

Nitrogen concentrations in precipitation and runoff in plots with organic and conventional management

Concentraciones de nitrógeno en la precipitación y escorrentía de parcelas con manejo orgánico y convencional

David Cristóbal-Acevedo^{*}; Elizabeth Hernández-Acosta; María E. Álvarez-Sánchez; Ranferi Maldonado-Torres.

Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. Correo-e: cristobalacevdo@yahoo.com.mx
Tel.: 01 595 95 21540 (*Autor para correspondencia).

Abstract

The aim of this study was to determine the concentration and amount of nitrates (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) and mineral nitrogen ($\text{Nmin} = \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) in precipitation and runoff in six plots in Texcoco, State of Mexico, during the rainy season of 2001 and 2010. For this purpose, six runoff plots with corn cultivation were prepared, three with conventional management (CM) and three with organic management (OM). From 2001 to 2010, average concentrations of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin in precipitation increased to 1.307, 0.833 and 2.140 $\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$, respectively. Minimum values of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin also increased to 0.550, 0.970 and 1.640 $\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$, respectively. In runoff, average concentrations of NO_3^- in 2001 and 2010 were higher with CM, while concentrations of NH_4^+ were smaller. Because Texcoco's population increased by 31,049 from 2001 to 2010, we concluded that population growth and development of the area had an effect on the amounts of nitrogen in precipitation, and that OM was an alternative to reduce nitrogen outputs by runoff.

Keywords: Nitrates, ammonium, mineral nitrogen, crop residues.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración y la cantidad de nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y nitrógeno mineral ($\text{Nmin} = \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) en el agua de precipitación y escorrentía de seis parcelas en Texcoco, Estado de México, durante la temporada de lluvias de los años 2001 y 2010. Para ello, se prepararon seis parcelas de escurrimiento con cultivo de maíz; tres con manejo convencional (MC) y tres con manejo orgánico (MO). Del año 2001 a 2010, las concentraciones promedio de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en la precipitación incrementaron a 1.307, 0.833 y 2.140 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$, respectivamente. Los valores mínimos de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin también aumentaron a 0.550, 0.970 y 1.640 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$, respectivamente. En la escorrentía, las concentraciones medias de NO_3^- en los años 2001 y 2010 fueron mayores con el MC, mientras que las concentraciones de NH_4^+ fueron más pequeñas. Debido a que en Texcoco, el incremento poblacional del año 2000 al 2010 fue de 31,049 habitantes, se concluyó que el crecimiento poblacional y el desarrollo de la zona tuvieron efecto sobre las cantidades de nitrógeno en la precipitación, y que el MO fue una alternativa para reducir las salidas de nitrógeno por escorrentía.

Palabras clave: Nitratos, amonio, nitrógeno mineral, residuos de cosecha.

Introduction

Today, nitrogen and its derivative compounds are studied due to their importance as an essential element in crop production and as a causative agent of environmental impacts, both in the soil and in the atmosphere (Ehhalt et al., 2001; Elliott et al., 2009). In the atmosphere, nitrogen is found in the form of nitrogen monoxide (NO), nitrogen dioxide (NO₂), hydrazoic acid (HN₃), nitrous oxide (N₂O) and ammonia (NH₃), as a result of pollutant emissions due to various anthropocentric activities (Delon et al., 2007). Galloway et al. (2008) and Sutton et al. (2007) argue that high amounts of atmospheric nitrogen are a result of increasing population and that increasing concentrations of the element denotes more polluting impact. Increased nitrogen in the atmosphere can be determined indirectly by measuring nitrate (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) and mineral nitrogen (Nmin) in rainwater. Concentrations in precipitation are variable and depend on the degree of environmental alteration due to human activities. Havlin (1999) indicates that the amount of nitrogen in precipitation is variable and can take values from 1.12 to 56 kg·ha⁻¹·year⁻¹. Depending on the location, the changes may occur due to industrial activities and the increase in human and animal populations.

Nitrogen can reach ecosystems through rainwater, but there is also an outlet at the time the event occurs through runoff. Pierson et al. (2001) reported annual losses of 1.5 to 13.5 kg·ha⁻¹ of N in runoff in southern Georgia, USA. These authors indicate that nitrogen losses depend on the volume of runoff and concentrations of the element present. On the other hand, one of the practices that helps maintain balance in agricultural ecosystems is organic farming, which uses only crop residues to provide nitrogen to the soil compared to conventional agriculture which adds synthetic chemical fertilizers. In this regard, Berry et al. (2006) argue that organic systems have the potential to meet supply and demand with sufficient amounts of nitrogen available from crop residues; however, it should be borne in mind that organically-produced waste tends to have low nitrogen levels and very low mineralization rates, so its availability in the form of nitrates and ammonia is very slow. In the case of conventional agriculture, nitrogen availability is higher because large amounts of the element are provided in the form of mineral fertilizers, so the output from crop fields is greater (Duilio-Torres, Florentino, & López, 2005). However, global use of synthetic nitrogen fertilizers is causing regional and global problems by overloading this element and its compounds. In the last decade there has been great concern about the loss of nutrients from agricultural systems and the consequences for the health and sustainability of aquatic ecosystems (Carpenter et al., 1998; Sharpley et al., 1994).

Introducción

En la actualidad, el nitrógeno y los compuestos derivados son estudiados debido a su importancia como elemento esencial en la producción de cultivos y como agente causante de impactos ambientales, tanto en el suelo como en la atmósfera (Ehhalt et al., 2001; Elliott et al., 2009). En la atmósfera, el nitrógeno se encuentra en forma de monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ácido azotídrico (HN₃), óxido nitroso (N₂O) y amoníaco (NH₃), como producto de las emisiones contaminantes debido a diversas actividades antropocéntricas (Delon et al., 2007). Galloway et al. (2008) y Sutton et al. (2007) afirman que las altas cantidades de nitrógeno atmosférico son consecuencia del aumento de la población y que el incremento de las concentraciones del elemento denota mayor impacto contaminante. El incremento de nitrógeno en la atmósfera se puede deducir de forma indirecta midiendo las concentraciones de nitrato (NO₃⁻), amonio (NH₄⁺) y nitrógeno mineral (Nmin) en el agua de precipitación. Las concentraciones en la precipitación son variables y dependen del grado de alteración del entorno por las actividades del hombre. Havlin (1999) indica que la cantidad de nitrógeno en la precipitación es variable y puede tomar valores desde 1.12 a 56 kg·ha⁻¹·año⁻¹. Dependiendo de la localidad, los cambios pueden darse por las actividades industriales y por el incremento de la población humana y animal.

El nitrógeno puede llegar a los ecosistemas mediante el agua de precipitación, pero también existe una salida en el momento en que dicho evento ocurre a través de la escorrentía. Pierson et al. (2001) reportaron pérdidas anuales de 1.5 a 13.5 kg·ha⁻¹ de N en la escorrentía, en el sur de Georgia, EE.UU. Estos autores indican que las pérdidas de nitrógeno dependen del volumen de la escorrentía y las concentraciones presentes del elemento. Por otra parte, una de las prácticas que ayuda a mantener el equilibrio en los ecosistemas agrícolas es la agricultura orgánica, la cual solo utiliza residuos de cosecha para aportar nitrógeno al suelo en comparación con la agricultura convencional que adiciona fertilizantes de síntesis química. Al respecto, Berry et al. (2006) afirman que los sistemas orgánicos tienen el potencial para cubrir las demandas y abastecer con cantidades suficientes de nitrógeno disponible a partir de residuos de cosecha; sin embargo, hay que considerar que los residuos producidos orgánicamente tienden a tener contenidos bajos de nitrógeno y tasas de mineralización muy bajas, por lo que su disponibilidad en forma de nitratos y amonio es muy lenta. En el caso de la agricultura convencional, la disponibilidad del nitrógeno es más alta ya que se aportan grandes cantidades del elemento en forma de fertilizantes minerales, por tanto, la salida desde los campos de cultivo será mayor (Duilio-Torres, Florentino, & López,

In the present study two nitrogen dynamic processes in ecosystems were quantified: contributions (inputs) by precipitation and losses (outputs) by runoff in two periods with different urban environments. The Universidad Autónoma Chapingo Agricultural Experiment Station and its environment in 2001 did not have the demographic pressure (pressure exerted on natural resources due to overpopulation) that it had in 2010. The increase in this pressure resulted from widespread growth in the municipality of Texcoco, which had 204,102 inhabitants in 2000 and 235,151 in 2010 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2000, 2010), as well as the growth of Mexico City's suburbs. These factors have an impact on nitrogen emissions due to the increase in factories, greater automobile use and human activities. Therefore, the objectives of this study were to determine the behavior of the concentrations and amounts of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin in rainwater and runoff from corn plots with organic and conventional management in two periods with an interval of nine years. This was done in order to: a) establish the behavior of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin concentrations as a function of time and quantify their magnitudes in rainwater and runoff; b) determine whether urban development increases nitrogen concentrations and amounts in rainwater and c) establish whether organic management with input from nitrogen-containing crop residues causes a decrease in the concentrations and quantities of the element in runoff, compared to conventional management using synthetic chemical fertilizers.

Materials and methods

The study was carried out at the Universidad Autónoma Chapingo Agricultural Experiment Station (CAEUACH), State of Mexico, in the *Efraím Hernández Xolocotzi* organic farm (19° 29' 00" NL - 98° 53' 00" WL; 2,250 masl). According to García (1988), the climate is classified as $C(w_0)(w)b(i)g$ which corresponds to temperate subhumid, with mean annual rainfall of 645 mm, mean annual temperature of 15 °C and early frosts in late September and late frosts in April. The soil is sandy loam inceptisol with bulk density of 1.4 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, depth of 1.2 m and slope of 2 %.

From 2001 until 2010, CAEUACH lots B6 and B16 were cultivated with corn. The first lot was managed conventionally (CM) with input of mineral fertilizers (200 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ of N); the second lot had organic management (OM) using corn crop residues (leaves and stems) from the cycle previous to the year assessed. The periods analyzed were from June 22 to September 27 (97 days), 2001, and from June 23 to September 29 (98 days), 2010. In each lot, three 16 m^2 runoff plots were established with tanks to collect, quantify and take runoff samples, which were taken every 24 h on

2005). No obstante, el consumo mundial de fertilizantes sintéticos con nitrógeno está causando problemas regionales y mundiales por sobrecarga del elemento y sus compuestos. En la última década ha existido gran preocupación por la pérdida de nutrientes de los sistemas agrícolas y las consecuencias sobre la salud y la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos (Carpenter et al., 1998; Sharpley et al., 1994).

En el presente estudio se cuantificaron dos procesos de la dinámica del nitrógeno en los ecosistemas: aportes (entradas) por precipitación y pérdidas (salidas) por escorrentía en dos periodos con diferentes entornos urbanos. El Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo y su entorno en el año 2001 no tenía la presión demográfica (presión que se ejerce sobre los recursos naturales causados por la superpoblación) que tuvo en el año 2010. El incremento de esta presión fue resultado del crecimiento generalizado en el municipio de Texcoco, que en el año 2000 contaba con 204,102 habitantes y en el año 2010 tenía una población de 235,151 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2000, 2010), además del crecimiento de la zona conurbada de la Ciudad de México. Dichos factores tienen impacto sobre las emisiones de nitrógeno debido al incremento de fábricas, mayor circulación de automóviles y a las actividades propias del hombre. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron determinar el comportamiento de las concentraciones y cantidades de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en el agua de lluvia y escorrentía de parcelas de escurrimiento de maíz con manejo orgánico y convencional, en dos periodos con intervalo de nueve años. Lo anterior con el fin de: a) establecer el comportamiento de las concentraciones de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en función del tiempo y cuantificar sus magnitudes en el agua de lluvia y de escorrentía, b) conocer si el desarrollo urbano incrementa las concentraciones y cantidades de nitrógeno en el agua de lluvia y c) establecer si el manejo orgánico con aportación de residuos de cosecha como fuente de nitrógeno, provoca la disminución de las concentraciones y cantidades del elemento en el agua de escorrentía, en comparación con el manejo convencional que utiliza fertilizantes de síntesis química.

Materiales y métodos

El estudio se hizo en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (CAEUACH), Estado de México, en la granja orgánica "Efraím Hernández Xolocotzi" (19° 29' 00" LN - 98° 53' 00" LO; 2,250 m de altitud). De acuerdo con García (1988), el clima se clasifica como $C(w_0)(w)b(i)g$ que corresponde a templado subhúmedo, con precipitación media anual de 645 mm, temperatura media anual de 15 °C y heladas tempranas a fines de septiembre y tardías en abril. El suelo es inceptisol de textura franco arenosa

rainy days. Precipitation was measured with a rain gauge (authors' own design). Because the lots with OM and CM are 6 m apart, no replications were taken in precipitation measurement; in the case of runoff, three replications were performed. Thus, for each precipitation and runoff event in 24 h, one water sample for measuring precipitation and three for runoff were taken for each plot with CM and OM. Water samples were taken in 100-mL polypropylene bottles and placed in a refrigerator at 4 °C, for subsequent determination of NO_3^- and NH_4^+ by steam distillation (Bremner, 1965). The amounts of NO_3^- and NH_4^+ ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) for each event were obtained with the data from the NO_3^- and NH_4^+ ($\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$) concentrations in precipitation and runoff, and also using the volumes of water that fell as rain and flowed as runoff in 1 ha. The behavior of the NO_3^- and NH_4^+ concentrations in precipitation was analyzed as a function of time with the aid of graphs. The variables analyzed were: nitrates in precipitation (NO_3^- -Pr), ammonium in precipitation (NH_4^+ -Pr), mineral nitrogen in precipitation (Nmin-Pr), nitrates in runoff from organic plots (NO_3^- -Run-O), nitrates in runoff from conventional plots (NO_3^- -Run-C), ammonium in runoff from organic plots (NH_4^+ -Run-O), ammonium in runoff from conventional plots (NH_4^+ -Run-C), mineral nitrogen in runoff from organic plots (Nmin-Run-O) and mineral nitrogen in runoff from conventional plots (Nmin-Run-C). The parameters of central tendency and dispersion were obtained for each variable.

Results and discussion

Concentrations of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin in precipitation in 2001 and 2010.

In 2001 and 2010, 47 and 61 rainfall events occurred, respectively. Figures 1 and 2 show that NO_3^- and NH_4^+ concentrations in rainwater were higher in 2010 than in 2001. The beginning of the rainy season had the highest concentrations, tending to decrease in 2001 and remain constant or increase slightly in 2010. Table 1 shows that average nitrogen concentrations in precipitation in the form of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin increased by 106.7, 74.6 and 68.0 %, respectively, in 2010 compared to 2001. Accordingly, it can be inferred that there was a higher nitrogen concentration in the atmosphere in 2010; the increases were less than 120 %, an amount reported by Delon et al. (2007). According to Magnani et al. (1998), the higher concentrations may be due to increased nitrogen in the atmosphere resulting from population and vehicle growth. Figures 1 and 2 also show that in the two years evaluated, variability is greater at the beginning and then tends to decrease, so that an effect of atmospheric washing out and stabilization of concentrations can be inferred, since an increase in rainfall events decreases the ion concentration in the atmosphere. The above effect coincides with the

con densidad aparente de $1.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, profundidad de 1.2 m y pendiente de 2 %.

Desde el año 2001 hasta el 2010, los lotes B6 y B16 del CAEUACH se cultivaron con maíz. El primer lote fue manejado de manera convencional (MC) con la aportación de fertilizantes minerales ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N); el segundo lote tuvo manejo orgánico (MO) utilizando residuos de cosecha de maíz (hojas y tallos) del ciclo anterior al año evaluado. Los periodos analizados fueron del 22 de junio al 27 de septiembre (97 días) del año 2001 y del 23 de junio al 29 de septiembre (98 días) del año 2010. En cada lote se instalaron tres parcelas de escurrimiento de 16 m^2 con sus tanques para recolectar, cuantificar y tomar muestras de la escorrentía; las muestras se tomaron cada 24 h en los días de lluvia. La precipitación se cuantificó con un pluviómetro (diseño propio). Debido a que los lotes con MO y MC se encuentran a 6 m de distancia entre sí, no se tomaron repeticiones en la medida de la precipitación; en el caso de la escorrentía se manejaron tres repeticiones. De esta forma, para cada evento de precipitación y escorrentía en 24 h, se tuvo una muestra de agua para la medición de la precipitación y tres muestras de agua de escorrentía para cada parcela con MC y MO. Las muestras de agua se tomaron en frascos de polipropileno de 100 mL y se colocaron en un refrigerador a 4 °C, para realizar posteriormente la determinación de NO_3^- y NH_4^+ mediante destilación por arrastre de vapor (Bremner, 1965). Las cantidades de NO_3^- y NH_4^+ ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) para cada evento se obtuvieron con los datos obtenidos de las concentraciones de NO_3^- y NH_4^+ ($\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) de la precipitación y la escorrentía, y utilizando también los volúmenes de agua que precipitaron y escurrieron en 1 ha. El comportamiento de las concentraciones de NO_3^- y NH_4^+ en la precipitación se analizó en función del tiempo con la ayuda de gráficas. Las variables analizadas fueron: nitratos en la precipitación (NO_3^- -Pr), amonio en la precipitación (NH_4^+ -Pr), nitrógeno mineral en la precipitación (Nmin-Pr), nitrato en la escorrentía de las parcelas orgánicas (NO_3^- -Esc-O), nitratos en la escorrentía de las parcelas convencionales (NO_3^- -Esc-C), amonio en la escorrentía de las parcelas orgánica (NH_4^+ -Esc-O), amonio en la escorrentía de las parcelas convencionales (NH_4^+ -Esc-C), nitrógeno mineral en la escorrentía de las parcelas orgánicas (Nmin-Esc-O) y nitrógeno mineral en la escorrentía de las parcelas convencionales (Nmin-Esc-C). Los parámetros de tendencia central y dispersión se obtuvieron para cada variable.

Resultados y discusión

Concentraciones de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en la precipitación en los años 2001 y 2010.

En el año 2001 y 2010 se tuvieron 47 y 61 eventos de precipitación, respectivamente. En la Figuras 1 y 2 se observa que las concentraciones de NO_3^- y NH_4^+ en el agua

findings of Pérez-Suárez, Cetina-Alcalá, Aldrete, Fenn, and Landois-Palencia (2006). According to Austin et al. (2004), this behavior is also because during the dry season there is an accumulation of nitrogen in the atmosphere and in the soil, with pulses or emissions of NO and NO₂ occurring with the onset of the rainy season. The number of precipitation events was higher in 2010, so there should have been a greater dilution effect on NO₃⁻ and NH₄⁺ concentrations. However, this effect did not appear; on the contrary, concentrations increased slightly over time, indicating increased emission of NO and NO₂.

In 2001 and 2010, the highest concentrations corresponded to NH₄⁺ (Figure 1 and 2), coinciding with Pérez-Suárez et al. (2006), who found the same behavior in two sites in the State of Mexico. Table 1 shows that the mean concentrations of NH₄⁺ in precipitation are higher than those of NO₃⁻, which is linked to greater emission of nitrogen by activities related to urbanization (Galloway, Likens, & Hawley, 1984). According to Oyarzún, Godoy and Leyva (2002), NH₄⁺ concentrations are a reflection of farming activities in the area. On the other hand, an increase in NO₃⁻ concentrations in rainwater is a manifestation of increased pollution due to activities that emit NO and NO₂ (Galloway et al., 1984).

The maximum concentration values of NO₃⁻ and Nmin are similar in 2001 and 2010, while the NH₄⁺ concentration in 2010 increased by 33.1 % (Table 1). On the other hand, in 2010, the minimum concentration

de precipitación fueron mayores en el año 2010 que en el año 2001. Al inicio del periodo de lluvias se tuvieron las concentraciones más altas, tendiendo a disminuir en el año 2001 y a mantenerse constantes o incrementar ligeramente en el año 2010. En el Cuadro 1 se puede observar que las concentraciones promedio de nitrógeno en la precipitación en forma de NO₃⁻, NH₄⁺ y Nmin incrementaron 106.7, 74.6 y 68.0 %, respectivamente, en el año 2010 con respecto al año 2001. De acuerdo con lo anterior, se infiere mayor concentración de nitrógeno en la atmósfera para el año 2010; los incrementos fueron menores de 120 %, cantidad reportada por Delon et al. (2007). Según Magnani et al. (1998), el aumento en las concentraciones puede deberse al incremento del nitrógeno en la atmósfera ocasionado por el crecimiento poblacional y vehicular. En las Figuras 1 y 2 se observa también que en los dos años evaluados, la variabilidad es mayor al inicio y después tiende a disminuir, por lo que se infiere un efecto de lavado atmosférico y estabilización de las concentraciones, ya que al aumentar los eventos de lluvia, la concentración iónica en la atmósfera disminuye. El efecto anterior coincide con lo encontrado por Pérez-Suárez, Cetina-Alcalá, Aldrete, Fenn, y Landois-Palencia (2006). Acorde con Austin et al. (2004), dicho comportamiento también se debe a que durante la temporada seca existe acumulación de nitrógeno en la atmósfera y en el suelo, presentándose pulsos o emisiones de NO y NO₂ con el inicio de la temporada de lluvias. El número de eventos de precipitación fue mayor en el año 2010, por lo que se debería tener mayor efecto de dilución de las concentraciones de NO₃⁻ y NH₄⁺. Tal efecto no se presentó, por lo contrario, las concentraciones

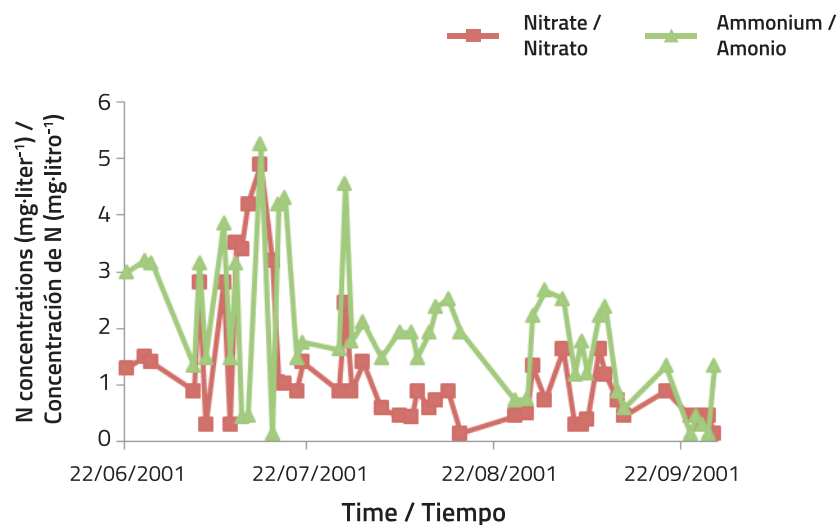


Figure 1. Behavior of nitrate (NO₃⁻) and ammonium (NH₄⁺) concentrations in rainwater (47 events) in 2001 in Texcoco, State of Mexico.

Figura 1. Comportamiento de las concentraciones de nitrato (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺) en el agua de precipitación (47 eventos) en el año 2001 en Texcoco, Estado de México.

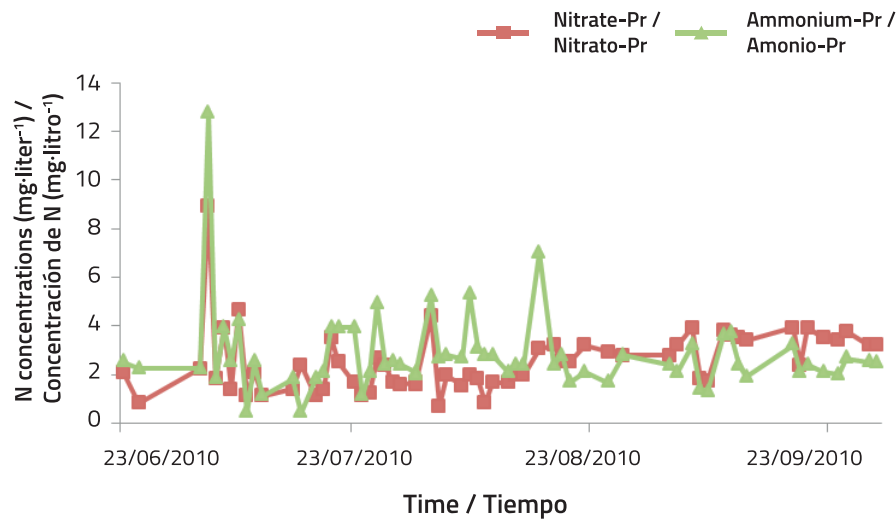


Figure 2. Behavior of nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^+) concentrations in rainwater (61 events) in 2010 in Texcoco, State of Mexico.

Figura 2. Comportamiento de las concentraciones de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) en el agua de precipitación (61 eventos) en el año 2010 en Texcoco, Estado de México.

values of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin rose by 366.6, 646.6 and 273.3 %, respectively, compared to 2001.

Effect of organic and conventional plot management on NO_3^- , NH_4^+ and Nmin concentrations in runoff.

In 2001 and 2010, 21 and 17 runoff events, respectively, were analyzed. By analyzing the effect of plot management on runoff water, Table 1 shows that the mean concentrations of NO_3^- in 2001 and 2010 were higher in plots with CM compared to those with OM. This can be explained by the dominance of nitric forms due to the addition of fertilizers and the greater availability of NO_3^- (Cookson et al., 2006). For both the organic and conventional treatments, mean concentrations of NO_3^- and Nmin in runoff water decreased from 2001 to 2010; by contrast, the NH_4^+ concentration slightly increased, with the increase being greater in the conventional treatment. The foregoing does not coincide with what is asserted by some authors (Cermak, Gilley, Eghball, & Wienhold, 2004; Flores-López et al., 2009; Porta, López-Acevedo, & Roquero, 1999), who hold that NH_4^+ concentrations are related to the decomposition of crop residues, so that in the present study the NH_4^+ concentration in the plots with organic management should have increased from 2001 to 2010.

The mean NO_3^- concentration values found in runoff water with the two management methods (CM and OM) in 2001 and 2010 are lower than those found by Camas-Gómez et al. (2012), which were 9.2, 26.3 and 12.3 $\text{mg}\cdot\text{liter}^{-1}$ as an average of six events with three agroforestry system treatments (corn in conservation tillage, corn in living wall barriers and corn interspersed with fruit trees).

aumentaron ligeramente con el paso del tiempo, indicando mayor emisión de NO y NO_2 .

En el año 2001 como en el 2010, las mayores concentraciones correspondieron al NH_4^+ (Figura 1 y 2) coincidiendo con Pérez-Suárez et al. (2006), quienes encontraron el mismo comportamiento en dos sitios del Estado de México. En el Cuadro 1 se observa que las concentraciones medias de NH_4^+ en la precipitación son mayores que las de NO_3^- , lo que está ligado a una mayor emisión de nitrógeno por actividades relacionadas con la urbanización (Galloway, Likens, & Hawley, 1984). De acuerdo con Oyarzún, Godoy, y Leyva (2002), las concentraciones de NH_4^+ son una manifestación de actividades agrícolas y ganaderas en la zona. Por otra parte, el incremento en las concentraciones de NO_3^- en el agua de precipitación es una manifestación de mayor contaminación por actividades que emiten NO y NO_2 (Galloway et al., 1984).

Los valores máximos de concentración de NO_3^- y Nmin son similares en los años 2001 y 2010, mientras que la concentración de NH_4^+ en el año 2010 incrementó 33.1 % (Cuadro 1). Por otra parte, en el año 2010, los valores mínimos de concentración de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin incrementaron 366.6, 646.6 y 273.3 %, respectivamente, con respecto al año 2001.

Efecto del manejo orgánico y convencional de las parcelas sobre las concentraciones de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en el agua de escorrentía

En el año 2001 y 2010 se analizaron 21 y 17 eventos de escorrentía, respectivamente. Al analizar el efecto del manejo de las parcelas sobre el agua de escorrentía, en

In general, in 2001, mean concentrations of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin^+ were higher in runoff for both OM and CM, while in 2010, concentrations were higher in precipitation.

Table 1 shows that the coefficients of variation (CV) of the NO_3^- , NH_4^+ and Nmin concentrations in runoff were higher in 2001 compared to 2010. On the other hand, in 2001 and 2010, the CV of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin in precipitation were higher than those in runoff. This indicates that there was no regularity in the two years analyzed to be able to say that the NO_3^- , NH_4^+ and Nmin concentrations have more or less variability in precipitation or runoff.

Table 2 shows the amounts of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin in precipitation were higher in 2010 compared to 2001 with increases of 24.2, 17.07 and 20.27 %, respectively, although the maximum and minimum values were higher for 2001. It can also be seen in this table that the data were more variable in 2001 compared to 2010. This variability is explained by the maximum and minimum values that provided a greater range in 2001. On the other hand, it can be seen that for both 2001 and 2010 the discharges of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin were higher for CM, which coincides with the behavior of the concentrations in Table 1. In the two years evaluated, the average amounts of NO_3^- and NH_4^+ were higher in precipitation than in runoff.

Table 3 presents a balance of inputs and outputs of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin . This table shows that the nitrogen in the precipitation was mainly in the form of NH_4^+ . The difference between NH_4^+ and NO_3^- was about $1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, for both 2001 and 2010. In the latter year, the amount of Nmin that entered by precipitation was higher ($2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) than in 2001. The amounts of NO_3^- and NH_4^+ contributed by precipitation were higher than those found by Pérez-Suárez et al. (2006) in a study conducted in Desierto de los Leones National Park, Mexico City. The authors reported values of $3.43 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ NO_3^- and $4.70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ NH_4^+ over a period of three months. The differences are probably due to the fact that Desierto de los Leones is a forest area.

Table 3 also shows that the amounts of nitrogen in the form of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin that came out of the plots were always higher with CM than with OM, in both 2001 and 2010. This is consistent with Duilio-Torres et al. (2005), who found that CM compared to treatments with different crop residues gave the greatest losses of NO_3^- and NH_4^+ in runoff. The results also coincide with the findings of Uribe-Gómez, Francisco-Nicolás, and Turrent-Fernández (2002), who concluded that CM produced a greater discharge of NO_3^- by runoff than treatment with crop residues.

el Cuadro 1 se observa que las concentraciones medias de NO_3^- en los años 2001 y 2010 fueron mayores en las parcelas con MC en comparación con las de MO. Esto puede explicarse por la dominancia de las formas nítricas debido a la adición de fertilizantes y a la mayor disponibilidad de NO_3^- (Cookson et al., 2006). Tanto para el tratamiento orgánico como para el convencional, las concentraciones medias de NO_3^- y Nmin en el agua de escorrentía disminuyeron al pasar del año 2001 al 2010; en contraste, la concentración de NH_4^+ incrementó ligeramente, siendo mayor el aumento en el tratamiento convencional. Lo anterior no coincide con lo afirmado por algunos autores (Cermak, Gilley, Eghball, & Wienhold, 2004; Flores-López et al., 2009; Porta, López-Acevedo, & Roquero, 1999) que sostienen que las concentraciones de NH_4^+ tienen que ver con la descomposición de los residuos de cosecha, por lo que en el presente trabajo, la concentración de NH_4^+ en las parcelas con tratamiento orgánico debería haber aumentado al pasar del año 2001 al año 2010.

Los valores medios de concentración de NO_3^- encontrados en el agua de escorrentía con los dos manejos (MC y MO) en los años 2001 y 2010 son menores a los encontrados por Camas-Gómez et al. (2012) que fueron de 9.2, 26.3 y $12.3 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ como promedio de seis eventos con tres tratamientos de sistemas agroforestales (maíz en labranza de conservación, maíz en barreras de muro vivo y milpa intercalada con árboles frutales).

En general, en el año 2001, las concentraciones medias de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin^+ fueron mayores en la escorrentía tanto para el MO como para el MC, mientras que en el año 2010, las concentraciones fueron mayores en la precipitación.

En el Cuadro 1 se aprecia que los coeficientes de variación (CV) de las concentraciones de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en el agua de escorrentía fueron mayores en el año 2001 en comparación con el año 2010. Por otra parte, en los años 2001 y 2010, los CV de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en la precipitación fueron mayores que los de la escorrentía. Lo anterior indica que no hubo regularidad en los dos años analizados, para poder afirmar que las concentraciones de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin presentan mayor o menor variabilidad en la precipitación o en la escorrentía.

En el Cuadro 2 se observa que las cantidades de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en la precipitación fueron mayores en el año 2010 en comparación con el año 2001 con incrementos de 24.2, 17.07 y 20.27 %, respectivamente, a pesar de que los valores máximos y mínimos fueron mayores para el año 2001. En dicho cuadro también se puede apreciar que los datos fueron más variables en el año 2001 en comparación con el año 2010. Esta variabilidad se explica por los

Table 1. Means of central tendency and dispersion of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin concentrations in rainwater (Pr) and runoff (Run) from plots with organic management (OM) and conventional management (CM) in Texcoco, State of Mexico.
Cuadro 1. Medidas de tendencia central y dispersión de las concentraciones de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en aguas de precipitación (Pr) y escorrentía (Esc) de parcelas con manejo orgánico (MO) y manejo convencional (MC) en Texcoco, Estado de México.

Nitrogen derivatives/ Derivados de nitrógeno	Year 2001 / Año 2001					Year 2010 / Año 2010				
	Mean (mg·liter ⁻¹) /Media (mg·litro ⁻¹)	Max (mg·liter ⁻¹) Máx (mg·litro ⁻¹)	Min (mg·liter ⁻¹) /Mín (mg·litro ⁻¹)	SD (mg·liter ⁻¹) /DE (mg·litro ⁻¹)	CV (%)	Mean (mg·liter ⁻¹) /Media (mg·litro ⁻¹)	Max (mg·liter ⁻¹) /Máx (mg·litro ⁻¹)	Min (mg·liter ⁻¹) /Mín (mg·litro ⁻¹)	SD (mg·liter ⁻¹) /DE (mg·litro ⁻¹)	CV (%)
[NO_3^- - Pr]	1.22	4.90	0.15	1.11	91	2.53	4.40	0.70	0.94	37
[NH_4^+ - Pr]	1.92	5.25	0.15	1.22	64	2.75	7.00	1.12	1.11	40
[Nmin-Pr]	3.14	10.15	0.60	1.95	62	5.28	10.06	2.24	1.64	31
[NO_3^- - Run-OM]/ [NO_3^- - Esc-MO]	2.88	13.28	0.45	2.66	92	2.42	3.57	1.28	0.62	26
[NO_3^- - Run-CM]/ [NO_3^- - Esc-MO]	2.92	16.10	0.30	3.52	120	2.51	3.87	1.19	0.76	30
[NH_4^+ - Run-OM]/ [NO_3^- - Esc-MC]	2.34	4.20	0.59	1.10	47	2.35	4.13	1.35	0.73	31
[NH_4^+ - Run- CM]/ [NH_4^+ - Esc- MO]	2.32	6.30	0.59	1.62	70	2.42	3.73	1.26	0.73	30
[Nmin-Run-OM]/ [Nmin-Esc-MO]	5.22	17.21	1.64	3.34	64	4.67	7.63	2.82	1.30	28
[Nmin-Run-CM]/ [Nmin-Esc-MC]	5.25	18.55	1.04	4.41	84	4.78	7.60	2.18	1.65	35

Max = Maximum value, Min = Minimum value, SD = Standard deviation, CV = Coefficient of variation.

Máx = Valor máximo, Mín = Valor mínimo, DE = Desviación estándar, CV = Coeficiente de variación.

Table 2. Means of central tendency and dispersion of the content variables of NO_3^- and NH_4^+ and Nmin in precipitation (Pr) and runoff (Run) from plots with organic management (OM) and conventional management (CM) in Texcoco, State of Mexico.

Cuadro 2. Medidas de tendencia central y dispersión de las variables de contenido de NO_3^- y NH_4^+ y Nmin en la precipitación (Pr) y escorrentía (Esc) de parcelas con manejos orgánico (MO) y manejo convencional (MC) en Texcoco, Estado de México.

Nitrogen derivatives/ Derivados de nitrógeno	Year 2001 / Año 2001				Year 2010 / Año 2010					
	Mean (g·ha ⁻¹) / Media (g·ha ⁻¹)	Max (g·ha ⁻¹) / Máx (g·ha ⁻¹)	Min (g·ha ⁻¹) / Mín (g·ha ⁻¹)	SD (g·ha ⁻¹) / DE (g·ha ⁻¹)	CV (%)	Mean (g·ha ⁻¹) / Media (g·ha ⁻¹)	Max (g·ha ⁻¹) / Máx (g·ha ⁻¹)	Min (g·ha ⁻¹) / Mín (g·ha ⁻¹)	SD (g·ha ⁻¹) / DE (g·ha ⁻¹)	CV (%)
NO_3^- -Pr	99	1078	3.0	188	190	123	483	1.0	134	108
NH_4^+ -Pr	123	1155	1.0	192	156	144	678	1.0	168	117
Nmin-Pr	222	2,232	2.0	358	161	267	1,114	1.0	293	110
NO_3^- -Run-OM/ NO_3^- -Esc-MO	36	179	0.3	46	127	8	36	0.1	9	107
NO_3^- -Run-CM/ NO_3^- -Esc-MC	50	235	0.4	76	153	14	60	2.0	17	119
NH_4^+ -Run-OM/ NH_4^+ -Esc-MO	41	232	0.3	60	146	8	42	0.1	9	120
NH_4^+ -Run-CM/ NH_4^+ -Esc-MC	48	200	0.3	63	123	13	58	1.0	16	116
Nmin-Run-OM/ Nmin-Esc-MO	77	360	1.0	102	132	16	78	0.3	18	112
Nmin-Run-CM/ Nmin-Esc-MC	97	423	1.0	137	141	28	118	3.0	33	117

Max = Maximum value, Min = Minimum value, SD = Standard deviation, CV = Coefficient of variation.

Máx = Valor máximo, Mín = Valor mínimo, DE = Desviación estándar, CV = Coeficiente de variación.

Table 3. Amounts of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin in precipitation (Pr) and runoff (Run) in plots with organic management (OM) and conventional management (CM) in Texcoco, State of Mexico.

Cuadro 3. Cantidades de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en la precipitación (Pr) y escorrentía (Esc) en parcelas con manejo orgánico (MO) y convencional (MC) en Texcoco, Estado de México.

	2001		2010	
	OM/MO	CM/MC	OM/MO	CM/MC
NO_3^- -Pr (kg·ha ⁻¹)	4.64	4.64	5.80	5.80
NH_4^+ -Pr (kg·ha ⁻¹)	5.79	5.79	6.75	6.75
Nmin-Pr (kg·ha ⁻¹)/Nmin-Pr (kg·ha ⁻¹)	10.43	10.43	12.55	12.55
NO_3^- -Run (kg·ha ⁻¹)/ NO_3^- -Esc (kg·ha ⁻¹)	0.76	1.04	0.13	0.24
NH_4^+ -Run (kg·ha ⁻¹)/ NH_4^+ -Esc (kg·ha ⁻¹)	0.86	0.99	0.13	0.22
Nmin-Run (kg·ha ⁻¹)/Nmin-Esc (kg·ha ⁻¹)	1.62	2.04	0.27	0.47

Conclusions

The methodology used in this study allowed us to analyze the differences in concentration and amounts of nitrogen that entered with rainwater and came out with runoff in plots with organic and conventional treatments, in two periods with an interval of nine years. The results have environmental and productive implications because the amounts of nitrogen in the form of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin that entered the agroecosystem with precipitation increased from 2001 to 2010. This is likely due to the effect of population growth and development of the area on nitrogen concentrations in the atmosphere because of increased emissions. On the other hand, the organic production system was an alternative to reduce nitrogen outputs in the form of NO_3^- , NH_4^+ and Nmin in runoff, compared to the conventional system. The amounts of nitrogen in the form of NO_3^- and NH_4^+ that entered through precipitation were considerably higher than those that came out through runoff. Nitrogen that entered the conventional and organic systems by precipitation was mainly in the form of NH_4^+ , and nitrogen that came out by runoff was mostly in the form of NO_3^- .

valores máximos y mínimos que proporcionaron un rango mayor en el año 2001. Por otra parte, se aprecia que tanto para el año 2001 como para el año 2010, las descargas de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin fueron mayores para el MC, lo que coincide con el comportamiento de las concentraciones del Cuadro 1. En los dos años evaluados, las cantidades medias de NO_3^- y NH_4^+ fueron mayores en la precipitación que en la escorrentía.

El Cuadro 3 presenta un balance de las entradas y salidas de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin. En dicho cuadro se observa que el nitrógeno en la precipitación fue principalmente en forma de NH_4^+ . La diferencia entre el NH_4^+ y NO_3^- fue de 1 kg·ha⁻¹ aproximadamente, tanto para el año 2001 como para el año 2010. En este último año, la cantidad de Nmin que entró por precipitación fue mayor (2 kg·ha⁻¹) que en el año 2001. Las cantidades de NO_3^- y NH_4^+ aportadas por la precipitación fueron más altas que las encontradas por Pérez-Suárez et al. (2006) en un estudio realizado en el Desierto de los Leones de la Ciudad de > México. Los autores reportaron valores de 3.43 kg·ha⁻¹ de NO_3^- y 4.70 kg·ha⁻¹ de NH_4^+ en un periodo de tres meses. Las diferencias posiblemente se deben a que la zona del Desierto de los Leones es una zona de bosque.

En el Cuadro 3 también se muestra que las cantidades de nitrógeno en forma de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin que salieron de las parcelas, siempre fueron mayores con el MC que con MO, tanto en el año 2001 como en el 2010. Lo anterior es concordante con Duilio-Torres et al. (2005), quienes encontraron que el MC en comparación con tratamientos con diferentes residuos de cosecha dio las mayores pérdidas de NO_3^- y NH_4^+ en la escorrentía. Los

End of English version

References / Referencias

- Austin, A. T., Yahdjian, L., Stark, J. M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, ... Schaeffer, S. M. (2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semi arid ecosystems. *Oecologia*, 141, 221–235. doi: 10.1007/s00442-004-1519-1
- Berry, P. M., Sylvester-Bradley, R. L., Philipps, D. J., Hatch, S. P., Cuttle, F. W., & Gosling P. (2006). Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use and Management*, 18, 248–255. doi: 10.1111/j.1475-2743.2002.tb00266.x
- Bremner, J. M. (1965). Inorganic forms. In C. A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis (Part 2)* (pp.1179–1237). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy.
- Camas-Gómez, R., Turrent-Fernández, A., Cortes-Flores, J. I., Livera-Muñoz, M., González-Estrada, A., Villar Sánchez, B., ... Cadena-Iñiguez, P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2), 231–243. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n2/v3n2a2.pdf>
- Carpenter, S. R., Caraco, N. E., Corell, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8, 559–568. doi: 10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2
- Cermak, J. D., Gilley, J. E., Eghball, B., & Wienhold B. J. (2004). Leaching and sorption of nitrogen and phosphorus by crop residue. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 47, 113–118. Obtenido de <http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1225>
- Cookson, W. R., Marschner, P., Clark, I. M., Milton, N., Smirk, M. N., Murphy, D. V., ... Hirsch P. R. (2006). The influence of season, agricultural management, and soil properties on gross nitrogen transformations and bacterial community structure. *Australian Journal of Soil Research*, 44(4), 453–465. doi: 10.1071/SR05042
- Delon, C., Serca, D., Boissard, C., Dupont, R., Dutot, A., Laville, De R. P., & Delmas, R. (2007). Soil NO emissions modeling using artificial neural network. *Tellus B*, 59(3), 502–513. doi: 10.1111/j.1600-0889.2007.00254.x
- Duilio-Torres, R., Florentino, A., & López, M. (2005). Pérdidas de suelo y nitrógeno por escorrentía en un ultisol degradado bajo diferentes condiciones de cobertura vegetal en Chaguaramas-Guárico. *Agronomía Tropical*, 55(4), 475–496. Obtenido de <http://www.scielo.org.ve/pdf/at/v55n4/art02.pdf>
- Ehhalt, D., Prather, M., Dentener, F., Derwent, R., Dlugokencky, E., Holland, E., ... Wang, M. (2001). Atmospheric chemistry and greenhouse gases. In J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, K. Dai, ... C. A. Johnson (Eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis* (pp. 239–288). New York, USA: Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. Obtenido de http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/WG1_TAR-FRONT.PDF
- resultados también coinciden con lo encontrado por Uribe-Gómez, Francisco-Nicolás, y Turrent-Fernández (2002), quienes concluyeron que el MC produjo una descarga mayor de NO_3^- por la escorrentía que el tratamiento con residuos de cosecha.

Conclusiones

La metodología utilizada en este estudio permitió analizar las diferencias en concentración y cantidades del nitrógeno que entraron con el agua de precipitación y que salieron con el agua de escorrentía en parcelas con tratamientos orgánico y convencional, en dos periodos con un intervalo de nueve años. Los resultados obtenidos tienen implicaciones ambientales y productivas debido a que las cantidades de nitrógeno en forma de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin que entraron al agroecosistema con la precipitación incrementaron al pasar del año 2001 al 2010. Lo anterior debido probablemente al efecto del crecimiento poblacional y desarrollo de la zona sobre las concentraciones de nitrógeno en la atmósfera a causa de mayores emisiones. Por otra parte, el sistema de producción orgánico fue una alternativa para reducir las salidas de nitrógeno en forma de NO_3^- , NH_4^+ y Nmin en la escorrentía, en comparación con el sistema convencional. Las cantidades de nitrógeno en forma de NO_3^- y NH_4^+ que entraron mediante la precipitación fueron considerablemente mayores que las que salieron por la escorrentía. El nitrógeno que entró por precipitación a los sistemas convencional y orgánico fue principalmente en forma de NH_4^+ , y el nitrógeno que salió por la escorrentía fue mayormente en forma de NO_3^- .

Fin de versión en español

- Elliott, E. M., Kendall, C., Boyer, E. W., Burns, D. A., Lear, G. G., Golden, H. E., ...Glatz, R. (2009). Dual nitrate isotopes in dry deposition: Utility for partitioning NO_x source contributions to landscape nitrogen deposition. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114(G4), G04020. doi: 10.1029/2008JG000889
- Flores-López, H. E., Carrillo-González, R., Francisco-Nicolás, N., Hidalgo-Moreno, C., Ruíz-Corral, J. A., Castañeda-Villanueva, A. A., & Velazco-Nuño, R. (2009). Aportes de nitrógeno y fósforo de tres sistemas agrícolas de la cuenca hidrográfica "El Jihuite", en Jalisco, México. *Agrociencia*, 43, 659–669. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n7/v43n7a1.pdf>
- Galloway, J. N., Likens, G. E., & Hawley, M. E. (1984). Acid precipitation: Natural versus anthropogenic components. *Science*, 226(4676), 829–831. doi: 10.1126/science.226.4676.829
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., ...Sutton, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320, 889–892. doi:10.1126/science.1136674
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen* (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México: UNAM.
- Havlin, J. L. (1999). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. New Jersey, USA: Editorial Prentice Hall.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2000). Censos de población y vivienda. Consultado 20-07-2013 en http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2000.aspx?c=2
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010). Censos de población y vivienda. Consultado 20-07-2013 en http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx
- Magnani, F., Mencuccini, M., Borghetti, M., Berbigier, P., Berninger, F., Delzon, S., ...Moffatt, A. S. (1998). Global nitrogen overload problem grows critical. *Science*, 279, 988–989. doi:10.1126/science.279.5353.988
- Oyarzún, C. E., Godoy, R., & Leiva, S. (2002). Deposición atmosférica de nitrógeno en un transecto valle longitudinal-cordillera de Los Andes, centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75, 233–243. doi: 10.4067/S0716-078X2002000100021
- Pérez-Suárez, M., Cetina-Alcalá, V. M., Aldrete, A., Fenn, M. E., & Landois-Palencia, L. L. (2006). Química de la precipitación pluvial en dos bosques de la cuenca de la ciudad de México. *Agrociencia*, 40, 239–248. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240209>
- Pierson, S. T., Cabrera, M. L., Envanylo, G. K., Kuykendall, H. A., Hoveland, C. S., Mccann M., & West L. T. (2001). Phosphorus and ammonium concentrations in surface runoff from grasslands fertilized with broiler litter. *Journal of Environmental Quality*, 30, 1784–1789. doi: 10.2134/jeq2001.3051784x
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (2a ed.). España: Mundi-Prensa.
- Sharpley, A. N., Chapra, S. C., Wedepohl, R., Sims, J. T., Daniel, T. C., & Reddy, K. R. (1994). Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *Journal of Environmental Quality*, 23, 437–451. doi: 10.2134/jeq1994.00472425002300030006x
- Sutton, M. A., Nemitz, E., Erisman, J. W., Beier, C., Bahl, K. B., Cellier, P., ...Reis, S. (2007). Challenges in quantifying biosphere-atmosphere exchange of nitrogen species. *Environmental Pollution*, 150, 125–139. doi:10.1016/j.envpol.2007.04.014
- Uribe-Gómez, S., Francisco-Nicolás, N., & Turrent-Fernández, A. (2002). Pérdida de suelo y nutrientes en un entisol con prácticas de conservación en los Tuxtlas, Veracruz, México. *Agrociencia*, 36(2), 161–168. Obtenido de <http://redalyc.org/articulo.oa?id=30236203>