.F., ROSEN, C.J., STEELE, D.D. (2000). Irrigation- and nitrogen- management impacts on nitrate leaching under potato. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 251-261.
- URQUIAGA, S. & ZAPATA, F. (2000). Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. ARCAL-EMBRAPA. Porto Alegre. Río Grande. Brasil.