

CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO EN SUELO POR EFECTO DE MANEJO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL

Nitrogen Concentration in Soil as Affected by Organic and Conventional Management

D. Cristóbal-Acevedo^{1‡}, M. E. Álvarez-Sánchez¹, E. Hernández-Acosta¹ y R. Améndola-Massiotti²

RESUMEN

En la actualidad se proponen sistemas de producción agrícola orgánicos como una opción sustentable en comparación con los sistemas convencionales. Sin embargo, al recomendar estos sistemas es necesario que sus ventajas sean demostradas de manera experimental con estudios de varios años. Con el objetivo de evaluar el efecto de los tratamientos de producción agrícola orgánica y convencional, sobre las concentraciones de nitrógeno (N) a 0, 30, 60, 90 y 120 cm de profundidad del suelo, se realizó un experimento en parcelas cultivadas con maíz. El experimento se llevó a cabo durante ocho ciclos de cultivo. Al final de los ciclos de cultivo de los años 2001 y 2008 se colectaron las muestras de suelo a las profundidades mencionadas y se les determinó la concentración de nitrato, amonio, N mineral, N total y N orgánico. Los datos fueron analizados como un diseño de tratamientos completamente al azar. Las ventajas del sistema orgánico después de ocho ciclos de cultivo de maíz fueron, un mejoramiento de las condiciones del suelo en la capa superficial (0 - 30 cm), al aumentar la concentración de materia orgánica de 1.66 a 1.83%, una mayor concentración de N orgánico y de N total debido a que las reservas de N total se incrementaron 40%, de las cuales más del 95% correspondieron a las reservas de N orgánico. La ventaja del sistema convencional después del mismo periodo en el cultivo de maíz, fue una mayor disponibilidad de nitrato, amonio y N mineral en la capa superficial (0-30 cm).

Palabras clave: nitratos, amonio, nitrógeno total, nitrógeno orgánico, residuos de cosecha.

¹ Departamento de Suelos, ² Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, estado de México.

[‡] Autor responsable (cristobalacevedo@yahoo.com.mx)

Recibido: febrero de 2011. Aceptado: agosto de 2011.
Publicado en Terra Latinoamericana 29: 325-332.

SUMMARY

Currently it has been proposed that organic farming systems constitute a more sustainable option than those managed conventionally. However, to recommend these systems, it is necessary the evaluation of their potential benefits in long-term studies. In order to evaluate the effect of organic and conventional farming, on N concentrations at 0, 30, 60, 90, and 120 cm deep in soil, an experiment was conducted in plots planted with corn. The experiment was conducted during eight growing seasons. At the end of the growing seasons of 2001 and 2008 soil samples were collected at the depths above mentioned and the concentration of nitrate, ammonium, mineral N, total N and organic N were determined. The data were analyzed with a completely randomized design treatments. The advantages of the organic system after eight cycles of maize were an improvement in soil conditions in the surface layer (0 - 30 cm), increasing the organic matter concentration of 1.66 to 1.83%, a higher concentration of organic N and total N because total N reserves increased 40%, of which over 95% were organic N. The advantage of the conventional system after the same period in the cultivation of maize was an increased availability of nitrate, ammonium, and mineral N in the superficial layer (0-30 cm).

Index words: nitrates, ammonium, total nitrogen, organic nitrogen, crop residues.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción orgánicos han tomado importancia en años recientes debido a que disminuyen los costos de producción al no utilizar agroquímicos (Fageria, 2007), aumentan las ganancias y presentan productos libres de elementos contaminantes (Mendoza, 2004; Flores *et al.*, 2004; Miller *et al.*, 2008). Otra ventaja es un mejoramiento de las propiedades físicas del suelo como una mayor retención de humedad, debido

al incremento de las concentraciones de materia orgánica, (Ouédraogo y Zombré, 2001) y mayores producciones de los cultivos en condiciones de temporal deficiente (Courtney y Mullen, 2008). Doran *et al.* (1987) mencionan como ventajas de los sistemas orgánicos el que mantienen los niveles de fertilidad y productividad, conservan el nitrógeno (N) y el carbono (C) en el sistema suelo-planta. Como desventajas se sabe que tienen limitaciones en la producción durante la transición del manejo convencional al orgánico debido a una reducida disponibilidad de N y al incremento en la infestación de malezas. Berry *et al.* (2002) afirman que los sistemas orgánicos tienen el potencial para abastecer con cantidades adecuadas de N las demandas a partir de residuos de cosecha, pero hay que tomar en cuenta la desventaja de que los residuos de cosecha producidos tienden a tener baja concentración de N y tasas de mineralización muy bajas.

La importancia del estudio del N en los sistemas orgánico y convencional se debe a que el N es uno de los elementos más limitantes en la producción de cultivos. Recientemente el N ha tomado importancia por su incidencia en los problemas de impacto ambiental, pues el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados provoca desnitrificación que contribuye a las emisiones terrestres de N_2O , así como lixiviación que contamina de acuíferos; se sabe que los dos procesos se favorecen con el incremento de las cantidades de fertilizantes minerales nitrogenados utilizados en la producción (Wagner-Riddle *et al.*, 2007; Schlesinger, 2008). Por otra parte el N es un elemento de los más dinámicos en los suelos que responde rápidamente a diferentes manejos. En relación al efecto del manejo orgánico y convencional sobre el N, algunas investigaciones indican que no se tienen diferencias, mientras que otras lo afirman. En apoyo a las primeras Derrick y Dumaresq (1999) realizaron un experimento para ver el efecto del manejo orgánico y el manejo convencional, y encontraron que el N total no es afectado significativamente por los sistemas de manejo. Nicholson *et al.* (1997) no encontraron efecto de la incorporación de 570 kg ha^{-1} y 330 kg ha^{-1} de N, como residuos de cosecha, estos retornos de N no se vieron reflejados en un incremento de N total 11 años después. En apoyo a la idea de que si se tienen diferencias, los estudios Cookson *et al.* (2006) mostraron que al evaluar el efecto del manejo orgánico, biodinámico, integrado y convencional sobre los flujos de N encontraron que la disponibilidad de N mineral para la planta fue mayor en suelo con manejo convencional,

esto fue en parte el resultado de una mayor producción de nitrato. Miller *et al.* (2008) compararon sistemas de no labranza con fertilización y sistemas orgánicos con abonos verdes. Encontraron que después de cuatro años los nitratos fueron 41% más bajos en el sistema orgánico, mientras que el N potencialmente mineralizable fue 23% más alto en el sistema orgánico. Rochester *et al.* (1993) realizaron un experimento con algodón para monitorear el destino del N del fertilizante y de los residuos de cosecha utilizando N^{15} obteniendo que después de la aplicación de la urea el contenido de N mineral se incrementó rápidamente y subsecuentemente declinó a una tasa más lenta, el N de los residuos de cosecha fue mineralizado muy lentamente y casi no contribuyó al abastecimiento del cultivo actual, la recuperación del N del fertilizante y de los residuos de cosecha fue de 28% y del 1% respectivamente. Dalal (1992) realizó un experimento para determinar el efecto de prácticas de conservación, labranza cero y retención de rastrojo sobre el N total desde 0 a 1 m de profundidad encontrando que los tratamientos cero labranza y retención de residuos de cosecha mostraron mejor recuperación de N que los tratamientos de labranza convencional y quema de residuos, probablemente debido a una mayor inmovilización de N del fertilizante, más absorción de N en grano y menos pérdidas por lixiviación de nitrato. Stopes *et al.* (2002) compararon las pérdidas por lixiviación de granjas orgánicas que dependen de leguminosas para las entradas de N con aquellas granjas convencionales que usan fertilizantes. Sus resultados mostraron que bajo condiciones similares de cultivo, las pérdidas de los sistemas orgánicos son similares o ligeramente más pequeñas que aquellos de granjas convencionales.

De acuerdo con Chilcott *et al.* (2007), el cultivo y el mono cultivo de los suelos se traduce en una disminución de C y el N del suelo, y puede conducir a la reducción de los rendimientos de los cultivos. Para probar el efecto de los dos manejos se escogió al maíz por ser un cultivo altamente demandante de N. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de los tratamientos orgánico y convencional en las concentraciones de N en el suelo en formas de nitrato, amonio, N mineral, N total y N orgánico en un periodo corto (seis meses) y un periodo largo (siete años y medio). La hipótesis fue que el tratamiento orgánico en comparación con el convencional, acumularía más N en todas sus formas en la capa superficial (0-30 cm), debido a la incorporación de los residuos de cosecha y a una menor desnitrificación y lixiviación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México, en la Granja Orgánica “Efraím Hernández Xolocotzin”, ubicada a 19° 29' 00" N y 98° 53' 00" O, a una altitud de 2250 m. De acuerdo con García (1988), el clima está clasificado como C(w₀)(w)b(i')g, que corresponde al templado subhúmedo con precipitación media anual de 645 mm y una temperatura promedio anual de 15 °C con heladas tempranas a fines de septiembre y tardías en abril. El establecimiento del cultivo de maíz durante los ocho ciclos de cultivo (del 2001 al 2008) fue en el mes de mayo. En el caso del sistema convencional se utilizó la fórmula de fertilización de 200-100-60 (kg ha⁻¹ de N - P₂O₅ - K₂O); durante los ocho ciclos de cultivo que duró el experimento usando como fuentes de N, P y K sulfato de amonio (21% N), super fosfato simple (18% P₂O₅) y sulfato de potasio (50% K₂O), respectivamente. Se aplicó 50% de N al momento de la siembra y todo el P y K. El 50% restante de N se aplicó al final del desarrollo vegetativo (75 días después de la siembra). En el sistema orgánico no se realizó fertilización mineral, sólo la adición de residuos de cosecha del periodo anterior (hojas y tallos de maíz) durante los 8 ciclos de cultivo. La cantidad de residuos de cosecha incorporados fue variable en todos los años y fluctuó de 9 060 a 11 030 kg ha⁻¹. El suelo es un Inceptisol de textura franco arenosa (62.04% de arena, 20.72% de limo y 17.24% de arcilla), densidad aparente 1.4 g cm⁻³, profundidad 1.2 m, pendiente 2%, pH 6.6, conductividad eléctrica (CE) 215 µS cm⁻¹, CIC 11.31 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹, P-Olsen 24.5 mg kg⁻¹ y K 1.46 mg kg⁻¹.

Muestreo y Métodos

Se trazó una cuadrícula en las parcelas orgánica y convencional. En cada cuadrícula se obtuvieron 30 puntos posibles de muestreo que fueron aleatorizados para obtener las muestras en forma completamente al azar. Las muestras de suelo se obtuvieron con una pala de manera superficial (0 cm) y con una barrena de cinco cm de diámetro, tomando una capa de suelo de 5 cm, a una profundidad promedio de 30, 60, 90 y 120 cm, al final de los ciclos de cultivo de maíz de los años 2001 y 2008. Se extrajeron 30 muestras en cada ciclo considerando tres repeticiones. La concentración de N total se obtuvo por el método de semimicro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos, de acuerdo

al procedimiento de rutina del laboratorio de Suelos del Colegio de Posgraduados (Etchevers, 1988). La extracción de nitrato y amonio, del suelo se realizó con KCl 2N y su destilación por arrastre de vapor Bremner, (1965). Con los datos de las concentraciones de nitrato, amonio, N mineral, N total y N orgánico obtenido como la diferencia entre N total y N mineral a las cinco profundidades mencionadas anteriormente en cada parcela, se realizó un análisis gráfico y posteriormente un análisis de varianza. Este análisis tuvo como objetivo determinar el efecto de los tratamientos orgánico y convencional sobre la concentración de nitrato, amonio, N mineral, N total y N orgánico. También se determinó la concentración de materia orgánica (Walkey y Black, 1947), utilizando muestras compuestas conformadas por 16 submuestras de las parcelas orgánica y convencional. La metodología general descrita anteriormente, es una propuesta nueva para ver el comportamiento de las concentraciones de N en sus diferentes formas en el suelo, ante los manejos orgánico y convencional a diferentes profundidades y en función del tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nitratos

En la Figura 1 se aprecia que al inicio del período de estudio (año 2001) no se observaron diferencias en la concentración de nitrato, en las distintas profundidades en ambos manejos, el intervalo fluctuó entre 13 a 20 mg kg⁻¹. Después de 8 años de cultivo, el contenido de nitrato en el manejo convencional se incrementó de 13 mg kg⁻¹ en la capa superficial a 29 mg kg⁻¹, después de los primeros centímetros de profundidad, lo que muestra por una parte, el efecto acumulado de las fertilizaciones anuales con N del cultivo y el transporte del N a capas más profundas como consecuencia del proceso de lixiviación durante la época de lluvias (ADAS, 2007). En el manejo orgánico las concentraciones de nitrato en la profundidad 0 a 60 cm fueron significativamente menores que en el convencional cuyos contenidos fluctuaron de 10 a 20 mg kg⁻¹ para disminuir a 12 mg kg⁻¹ en las capas más profundas, esto debido a que la disponibilidad de nitrato está condicionada a la mineralización de los residuos de cosecha que se incorporan con el arado en los primeros 20 cm. Diferentes investigaciones muestran que el aporte de N a través de los residuos de cosecha y su incorporación en el suelo dentro manejo orgánico,

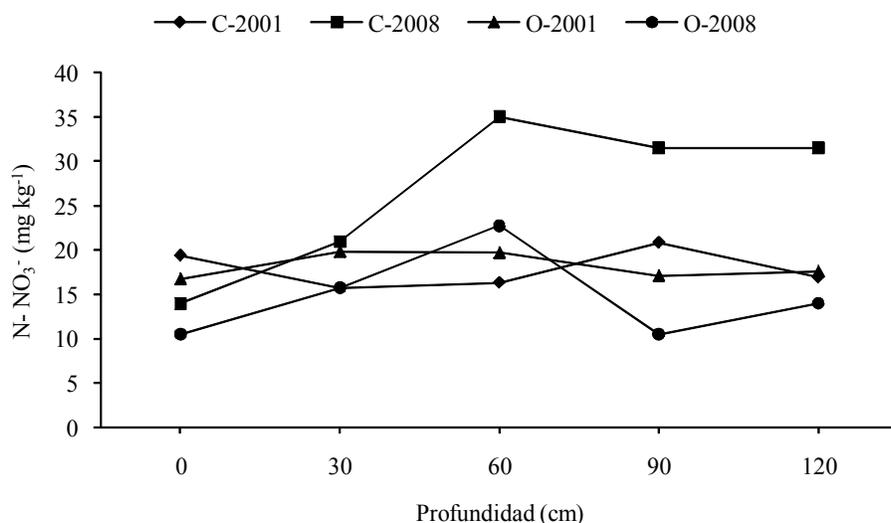


Figura 1. Concentración de N-NO_3^- en función del manejo del suelo orgánico (O) y convencional (C) con maíz a diferentes profundidades, después de un ciclo de cultivo año 2001 y después de ocho ciclos de cultivo año 2008. C-2001 SD max = ± 2.2 ; C-2008 SD max = ± 5.1 ; O-2001 SD max = ± 3.8 ; O-2008 SD max = ± 2.3 . SD max = desviación estándar máxima.

puede reflejarse en 4 años, en una menor acumulación de nitrato y menos pérdidas por lixiviación (Dalal, 1992; Stopes *et al.*, 2002; Miller *et al.*, 2008).

Si bien el movimiento de N fue similar en los dos tipos de manejo, bajo la misma entrada anual de N en cada uno de éstos (200 kg ha^{-1} de N en manejo convencional y de 70 kg ha^{-1} , en promedio, en manejo orgánico), el proceso de lixiviación deja de ser importante en el manejo orgánico después de los 60 cm de profundidad, en tanto que en el convencional es importante y se mantiene relativamente constante. Entre los principales factores que condicionan las pérdidas de N por lixiviación está el aporte de N al sistema de producción y la lámina de agua percolada (El-Sadek *et al.*, 2002; Herencia *et al.*, 2007), ésta última a su vez depende de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Después de 8 años de cultivo, la concentración de materia orgánica se incrementó de 1.66% a 1.83% en la profundidad 0 a 30 cm con el manejo orgánico, lo cual ha repercutido en un control favorable en las pérdidas de N por lixiviación a capas más profundas.

Amonio

En la Figura 2 se aprecia que la concentración de amonio, al inicio del período de estudio, se mantuvo relativamente constante 22-24 mg kg^{-1} independientemente del manejo y la profundidad del suelo. Este mismo comportamiento se observó al final

del período (2008) en el manejo orgánico, excepto en la capa superficial, donde la concentración de amonio disminuyó a 15 mg kg^{-1} , en tanto que en el convencional la concentración de nitrato se incrementó con la profundidad hasta alcanzar una concentración de 30 mg kg^{-1} después de los primeros 30 cm de profundidad. Las menores fluctuaciones de la concentración de amonio respecto del N-NO_3^- son debidas a una menor movilidad del amonio en el perfil de suelo, pues las arcillas y el componente orgánico contribuyen a su adsorción temporal en tanto se nitrifica (Havlin *et al.*, 1993). El comportamiento diferencial de la concentración de amonio en los primeros 60 cm de profundidad en función del manejo denota también un proceso de lixiviación mayor para el manejo convencional, ya que éste aporta amonio y a una menor disponibilidad de esta forma química con el manejo orgánico, debido a que para estar disponible debe darse el proceso de amonificación a partir de los residuos de cosecha y este proceso es muy lento (Rochester *et al.*, 1993).

Nitrógeno Mineral

El comportamiento de amonio y nitrato en un período de 8 años (Figura 3), muestra que con el manejo orgánico, se incrementó su concentración en los primeros 30 cm de profundidad de 25 a 40 mg kg^{-1} , y se mantuvo relativamente constante, en el tiempo independientemente

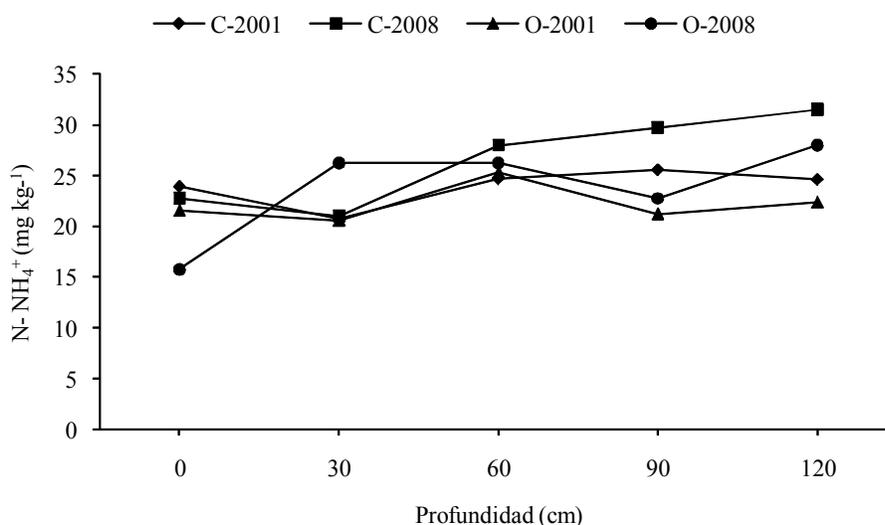


Figura 2. Concentración de N-NH_4^+ en función del manejo del suelo orgánico (O) y convencional (C) con maíz a diferentes profundidades, después de un ciclo de cultivo año 2001 y después de ocho ciclos de cultivo año 2008. C-2001 SD max = ± 2.3 ; C-2008 SD max = ± 3.6 ; O-2001 SD max = ± 2.5 ; O-2008 SD max = ± 3.2 . SD max = desviación estándar máxima.

de la profundidad, en tanto, en el convencional éste se incrementó en 50% (de 40 a 60 mg kg^{-1}) después de los primeros 30 cm, mostrando una pérdida importante de N y en ambos casos debido a un proceso de lixiviación. Es importante destacar que después de 8 años de cultivo, las reservas de N disponible para el cultivo tanto en el manejo orgánico (con un aporte anual de N a través de la incorporación de residuos de 70 kg ha^{-1}) como en el convencional (con un ingreso anual por fertilización de 200 kg ha^{-1}) en los primeros 30 cm de profundidad,

es de 82 kg de N. Dichas reservas son la principal fuente de abastecimiento de N del cultivo de maíz, ya que para las condiciones de suelo de textura franca y densidad aparente alta (1.4 Mg m^{-3}), las masa radical del maíz se concentra en los primeros 30 cm de profundidad. Por tanto, contenidos de N más allá de los primeros 30 cm pueden considerarse como pérdidas por lixiviación, que en el caso de manejo convencional asciende a 234 kg ha^{-1} . Resultados similares fueron obtenidos por Cookson *et al.* (2006).

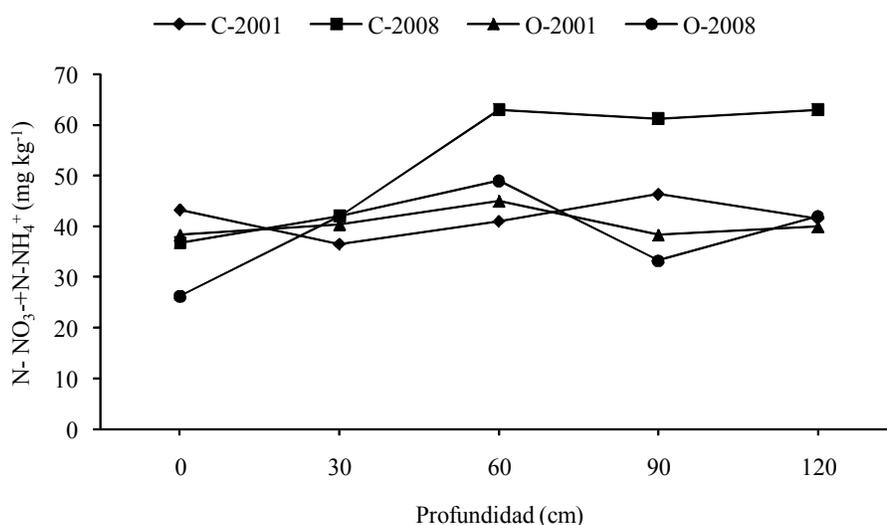


Figura 3. Concentración de $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ en función del manejo del suelo orgánico (O) y convencional (C) con maíz a diferentes profundidades, después de un ciclo de cultivo año 2001 y después de ocho ciclos de cultivo año 2008. C-2001 SD max = ± 4.2 ; C-2008 SD max = ± 7.8 ; O-2001 SD max = ± 5.4 ; O-2008 SD max = ± 3.7 . SD max = desviación estándar máxima.

Nitrógeno Total y Orgánico

En la Figura 4 se aprecia que tal y como se reporta en las investigaciones (Benintende *et al.*, 2008) sobre el comportamiento del N total en el suelo en función de la profundidad, éste disminuye hasta 80% a medida que se incrementa la profundidad, independientemente del tipo de manejo, debido a que la capa superficial es la más influenciada por las adiciones de N derivadas de los residuos orgánicos que se incorporan o de las fertilizaciones.

Este comportamiento típico se presentó en el año 2001 y 2008 en ambos manejos, sin embargo, es importante destacar que después de 8 años de cultivo con maíz, las reservas de N total con el manejo orgánico, se incrementaron significativamente en 40 y 49% en la capa superficial y a los 30 cm de profundidad, respectivamente, de las cuales más del 95% corresponden a las reservas de N orgánico (Figuras 4 y 5). Después de los primeros 30 cm, los contenidos de N total tendieron a homogenizarse con la profundidad del suelo y en el tiempo, con ambos manejos.

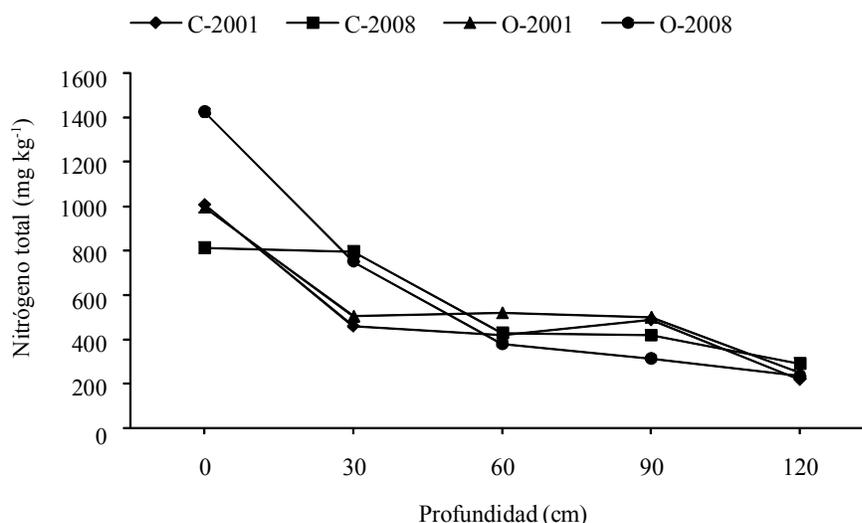


Figura 4. Concentración de nitrógeno total en función del manejo del suelo orgánico (O) y convencional (C) con maíz a diferentes profundidades, después de un ciclo de cultivo año 2001 y después de ocho ciclos de cultivo año 2008. C-2001 SD max = ± 40.0 ; C-2008 SD max = ± 44.0 ; O-2001 SD max = ± 40.0 ; O-2008 SD max = ± 131.0 . SD max = desviación estándar máxima.

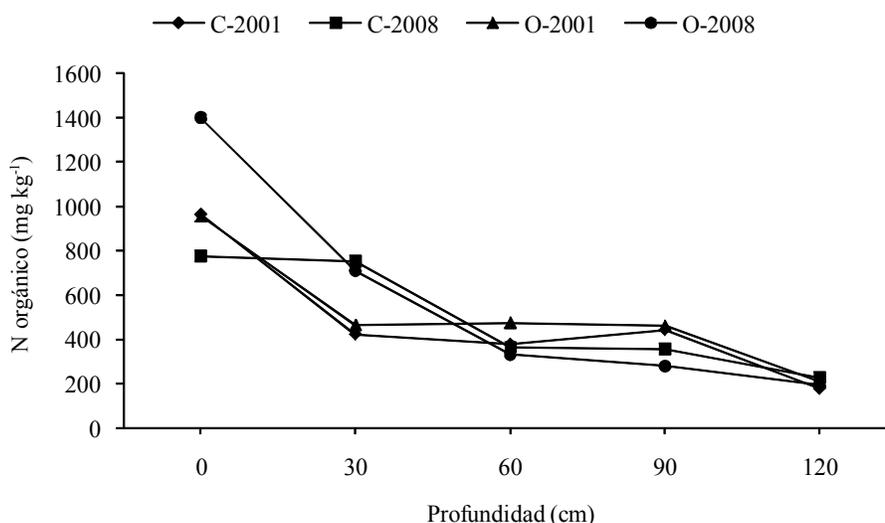


Figura 5. Concentración del nitrógeno orgánico en función del manejo del suelo orgánico (O) y convencional (C) con maíz a diferentes profundidades, después de un ciclo de cultivo año 2001 y después de ocho ciclos de cultivo año 2008. C-2001 SD max = ± 38.2 ; C-2008 SD max = ± 45.9 ; O-2001 SD max = ± 56.0 ; O-2008 SD max = ± 131.9 . SD max = desviación estándar máxima.

En el Cuadro 1 se observa que para todas las variables y profundidades estudiadas las diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), se incrementaron al pasar del período corto estudiado de 6 meses (9) al período largo de 7.5 años (16), lo que demuestra que el efecto de los tratamientos estuvo en función del tiempo.

CONCLUSIONES

El tratamiento convencional causó una mayor lixiviación del nitrato en comparación con el tratamiento orgánico, asimismo las concentraciones más bajas del nitrato correspondieron al tratamiento orgánico en la mayoría de las profundidades. Se encontró una menor movilidad del amonio pero aun así la lixiviación fue mayor

en el tratamiento convencional. Las concentraciones de nitrógeno total y de nitrógeno orgánico de manera general tuvieron un comportamiento similar siendo mayores en los primeros 30 cm del suelo, disminuyendo conforme se incrementó la profundidad para los tratamientos orgánico y convencional. Las ventajas del sistema orgánico después de ocho ciclos de cultivo de maíz, fueron una mayor concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno total en la parte superficial (0 y 30 cm) del suelo. La ventaja del sistema convencional después de ocho ciclos de cultivo de maíz fueron una mayor disponibilidad de nitrato, amonio y nitrógeno mineral en la zona superficial (0-30 cm). Se concluye que el sistema orgánico al final de los 8 ciclos de cultivo mejoró las condiciones del suelo en la capa superficial, al tener mayor concentración de materia orgánica 1.83%

Cuadro 1. Análisis de varianza ($\alpha \leq 0.05$), para el efecto del manejo convencional (C) y orgánico (O) después de seis meses (año 2001) y a los 8 años después de la aplicación ininterrumpida de los tratamientos sobre las diferentes variables de nitrógeno en el suelo a diferentes profundidades.

Variable	Profundidad	2001		2008	
		Pr > F	CV	Pr > F	CV
	cm	----- % -----			
Nitrato	0	ns	8.75	ns	20.203
	30	0.0268	8.122	ns	15.052
	60	ns	17.12	0.0056	9.58
	90	0.004	4.086	0.0001	5.036
	120	ns	8.806	0.0001	16.214
Amonio	0	0.0045	2.184	0.0081	9.084
	30	ns	9.705	ns	11.708
	60	ns	7.5	ns	4.561
	90	0.0401	7.634	0.0081	6.663
	120	ns	8.773	0.0001	11.41
Nitrógeno mineral	0	0.0418	5.082	0.0211	11.065
	30	ns	4.954	ns	7.76
	60	ns	9.551	0.008	6.25
	90	0.0116	5.306	0.0001	3.702
	120	ns	8.685	0.0001	12.371
Nitrógeno total	0	ns	1.967	0.0013	8.29
	30	ns	9.666	0.0173	1.776
	60	0.0257	7.522	ns	7.701
	90	ns	1.428	0.0098	7.524
	120	ns	9.026	ns	16.921
Nitrógeno orgánico	0	ns	1.113	0.0012	8.61
	30	ns	10.798	0.0213	2.001
	60	0.0209	7.453	ns	9.31
	90	0.0465	1.719	0.0286	8.728
	120	ns	10.29	0.0411	21.07

ns = no significativo para el análisis de varianza ($\alpha \leq 0.05$); 0 cm = superficial; CV = coeficiente de variación.

para el tratamiento orgánico y 1.66% para el convencional, pero no fue mejor que el sistema convencional en cuanto a la disponibilidad de nitrato y amonio para la nutrición del cultivo de maíz.

LITERATURA CITADA

- ADAS. 2007. Diffuse nitrate pollution from agriculture - strategies for reducing nitrate leaching. ADAS Report to Defra - supporting paper D3 for the consultation on implementation of the Nitrates Directive in England, UK.
- Benintende, M. C., J. J. De Battista, S. M. Benintende, M. F. Saluzzio, C. Muller y M. A. Sterren. 2008. Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional de cultivos. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 19: 141-174.
- Berry, P. M., R. Sylvester-Bradley, L. Philipps, D. J. Hatch, S. P. Cuttle, F. W. Rayns, and P. Gosling. 2002. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use Manage.* 18: 248-255.
- Brenner, J. M. 1965. Inorganic forms, pp. 1179-1237. *In* C. A. Black (ed.). *Methods of soil analysis (Part 2)*. American Society of Agronomy, Agronomy 9. Madison, WI, USA.
- Chilcott, C. R., R. C. Dalal, W. J. Parton, J. O. Carter, and A. J. King. 2007. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern queensland. IX. Simulation of soil carbon and nitrogen pools using century model. *Aust. J. Soil Res.* 45: 206-217.
- Cookson, W. R., P. Marschner, I. M. Clark, N. Milton, M. N. Smirk, D. V. Murphy, M. Osman, E. A. Stockdale, and P. R. Hirsch. 2006. The influence of season, agricultural management, and soil properties on gross nitrogen transformations and bacterial community structure. *Aust. J. Soil Res.* 44: 453-465.
- Courtney, R. G. and G. J. Mullen. 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresour. Technol.* 99: 2913-2918.
- Dalal, R. C. 1992. Long-term trends in total nitrogen of a vertisol subjected to zero-tillage, nitrogen application and stubble retention. *Aust. J. Soil Res.* 30: 223-231.
- Derrick, J. W. and D. C. Dumaesq. 1999. Soil properties under organic and conventional management in southern New South Wales. *Aust. J. Soil Res.* 37: 1047-1055.
- Doran, J. W., D. G. Fraser, M. N. Culik, and W. C. Liebhardt. 1987. Influence of alternative and conventional agricultural management on soil microbial processes and nitrogen availability. *Am. J. Alt. Agric.* 2: 99-106.
- El-Sadek, A., J. Feyen, and R. Ragab. 2002. Simulation of nitrogen balance of maize field under different drainage strategies using the drainmod-n model. *Irrig. Drain.* 51: 61-75.
- Etchevers B., J. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados. Montecillo, estado de México.
- Fageria, N. K. 2007. Green manuring in crop production. *J. Plant Nut.* 30: 691-719.
- Flores, C. C. and S. J. Sarandón. 2004. Limitations of neoclassical economics for evaluating sustainability of agricultural systems: Comparing organic and conventional systems. *J. Sust.* 24: 77-91.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Havlin, J. L., S. L. Tisdale, W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 1993. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient Management*. Macmillan Publishing. New York, NY, USA.
- Herencia, J. F., J. C. Ruiz-Porras, S. Melero, P. A. Garcia-Galavis, E. Morillo and C. Maqueda. 2007. Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels: Crop macronutrient concentrations and yield. *Agron. J.* 99: 973-983.
- Liwang, Ma, C. W. Lindau., C. Hongprayoon, W. Burhan, B. C. Jang, W. H. Patrick Jr., and H. M. Selim. 1999. Modeling urea, ammonium, and nitrate transport and transformations in flooded soil columns. *Soil Sci.* 164: 123-132.
- Mendoza, T. C. 2004. Evaluating the benefits of organic farming in rice agroecosystems in the Philippines. *J. Sust. Agric.* 24: 93-115.
- Miller, P. R., D. E. Buschena, C. A. Jones, and J. A. Holmes. 2008. Transition from intensive tillage to no-tillage and organic diversified annual cropping systems. *Agron J.* 100: 591-599.
- Nicholson, F. A., B. J. Chambers, A. R. Mills, and P. J. Strachan. 1997. Effects of repeated straw incorporation on crop fertilizer nitrogen requirements, soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses. *Soil Use Manage.* 13: 136-142.
- Ouédraogo, E., A. Mando, and N. P. Zombré. 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 84: 259-266.
- Rochester, I. J., G. A. Constable, and D. A. Macleod. 1993. Cycling of fertilizer and cotton crop residue. *Aust. J. Soil Res.* 31: 597-609.
- SAS. 2000. SAS. User's guide. Versión 8.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Schlesinger, W. H. 2008. On the fate of anthropogenic nitrogen. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 106: 203-208.
- Stopes, C., E. I. Lord, L. Philipps and L. Woodward. 2002. Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice. *Soil Use Manage.* 18: 256-263.
- Wagner-Riddle, C., A. Furon, N. L. McLaughlin, I. Lee, J. Barbeau, S. Jayasundara, G. Parkin, P. von Bertoldi, and J. Warland. 2007. Intensive measurement of nitrous oxide emissions from a corn-soybean-wheat rotation under two contrasting management systems over 5 years. *Global Change Biol.* 13: 1722-1736.
- Walkey, A. and Black, I. A. 1947. An examination of the deghthareff method for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.