



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Alberto Bouzo, Carlos; Astegiano, Eugenio Domingo

Efectos de diferentes agroecosistemas en la dinámica de nitrógeno, fósforo y potasio en un cultivo de  
tomate

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 3, núm. 5, septiembre-octubre, 2012, pp. 907-923

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123214006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Efectos de diferentes agroecosistemas en la dinámica de nitrógeno, fósforo y potasio en un cultivo de tomate\*

### Effects of different agro-ecosystems in the dynamic of nitrogen, phosphorous, and potassium in the tomato crop

Carlos Alberto Bouzo<sup>§</sup> y Eugenio Domingo Astegiano<sup>†</sup>

Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción Vegetal. Kreder 2805, S3080HOF. Esperanza, Santa Fe, Argentina. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: cbouzo@arnet.com.ar.

## Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la dinámica del nitrógeno, fósforo y potasio en cultivos de tomate y suelos en diferentes agroecosistemas. El trabajo consistió en estudiar el efecto de tres agroecosistemas: agrícola ( $T_1$ ), natural ( $T_2$ ) y hortícola ( $T_3$ ). Estos agroecosistemas se caracterizaron por la secuencia de los cultivos de maíz y trigo durante 8 años ( $T_1$ ), vegetación natural de gramíneas ( $T_2$ ) y rotaciones de cultivos hortícolas durante 20 años ( $T_3$ ). El estudio fue realizado en Santa Fe, Argentina ( $31^\circ 15' S$ ,  $60^\circ 50' W$ ) entre 2009 y 2010, habiéndose utilizado un cultivar de tomate híbrido redondo de crecimiento indeterminado. La concentración de  $N-NO_3^-$  en los suelos tuvo un valor alto ( $> 65$  ppm), al inicio del cultivo en los tres agroecosistemas. La concentración de P también fue muy alta ( $> 250$  ppm) en el agroecosistema hortícola ( $T_3$ ) y menor en los restantes, con aproximadamente 50 ppm para  $T_1$  y 150 ppm para  $T_2$ . Lo mismo sucedió en este agroecosistema con el K. El agroecosistema natural ( $T_2$ ) fue el que tuvo la menor concentración de P en el suelo. Las concentraciones de N, P y K resultaron con diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en las concentraciones de los tejidos de las plantas provenientes de los tres agroecosistemas. Las concentraciones de P en planta no resultaron deficientes en ningún agroecosistema. Sin embargo, las concentraciones de N y K fueron deficientes hacia el final del estudio en los agroecosistemas agrícola ( $T_1$ ) y natural ( $T_2$ ).

## Abstract

The objective of this research was to evaluate the dynamics of nitrogen, phosphorous, and potassium in tomato crops and in different soils of agro-ecosystems. The research consisted of studying the effect of three agro-ecosystems: 1) agricultural ( $T_1$ ), natural ( $T_2$ ) and horticultural ( $T_3$ ). These agro-ecosystems are characterized by the sequence of the maize and wheat crops during 8 years ( $T_1$ ), natural vegetation of grasses ( $T_2$ ), and rotation of horticultural crops during 20 years ( $T_3$ ). The study was done in Santa Fe, Argentina ( $31^\circ 15' S$ ,  $60^\circ 50' W$ ) between 2009 and 2010, having used a hybrid tomato crop, round with indeterminate growth. The concentration of  $N-NO_3^-$  in the soils had a high value ( $> 65$  ppm) at the beginning of the crop in the three agro-ecosystems. The concentration of P was also very high ( $> 250$  ppm) in the horticultural agro-ecosystem ( $T_3$ ) and less than the rest, with approximately 50 ppm for  $T_1$  and 150 ppm for  $T_2$ . The same occurred in this agro-ecosystem with K. The natural agro-ecosystem ( $T_2$ ) was the one that had the lowest concentration of P in the soil. The concentrations of N, P, and K resulted with highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) in the concentrations of the stalks of the plants coming from the three agro-ecosystems. However, the concentrations of N and K were deficient towards the end of the study in the agricultural ( $T_1$ ) and natural ( $T_2$ ) agro-ecosystems.

\* Recibido: noviembre de 2011  
Aceptado: junio de 2012

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., concentración de nutrientes, nutrición mineral, rotación agrícola.

**Key words.** *Solanum lycopersicum* L., nutrient concentrations, mineral nutrition, agricultural rotation.

## Introducción

En los últimos años el rendimiento del cultivo de tomate en la región central de Santa Fe, Argentina tuvo un aumento sostenido principalmente como consecuencia de la introducción de nuevas cultivares. Sin embargo, uno de los aspectos menos estudiados está relacionado con la dinámica de los principales macronutrientes, tanto a nivel edáfico como de planta. La importancia de este tema radica en los diferentes usos agrícolas a que se destinan los suelos de la zona (Bouzo *et al.*, 2005).

Esta situación se complica además debido al uso de abonos orgánicos de origen animal previo a la implantación de tomate. Los residuos orgánicos con una baja relación C/N presentan una mineralización mayor del N que aquellos con alta relación C/N, lo que causa una inmovilización del N durante la descomposición (Gentile *et al.*, 2008). El conocimiento de factores tales como el historial del uso de los suelos y la incorporación de abonos orgánicos puede reducir el uso de fertilizantes químicos al tiempo que permitirían un mayor retorno económico y un menor impacto ambiental. Esto debe lograrse sin disminuir el potencial productivo de los actuales cultivares de tomate, los que requieren de un adecuado suministro de nutrientes que permitan expresar estos altos rendimientos (Richardson *et al.*, 2009).

Por otra parte, es conocido que en este cultivo a partir del inicio de la floración existe una importante detención en el crecimiento de las raíces (Lozano *et al.*, 2009), pudiendo modificarse así la capacidad de aprovechamiento de los nutrientes del suelo (Albacete *et al.*, 2008). Una situación similar puede suceder cuando los suelos son muy fértiles, que, al incrementar la disponibilidad de nutrientes, las plantas destinan menos recursos para el crecimiento de las raíces (Ågren y Franklin, 2003). Por otra parte, la demanda de nutrientes del cultivo se modifica en función del estado fenológico debiendo adecuarse el suministro de nutrientes a cada fase del crecimiento y desarrollo (Adams, 1986). El objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica del nitrógeno, fósforo y potasio en cultivos de tomate y suelos de diferentes agroecosistemas.

## Introduction

In recent years, tomato crop yields in the central region of Santa Fe, Argentina had a sustained increase, principally as a consequence of the introduction of new cultivars. However, one of the fewer studied aspects is related to the dynamic of the principle macro-nutrients as much at an edaphic level as a plant level. The importance of this topic lies in the different agricultural uses to which are destined the soils of the area (Bouzo *et al.*, 2005).

This situation is further complicated due to the use of organic fertilizers with animal origin before the introduction of the tomato. The organic residues with a low C/N relation present a mineralization greater in N than those with a high C/N relation, which causes immobilization of N during the decomposition (Gentile *et al.*, 2008). The knowledge of these factors such as the history of soil use and the incorporation of organic fertilizers can reduce the use of chemical fertilizers while at the same time allowing a greater economic return and a lower environmental impact. This should achieve, with diminishing the productive potential of the current tomato cultivar, those that require adequate administration of nutrients to allow it to express these high yields.

On the other hand, it is known that upon the beginning of flower in this crop, there is an important interruption in the growth of the roots (Lozano *et al.*, 2009), perhaps changing itself in the ability to take advantage of the nutrients of the soil (Albacete *et al.*, 2008). A similar situation could occur when the soils are very fertile, that upon increasing the availability of nutrients, the plants allocate fewer resources to root growth (Ågren y Franklin, 2003). On the other hand, the demand of nutrients for the crop is modified in function of the phenological state due to adapting itself to the supply of nutrients for each phase of growth and development (Adams, 1986). The objective of this research was to study the dynamics of nitrogen, phosphorous, and potassium in the tomato crop and in soils with different agro-ecosystems.

## Materiales y métodos

El estudio fue realizado en el cinturón hortícola de Santa Fe (31° 15' S, 60° 50' W) entre 2009 y 2010. Se utilizaron semillas de tomate redondo de crecimiento indeterminado, cv. 'Oso' (BHN) las que fueron sembradas en bandejas de poliestireno de 228 celdas (20 cm<sup>3</sup> por celda) usando como sustrato una mezcla de turba y perlita en la proporción de 80% y 20% (v/v), respectivamente. El transplante se realizó a los 47 días cuando las plantas tenían 4 hojas verdaderas, en líneas separadas a 1.4 m lográndose una densidad final de 24 000 plantas ha<sup>-1</sup> conducidas a un sólo tallo. El suelo correspondió al grupo Argiudol típico, caracterizado por su textura franco-limosa (Cuadro 1).

## Materials and methods

The study was carried out in the horticulture belt of Santa Fe (31° 15' S, 60° 50' W) between 2009 and 2010. Seeds of round tomatoes with intermediate growth were used, cv. 'Oso' (BHN), the ones that were planted in polystyrene trays with 228 cells (20 cm<sup>3</sup> for cell) using as substratum, a mixture of peat and perlite in the proportion 80% to 20% (v/v), respectively. The transplant was realized at 47 days when the plants had four green leaves, in lines separate at 1.4 m, obtaining a final density of 24 000 plants ha<sup>-1</sup> leading to a single stem. The soil corresponded to the typical Argiudol group characterized for its silt-loam texture (Table 1).

**Cuadro 1. Valores medios texturales y de composición química del suelo Argiudol (sub típico) de los agroecosistemas T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>.**

**Table 1. Medium textural values and of chemical composition of Argiudol (sub typical) soil for the agro-ecosystems T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, and T<sub>3</sub>.**

Profundidad (cm)	Arena	Limo	Arcilla	MO	CO	Nt	K	P	PH
	(%)						(meq/100 g)	(ppm)	(1:2.5)
10	20.7	66.3	13.0						
20	18.5	64.4	17.1	1.79	1.05	0.117	0.62	39	5.40
30	18.4	61.7	19.9						
40	19.6	58.3	22.1						
50	18.6	54.8	26.6	1.15	0.66	0.102			5.55

Los tratamientos fueron los tres diferentes agroecosistemas, denominados aquí: agrícola (T<sub>1</sub>), natural (T<sub>2</sub>) y hortícola (T<sub>3</sub>). Estos agroecosistemas se caracterizaron por la secuencia de los cultivos de maíz y trigo durante 8 años (T<sub>1</sub>), vegetación natural de gramíneas (T<sub>2</sub>) y rotaciones de cultivos hortícolas durante 20 años (T<sub>3</sub>). El manejo nutricional seguido en el agroecosistema T<sub>1</sub> fue con fertilización inorgánica y roturación del suelo. En T<sub>2</sub> se trató de un suelo virgen sin incorporación de abonos. En el agroecosistema T<sub>3</sub> el cultivo de tomate se alternó cada 4 años, momento en que se aportaron 20 t ha<sup>-1</sup> de estiércol de ave de corral. Los datos climáticos fueron registrados con una estación meteorológica Davis (Weather Wizard Iii) ubicada a 100 m del sitio experimental (Cuadro 2).

The treatments were the three agro-ecosystems, denominated here: agricultural (T<sub>1</sub>), natural (T<sub>2</sub>), and horticultural (T<sub>3</sub>). These agro-ecosystems are characterized by the sequence of the maize and wheat crops during 8 years (T<sub>1</sub>), natural grass vegetation (T<sub>2</sub>), and rotation of horticulture crops during 20 years (T<sub>3</sub>). The nutritional management followed in the T<sub>1</sub> agro-ecosystem was with inorganic fertilizer and clearing of the land. In T<sub>2</sub> it deals with a virgin soil without the incorporation of fertilizers. In the agro-ecosystem T<sub>3</sub> the tomato crop was alternated every 4 years at which time it produced 20 t ha<sup>-1</sup> of poultry manure. The climate data was registered with a meteorological station, Davis (Weather Wizard Iii) located at 100 m from the experimental site (Table 2).

El modelo estadístico utilizado correspondió a un diseño jerárquico de dos etapas (Montgomery, 1991):  $Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j(i) + \gamma_k(j) + \varepsilon(ijk)$ , donde  $\mu$  es la media poblacional,  $\tau_i$  es el efecto del tipo de manejo previo al que fue sometido el suelo,  $\beta_j(i)$  es efecto del momento en el ciclo del cultivo en que fueron realizados los muestreos dentro de cada situación de manejo,  $\gamma_k(j)$  es el efecto del muestreo dentro de cada

The statistical model that was used corresponded to a hierarchical design of two stages (Montgomery, 1991):  $Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j(i) + \gamma_k(j) + \varepsilon(ijk)$ , where  $\mu$  is the mean population,  $\tau_i$  is the effect of the type of previous management to which the soil was subjected,  $\beta_j(i)$  is the effect of the moment in the crop cycle in which the samples were completed within each situation of soil management,

momento y  $\epsilon$  (ijk) l es el error experimental. Los análisis fueron realizados utilizando el procedimiento General Lineal Model (GLM) del programa estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1994).

$\gamma$  k (ij) is the effect of the sample within each moment and  $\epsilon$  (ijk) l is the experimental error. The analyses were done using the process General Lineal Model (GLM) from the SAS statistic program (SAS Institute Inc., 1994).

**Cuadro 2. Registros de precipitación (mm) y de temperatura (°C) durante el período desde la implantación hasta la finalización del cultivo de tomate.**

**Table 2. Registers of precipitation (mm) and temperature (°C) during the period from introduction to the finalization of the tomato crop.**

Mes	Precipitación mm	Temperatura		
		Media	Máxima absoluta °C	Mínima absoluta
Junio	68	14.2	23.1	2.9
Julio	16	12.4	29.4	-0.9
Agosto	60	16.0	31.7	4.1
Septiembre	18	15.4	28.9	3.6
Octubre	209	19.6	32.1	4.5
Noviembre	71	22.2	35.9	9.0
Diciembre	80	26.1	36.2	14.7

Previo a la implantación del cultivo de tomate en todos los agroecosistemas la preparación del suelo fue la misma. A 30 días antes del transplante se realizó una aplicación de 30 t ha<sup>-1</sup> de cama de estiércol de ave. Posteriormente y cuando en la primer inflorescencia se habían establecidos frutos mayores a 2 cm de diámetro ecuatorial, se realizó una aplicación manual en la línea de plantas, de 50 kg N ha<sup>-1</sup> con nitrosulfato de amonio (26% N, 6.5% N-NO<sub>3</sub>, 19.5% N-NH<sub>4</sub>, 37% SO<sub>3</sub>). La composición media del estiércol utilizado fue de 2.7% de N, 4.1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 2% K<sub>2</sub>O con una humedad aproximada de 25%.

Before the introduction of the tomato plant in all of the agroecosystems, the preparation of soil was the same. At 30 days before the transplant, there was an application of 30 t ha<sup>-1</sup> of beds of chicken manure. Afterwards and when the first inflorescence had been established as fruits larger than 2 cm in equatorial diameter, there was a manual application in the line of the plants, of 50 kg N ha<sup>-1</sup> with ammonium sulphonitrate (26% N, 6.5% N-NO<sub>3</sub>, 19.5% N-NH<sub>4</sub>, 37% SO<sub>3</sub>). The mean composition of the manure used was de 2.7% de N, 4.1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 2% K<sub>2</sub>O, with a humidity of approximately 25%.

El riego efectuado fue del tipo gravitacional por surco y el manejo sanitario de cultivo habitual para la zona. Con el fin de medir la acumulación de peso de materia seca y contenido de N, P y K, se extrajeron 5 plantas por repetición con frecuencia mensual desde el transplante hasta la finalización de la cosecha. El contenido de N, P y K en frutos, hojas y tallo se determinó en forma separada. La determinación de N se efectuó por el método de digestión Kjeldahl, el P y K por medio de digestión nitroperclórica (Sarkar y Haldar, 2005). El P se cuantificó posteriormente por espectrofotometría y el K por fotometría de llama (Sarkar y Haldar, 2005). Las muestras de suelo, que correspondieron a una composición de 10 submuestras por repetición tomadas hasta los 20 cm de profundidad fueron analizadas mediante los siguientes métodos: nitratos por fotocolorimetría, potasio asimilable por fotometría de llama y fósforo asimilable por el método de Kurtz y Bray Núm. 1 (Sarkar y Haldar, 2005).

The conducted irrigation was of a gravitational type by bed and the sanitary management of the habitual crop for the zone. With the purpose of measuring the accumulation in weight of the dry material and the content of N, P, and K, five plants were extracted for repetition with monthly frequency since the transplant until the end of the harvest. The content of N, P, and K in fruits, leaves, and stem was determined in a separate manner. The determination of N was performed by the method of digestion Kjeldahl, the P and K by means of nitro perchloric digestion (Sarkar y Haldar, 2005). The P was later characterized by spectrophotometry and the K by flame photometry (Sarkar and Haldar, 2005). The soil samples that corresponded to a composition of 10 sub-samples by repetition and until 20 cm depth were analyzed through the following methods: nitrates by spectrophotometric, available potassium by flame photometry, and phosphorus by the method of Bray and Kurtz No. 1 (Sarkar and Haldar, 2005).

## Resultados y discusión

### Dinámica de nutrientes en el suelo

#### Nitrógeno

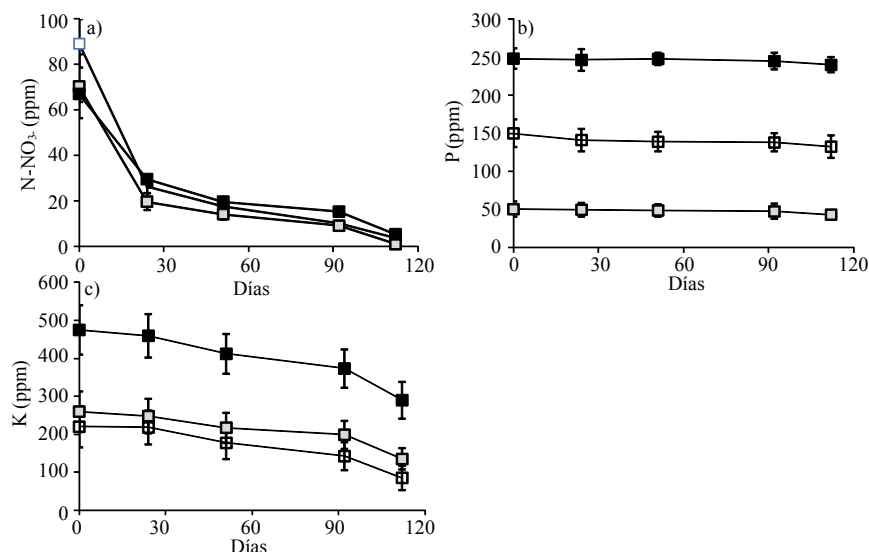
Al momento del trasplante las concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$  edáfico en los tres agroecosistemas presentaron valores considerados muy altos para tomate (Richardson *et al.*, 2009) (Figura 1a). Esta excesiva disponibilidad de nitrógeno en su estado nítrico se debería principalmente al aporte proveniente del estiércol de ave efectuado un mes antes del trasplante. En este material el N mineralizado el primer año puede superar 60% (Agehara y Warneke, 2005). Incluso hay autores que midieron una mineralización de 50% del N orgánico en los primeros 14 días de incorporado al suelo (Cabrera *et al.*, 1994). Considerando la profundidad hasta la que se extrajeron las muestras y la densidad aparente del suelo ( $1.3 \text{ Mg m}^{-3}$ ) el aporte de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol incorporada aquí, con 50% de mineralización significaría un incremento de casi 120 ppm de N en el primer mes. Este valor es superior al obtenido mediante análisis químicos para los tres lotes al momento del trasplante y a un mes de incorporado el estiércol al suelo (Figura 1a). Estas diferencias pueden haberse debido a las pérdidas por volatilización del  $\text{N-NH}_4^+$  como así también a la lixiviación parcial del  $\text{N-NO}_3^-$ , considerando que entre la incorporación del estiércol y el momento del trasplante las precipitaciones fueron aproximadamente de 60 mm (Cuadro 2).

## Results and discussion

### Dynamics of nutrients in the soil

#### Nitrogen

At the moment of transplant the concentration of  $\text{N-NO}_3^-$  the soil in the three agro-ecosystems presented values that were considered very high for tomatoes (Richardson *et al.*, 2009) (Figure 1a). This excessive availability of nitrogen in its nitric state, should have principally contributed to the poultry manure one month before the transplant. In this material the mineralized N in the first year can exceed 60% (Agehara and Wameke, 2005). Including, there are two authors that measured a mineralization of 50% of organic N in the first 14 days of being incorporated into soil (Cabrera *et al.*, 1994). Considering the depth until the samples were extracted and the apparent depth of the soil ( $1.3 \text{ Mg m}^{-3}$ ) the contribution of  $30 \text{ t ha}^{-1}$  of incorporated manure here, with 50% of significant mineralization would mean an increase of almost 120 ppm of N in the first month. This value is higher than the one obtained through chemical analysis for the three lots at the moment of transplant and at one month of manure incorporated into the soil (Figure 1a). These differences can be due to the loss of volatilization of  $\text{N-NH}_4^+$  or because of the partial leaching of  $\text{N-NO}_3^-$ , considering that between the incorporation of manure and at the moment of transplant the precipitation was approximately at 60mm (Table 2).



**Figura 1. Variación en la concentración de N (a), P (b) y K (c) de los suelos en los agroecosistemas T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>. Símbolos: T<sub>1</sub> □, T<sub>2</sub> ○, y T<sub>3</sub> ■. Barras indican el desvío estándar de cada muestra.**

**Figure 1. Variation in the concentration of N(a), P(b), and K (c) of the soils in the agro-ecosystems T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub>. Símbolos: T<sub>1</sub> □, T<sub>2</sub> ○, y T<sub>3</sub> ■. The bars indicate the standard of each simple.**



De acuerdo al balance simplificado de  $\text{N-NO}_3^-$  propuesto por Huetty Dettman (1988) ( $\text{N-NO}_{3\text{suelo}(i)} = \text{N}_{\text{mineralizado}(i-1)} - \text{N}_{\text{extraído cultivo}(i-1)} - \text{Pérdidas}_{(i-1)}$ ) las pérdidas en el periodo comprendido entre el transplante y los 24 DDT fueron de 59 ppm  $\text{d}^{-1}$ , 47 ppm  $\text{d}^{-1}$  y 33 ppm  $\text{d}^{-1}$  para los tratamientos  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ ; respectivamente. Posteriormente estas pérdidas se redujeron fuertemente a sólo 4 ppm  $\text{d}^{-1}$ , 1.1 ppm  $\text{d}^{-1}$  y 1.5 ppm  $\text{d}^{-1}$  a los 51 DDT. Esta situación es similar a la que ocurrió cuando se aplicó la totalidad del N como fertilizante inorgánico al momento de la implantación (Sainju *et al.*, 2003). Del total de nitrógeno mineralizado del estiércol de ave, casi 40% corresponde a  $\text{N-NH}_4^+$ , que a diferencia del  $\text{N-NO}_3^-$  se midió que su liberación ocurre casi en su totalidad en los primeros 20 días de aplicado (Preusch *et al.*, 2002). Resulta difícil encontrar coincidencias entre lo esperado por mineralización y la concentración de  $\text{N-NO}_3^-$  edáfica determinada analíticamente, considerando la alta movilidad del N, la incertidumbre acerca de la tasa de mineralización utilizada y el aporte de N por mineralización de residuos de cultivos anteriores (De Neve *et al.*, 1996). Por ejemplo, en el agroecosistema  $T_1$  pueden haber influido varios factores en la mayor concentración inicial de  $\text{N-NO}_3^-$  medida (Figura 1a). La secuencia de los cultivos de maíz y trigo que precedieron al aporte del estiércol en el cultivo de tomate pueden haber modificado el nivel de nitrógeno estabilizado (Matus, 1997), el grado de protección de la materia orgánica aportada (Hassink and Whitmore, 1997), el tamaño de los agregados y la aireación (Balesdent *et al.*, 1990) e incluso la actividad microbiana (Griffin y Honeycutt, 2000). Aunque la mayoría de estos efectos se encuentran ampliamente estudiados, la interacción entre ellos aún está pobremente documentada (Soon *et al.*, 2001).

Por otra parte, el agroecosistema  $T_2$  no presentó diferencias significativa ( $p \leq 0.05$ ) con el agroecosistema  $T_3$  (Figura 1a). Posteriormente durante la fase inicial del crecimiento del cultivo (24 DDT) y a 54 días después de la incorporación del estiércol al suelo, se produjo un brusco descenso en el nivel de  $\text{N-NO}_3^-$ , manteniendo posteriormente un comportamiento similar para los tres agroecosistemas, con valores muy bajos a partir del momento de inicio de floración (65 DDT).

Durante este período, el descenso observado de  $\text{N-NO}_3^-$  no se debería sólo a la extracción del cultivo, sino a una importante lixiviación en función de la lámina de agua precipitada (Cuadro 2) o el riego efectuado (Jackson y Bloom, 1990). A pesar que la aplicación de nitrosulfato de amonio se realizó algunos días después del inicio de anthesis

In accordance with the simplified balance of  $\text{N-NO}_3^-$  proposed by Huetty and Dettman (1988) ( $\text{N-NO}_{3\text{soil}(i)} = \text{N}_{\text{mineralized}(i-1)} - \text{N}_{\text{extracted crop}(i-1)} - \text{losses}_{(i-1)}$ ) the losses in the understood period between the transplant and the 24 DDT was of 59 ppm  $\text{d}^{-1}$ , 47 ppm  $\text{d}^{-1}$  and 33 ppm  $\text{d}^{-1}$  for the  $T_1$ ,  $T_2$  and  $T_3$  treatments; respectively. Afterwards, these losses were strongly reduced to only 4 ppm  $\text{d}^{-1}$ , 1.1 ppm  $\text{d}^{-1}$  and 1.5 ppm  $\text{d}^{-1}$  at 51 DDT. This situation is similar to what happened when the totality of N was applied as inorganic fertilizer at the moment of introduction (Sainju *et al.*, 2003). Of the total mineralized nitrogen of poultry manure, almost 40% corresponds to  $\text{N-NH}_4^+$ , that different from  $\text{N-NO}_3^-$ , measured that its liberation occurs almost in its entirety in the first 20 days of application (Preusch *et al.*, 2002). It results difficult to find coincidences between what is expected for mineralization and the concentration of  $\text{N-NO}_3^-$  edaphic determined analytically, considering that the high mobility of N, the uncertainty around the rate of mineralization used and the contribution of N by mineralization of previous crop residues (DeNeve *et al.*, 1996). For example, in the agro ecosystem  $T_1$  could have influenced various facts in the greater initial concentration of  $\text{N-NO}_3^-$  measured (Figure 1a). The sequence of the maize and wheat crops that preceded the contribution of manure in the tomato crop could have modified the level of stabilized nitrogen (Matus, 1997), the grade of protection of the contributed organic material (Hassink and Whitmore, 1997), the sizes of the additives and aeration (Balesdent *et al.*, 1990) and including the microbic activity (Griffin and Honeycutt, 2000). Even though the majority of these factors are largely studied, the interaction between them is still poorly documented (Soon *et al.*, 2001).

On the other hand, the agro-ecosystem  $T_2$  did not present significant differences ( $p \leq 0.05$ ) with the agro-ecosystem  $T_3$  (Figure 1a). After the initial crop growing phase (24 DDT) and at 54 days after the incorporation of the fertilizer on the soil, an abrupt decrease in the level of  $\text{N-NO}_3^-$ , maintaining afterwards a behavior similar to the agro-ecosystems with very low values since the initiation of flowering (65 DDT).

During this period the observed decrease of  $\text{N-NO}_3^-$  was not only due to the extraction of the crop but rather to an important leaching in function of the sheet of precipitation (Table 2) or the applied irrigation (Jackson and Bloom, 1990). Despite the application of ammonium nitro-sulfate a few days before the initiation of anthesis of the first inflorescence (75 DDT), there were no observed increases in

de la primer inflorescencia (75 DDT), no se observaron incrementos en los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  (Figura 1a) en los tres agroecosistemas, lo que puede explicarse considerando que de la cantidad total de nitrógeno aportado, un poco más de  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  corresponderían a  $\text{N-NO}_3^-$ .

### Fósforo

Los contenidos de fósforo presentaron diferencias altamente significativas entre los agroecosistemas, aunque en este caso, a diferencia de lo observado para el  $\text{N-NO}_3^-$  (Figura 1a) sin interacción con la fecha de extracción de las muestras (Figura 1b). En todos los casos el nivel de P fue alto, con valores máximos para el agroecosistema  $T_2$ , posiblemente debido a la influencia de las aplicaciones de estiércol de ave. Las diferencias en los contenidos de P medidos en cada agroecosistema, indicarían el manejo diferencial a que fueron sometidos cada uno en el pasado, tanto por los aportes como por las diferentes tasas de extracción de los cultivos. La forma química en que se encuentra el P en la materia orgánica es determinante de su tasa de mineralización (Richardson *et al.*, 2009).

Esto explica la diferencia entre la cantidad de P como estiércol y como fertilizante inorgánico que se requiere para incrementar 1 ppm la concentración de P del suelo. Además, este incremento depende del poder tampón del suelo, ya que se pueden requerir una concentración tres veces mayor de P contenido en el estiércol de ave, que en fertilizante inorgánico para aumentar una unidad (ppm) el contenido del suelo (Lucero *et al.*, 1995).

Considerando la anterior relación y de no ocurrir pérdida de P soluble en agua (Griffin *et al.*, 2003), puede estimarse que si se mineralizó el P de estiércol hubiera significado un incremento de 22 ppm de P. Así, la elevada concentración de P medida en el agroecosistema  $T_3$  comparada con el  $T_1$  es un efecto indudable del uso repetido de estiércol (Figura 1b). Esto considerando que el nivel normal de P en estos suelos vírgenes es de aproximadamente 15 ppm.

En el agroecosistema  $T_1$  se obtuvieron concentraciones de P intermedias a la existente en  $T_2$  y  $T_3$  (Figura 1b). El agroecosistema  $T_2$  fue el de menor concentración de P (Figura 1b) aunque con un nivel que en general no ofrecería limitaciones para el crecimiento del cultivo (Tisdale *et al.*, 1993). No obstante, el concepto de nivel limitante es variable de acuerdo al cultivo y su capacidad de absorber el P del suelo (Föhse *et al.*, 1988). Las disminuciones observadas

the levels of  $\text{N-NO}_3^-$  (Figure 1a) in the three agro-ecosystems, which can be explained when considering that of the total quantity of the contributing nitrogen, a little more than  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  corresponded to  $\text{N-NO}_3^-$ .

### Phosphorous

The contents of phosphorous presented highly significant differences between the agro-ecosystems, even in this case, to what was observed for  $\text{N-NO}_3^-$  (Figure 1a) without interaction with the extraction date of the samples (Figure 1b). In all of the cases, the P level was high, with maximum values for the agro-ecosystem  $T_2$ , possibly due to the influence of the applications of poultry manure. The differences in the contents of the average P in each agro-ecosystem would indicate that the differential management to which each one was submitted to in the past, as much for the contributions as for the different rates of extraction for the crops. The chemical form in which P is found in the organic material is decisive of the rate of mineralization (Richardson *et al.*, 2009).

This explains the difference between the quantity of P as manure and as inorganic fertilizer that is required to increase 1 ppm of the concentration of P in the soil. Furthermore, this increase depends on the soil buffering power, as it can require a concentration three times greater than the P contained in poultry manure, that in inorganic fertilizers are used to increase a unit (ppm) in the contents of the soil (Lucero *et al.*, 1995).

Considering the previous relation and to not incur a loss of soluble P in water (Griffin *et al.*, 2003), it can be estimated that if P in manure mineralized, there would be a significant increase of 22 ppm of P. In this way, the elevated concentration of average P in the agro-ecosystem  $T_3$  compared to  $T_1$  is an undoubted effect of repeated use of manure (Figure 1b). This is taking into consideration the fact that the normal level of P in these virgin soils is approximately 15 ppm.

In the agro-ecosystem  $T_1$  intermediate P concentrations were obtained to the existing ones in  $T_2$  and  $T_3$  (Figure 1b). The agro-ecosystem  $T_2$  had the least concentration of P (Figure 1b) even though with a level that in general does not offer limitations for the growth of the crop (Tisdale *et al.*, 1993). Nevertheless, the concept of the limited level is variable according to the crop and its capacity to absorb P in the soil (Föhse *et al.*, 1988). The observed decreases in the P levels were 17 ppm, 7 ppm, and 8 ppm for the lots  $T_1$ ,



en los niveles de P fueron de: 17 ppm, 7 ppm y 8 ppm para los lotes T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, respectivamente. La magnitud de estos abatimientos en la concentración de P no fueron anormales si se considera que otros autores midieron disminuciones de 1.8 ppm (Havlin *et al.*, 1984) a más de 15 ppm (Tisdale *et al.*, 1993) dependiendo de la concentración de P del suelo y la tasa de fertilización realizada.

### Potasio

Los niveles de potasio también presentaron una disminución con el tiempo, aunque con una tasa de abatimiento más marcada que para P (Figura 1c). Al momento del trasplante, se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre los tres agroecosistemas, el hortícola (T<sub>3</sub>) superó en más de 200 ppm a los restantes (Figura 1c). Aunque el agroecosistema T<sub>1</sub> recibió abonos antes de este estudio, el momento del trasplante presentó una concentración de K menor al agroecosistema natural (T<sub>2</sub>) (Figura 1c). Estos resultados fueron inesperados, debido a que la incorporación de estiércol 30 días antes del trasplante incrementó más el K en el agroecosistema T<sub>2</sub>. Considerando el valor medio de la concentración de K en estos suelos es de 240 ppm, la aplicación de estiércol a la profundidad a la que se extrajeron las muestras teóricamente hubiera incrementado la concentración de K en 69 ppm.

Sin embargo, el incremento para alcanzar los 260 ppm medidos 30 días después de la incorporación de estiércol al suelo (0 DDT) fue 19 ppm. Estas diferencias pueden haber sido causada por una incompleta mineralización del estiércol y por el desplazamiento del potasio asimilable para las plantas (Aguado *et al.*, 2002). La tasa de mineralización del K procedente del abono puede desestimarse como causa del menor incremento en la concentración de potasio del suelo, debido a que la mineralización se considera muy rápida, comparable a la de un fertilizante inorgánico (Eghball *et al.*, 2004). De manera entonces que las 30 t ha<sup>-1</sup> de estiércol, hubieran significado el agregado de 270 kg K ha<sup>-1</sup>, que relacionado con el incremento de 19 ppm medidos, representaron una relación de 14 kg K ppm<sup>-1</sup>.

Con la cantidad de arcilla presente en el suelo (Cuadro 1) la concentración óptima de K debiera situarse entre 125 y 150 ppm (Saña Vilaseca *et al.*, 1996). Al momento del trasplante (0 DDT) todos los tratamientos tuvieron una concentración superior a 220 ppm, incluso el tratamiento

T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub>, respectively. The magnitude of these downward trends in the concentration of P were not anomalies if we consider that other authors measure decreases of 1.8 ppm (Havlin *et al.*, 1984) to more than 15 ppm (Tisdale *et al.*, 1993) depending on the concentration of the P in the soil and the rate of fertilization carried out.

### Potassium

The levels of potassium also decrease over time, even though with a downward rate more marked than for P (Figure 1c). At the moment of the transplant significant differences were observed ( $p \leq 0.01$ ) between the three agro-ecosystems, the horticulture (T<sub>3</sub>) exceeded more than 200 ppm than the rest (Figure 1c). Even though the agro-ecosystem T<sub>1</sub> received fertilizer before the study, at the moment of the transplant, there was a K concentration less than the natural agro-ecosystem (T<sub>2</sub>) (Figure 1c). These results were unexpected due to the fact that the incorporation of manure 30 days before the transplant increased the K more in the agro-ecosystem T<sub>2</sub>. Considering the average value of the K concentration in these soils is 240 ppm, the application of manure at the depth that the samples were extracted, theoretically should have increased in concentration of K in 69 ppm.

However, the increase reached the 260 ppm measured 30 days after the incorporation of the manure to the soil (0 DDT) was 19 ppm. These differences could have been caused by an incomplete mineralization of manure and by the displacement of available potassium for the plants (Aguado *et al.*, 2002). The rate of mineralization of K coming from the fertilizer can be rejected as the cause of the small increase of potassium in the soil due to the fact that the mineralization is considered very quick, compared with that of inorganic fertilizer (Eghball *et al.*, 2004). So then, that the 30 t ha<sup>-1</sup> of manure should have mean an addition of 270 kg K ha<sup>-1</sup>, that related with the increase of 19 ppm measured represented a relation of 14 kg K ppm<sup>-1</sup>.

With the quantity of clay present in the soil (Table 1) the optimum concentration of K should be anywhere between 125 and 150 ppm (Saña Vilaseca *et al.*, 1996). At the moment of transplant (0DDT) all of the treatments had a concentration greater than 220 ppm even the T<sub>3</sub> treatment was greater than 475 ppm (Figure 1c). During the crop cycle, the only treatment that had values lower than the optimum was T<sub>1</sub>, to have after the 90 DDT, a concentration of 86 ppm. From the moment of transplant (0DDT), it was observed that the downward trend in the concentration of K in the

T<sub>3</sub> fue superior a 475 ppm (Figura 1c). Durante el ciclo del cultivo el único tratamiento que tuvo valores inferiores a los óptimos fue T<sub>1</sub>, al tener luego de los 90 DDT una concentración de 86 ppm. A partir del momento del transplante (0 DDT) se observó que los abatimientos en la concentración de K en el suelo se correspondieron con los niveles de extracción de los cultivos, como se analizará posteriormente. Sin embargo, y aunque se acepte que el extractante utilizado aquí (AcNH<sub>4</sub>) se corresponde con los reservorios de K asimilables por el cultivo, éste no parece haber sido el caso.

La disminución medida analíticamente en los suelos entre la primer muestra (0 DDT) y la última (106 DDT) fue 134 ppm, 125 ppm y 185 ppm, para T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>; respectivamente (Figura 1c). En tanto que la extracción de K realizada por el cultivo en kg ha<sup>-1</sup> considerando la profundidad de extracción de las muestras fueron 121 ppm, 110 ppm y 154 ppm, para T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>; respectivamente.

Como se observa, la diferencia entre los abatimientos de K en el suelo y lo extraído por el cultivo fue mayor en T<sub>3</sub> con una diferencia teórica de 31 ppm, en tanto que para T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> las diferencias fueron de 13 ppm y 15 ppm, respectivamente. Una posible explicación a lo ocurrido aquí, es que mediante la extracción analítica de K se haya sobrevalorado a la realizada por el cultivo, incluso estas diferencias podrían haber sido mayores si se considera que una parte del sistema radical absorbió K a una profundidad mayor a la de las muestras. Por ejemplo, en tomate con riego por surco, se midió que 80% del sistema radical se localizó en los primeros 40 cm de suelo (Nassar, 1986).

## Dinámica de los nutrientes en la planta

### Nitrógeno

La extracción de N en todos los tratamientos fue similares, aunque con diferencias temporales entre sí (Cuadro 3). Considerando las relaciones entre el N absorbido y el rendimiento obtenido, para los agroecosistemas T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> fueron de 2.78 kg Mg<sup>-1</sup>, 2.85 kg Mg<sup>-1</sup> y 3.17 kg Mg<sup>-1</sup>; respectivamente. Estas relaciones fueron un poco menores a los 3.89 kg Mg<sup>-1</sup> (Bar-Yosef, 1991), aunque bastante similares a 2.85 kg Mg<sup>-1</sup> (Kaniszewski *et al.*, 1987) y 2.79 kg Mg<sup>-1</sup> (Rhoads *et al.*, 1988). Si se consideran los niveles de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> existentes en el suelo al momento del transplante, la extracción realizada por el cultivo representa aproximadamente 56%, 59% y 84%

soil corresponded with the levels of extraction of the crops, as was previously analyzed. However, and even though it is accepted that the extraction was utilized here (AcNH<sub>4</sub>), it corresponds to the reserves of K assimilated for the crop, this does not appear to be the case.

The average medium decrease in the soils between the first sample (0 DDT) and the last (106 DDT) was 134 ppm, 125 ppm and 185 ppm, for T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, and T<sub>3</sub> respectively (Figure 1c). While the extraction of K that was carried out for the crop in kg ha<sup>-1</sup>, considering the depth of the extraction of the samples was 121 ppm, 110 ppm and 154 ppm, for T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub> respectively.

As can be observed, the differences between the downward trends of K in the soil and that which was extracted for the crop, was greater in T<sub>3</sub> with a theoretical difference of 31 ppm while for T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>, the differences were 13 ppm and 15 ppm respectively. A possible explanation of what occurred here is that by extracting the analytical K, the observed was over-estimated for the crop, and these differences could even have been greater if it is considered that part of the root system absorbed K at a depth greater than the samples. For example, the tomato in bed irrigation measured that 80% of the root system was located in the first 40cm of the soil (Nassar, 1986)

## Dynamics of the nutrients in the plants

### Nitrogen

The extraction of N in all of the treatments was similar, even though with temporal differences between them (Table 3). Considering that the relations between the absorbed N and the obtained yield for the agro-ecosystems T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, and T<sub>3</sub> were 2.78 kg Mg<sup>-1</sup>, 2.85 kg Mg<sup>-1</sup> y 3.17 kg Mg<sup>-1</sup>, respectively. These relations were a little less than 3.89 kg Mg<sup>-1</sup> (Bar-Yosef, 1991), even though very similar to 2.85 kg Mg<sup>-1</sup> (Kaniszewski *et al.*, 1987) and 2.79 kg Mg<sup>-1</sup> (Rhoads *et al.*, 1988). If we consider the existing levels of N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in the soil at the moment of transplant, the completed extraction for each crop represents approximately 56%, 59%, and 84% in the agro-ecosystems T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, and T<sub>3</sub> respectively. The strong decline of N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in the soil during the 30 DDT (Figure 1c) does not explain the completed extractions for the crops, due to the fact that the decrease of available N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> was almost 200 kg N ha<sup>-1</sup> in the first 30 cm of soil, while the crops absorbed in the same period, almost 9 kg N ha<sup>-1</sup> from T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> y 12 kg N ha<sup>-1</sup> en T<sub>3</sub>.

en los agroecosistemas  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ ; respectivamente. La fuerte disminución de  $N\text{-NO}_3^-$  en el suelo durante los 30 DDT (Figura 1c) no se explica por las extracciones que realizaron los cultivos, debido a que la disminución del  $N\text{-NO}_3^-$  disponible fue casi  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  en los primeros 30 cm de suelo, mientras que los cultivos absorbieron en el mismo periodo casi  $9 \text{ kg N ha}^{-1}$  para  $T_1$  y  $T_2$  y  $12 \text{ kg N ha}^{-1}$  en  $T_3$ .

The content of N in plants measured in each agroecosystem presented significant differences ( $p \leq 0.05$ ) despite the high coefficient of variation, close to 42% that could disguise the capacity of the utilized model to find the differences (Table 4). In the concentration of  $N_{\text{leaf}}$  significant differences were detected ( $p \leq 0.01$ ) between the agro-ecosystems (Table 5), with  $T_2$  and  $T_3$  having higher concentrations of  $N_{\text{leaf}}$  (Figure 3a). The curve of dilution of

**Cuadro 3. Tasa de absorción de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) del cultivo en función de los días después del transplante (DDT) para los agroecosistemas  $T_1$  (maíz + trigo),  $T_2$  (natural) y  $T_3$  (hortícola) y comparación con antecedentes bibliográficos para el cultivo de tomate.**

**Table 3. Rate of nitrogen (N) absorption, phosphorous (K) ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) of the crop in function with the days after transplant (DDT) for the agro-ecosystems  $T_1$  (maize and wheat),  $T_2$  (natural) and  $T_3$  (horticulture) and compared with previous bibliographies for the tomato crop.**

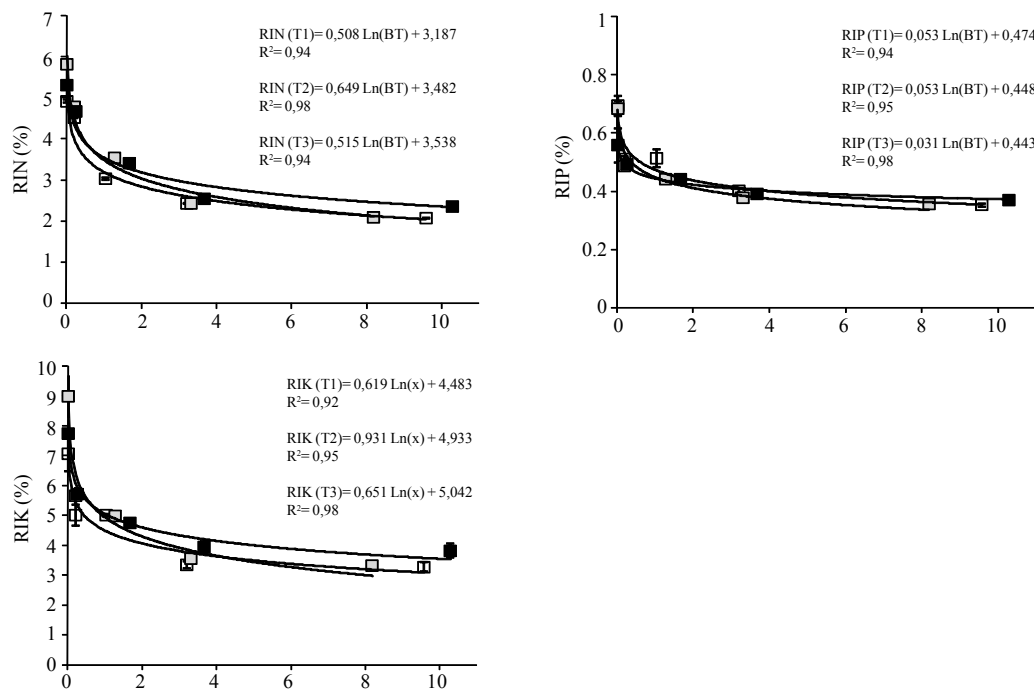
DDT	Tasa de absorción de nutrientes					
	$T_1$ (i)	$T_2$ (i)	$T_3$ (i)	1 (ii)	2 (ii)	3 (ii)
	$\text{kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$					
0 - 28	$0.30 \pm 0.01$	$0.30 \pm 0.01$	$0.40 \pm 0.01$	0.40-0.45	1.1-1.7	1.56
29 - 75	$0.48 \pm 0.03$	$0.78 \pm 0.02$	$0.97 \pm 0.02$	0.50-1.30	1.7- 2.2	1.56-2,16
76 - 116	$1.12 \pm 0.01$	$0.86 \pm 0.01$	$0.89 \pm 0.02$	2.70-4.5	1.7-1.1	2.52
	$\text{kg P ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$					
0 - 28	$0.03 \pm 0.001$	$0.03 \pm 0.001$	$0.04 \pm 0.003$	0.03-0.04		0.17
29 - 75	$0.09 \pm 0.006$	$0.10 \pm 0.003$	$0.13 \pm 0.004$	0.04-0.10		0.12-0.41
76 - 116	$0.18 \pm 0.004$	$0.17 \pm 0.003$	$0.17 \pm 0.003$	0.17-0.30		0.14
	$\text{kg K ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$					
0 - 28	$0.32 \pm 0.02$	$0.35 \pm 0.02$	$0.48 \pm 0.01$	0.50-0.55	0.9-1.4	2.47
29 - 75	$0.57 \pm 0.01$	$0.71 \pm 0.01$	$0.88 \pm 0.02$	0.60-2.90	1.4-1.8	2.04-3.72
76 - 116	$0.60 \pm 0.02$	$0.52 \pm 0.01$	$0.69 \pm 0.03$	2.00-5.70	1.4-0.9	2.04

(i) valor medio  $\pm$  desvío estándar; (ii) rango de absorción del cultivo de tomate según: (1) Bar-Yosef (1991); (2) Hochmuth (1994); (3) Adams (1986).

El contenido de N en las plantas medido en cada agroecosistema presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) a pesar del alto coeficiente de variación, cercano a 42% que podría enmascarar la capacidad del modelo utilizado para encontrar diferencias (Cuadro 4). En la concentración de  $N_{\text{hoja}}$  se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre los agroecosistemas (Cuadro 5), teniendo  $T_2$  y  $T_3$  las mayores concentraciones de  $N_{\text{hoja}}$  (Figura 3a). La curva de dilución del  $N_{\text{planta}}$  ha sido propuesta como un indicador del estado nutricional de la planta (Rattin *et al.*, 2002). Las curvas de dilución obtenidas aquí mediante un ajuste logarítmico permiten apreciar un valor inicial de 5.8% muy similar en todos los agroecosistemas, aunque las plantas en  $T_3$  fueron las que tuvieron la menor disminución (Figura 2a).

$N_{\text{plant}}$  has been proposed as an indicator of the nutritional state of the plant (Rattin *et al.*, 2002). The curves of dilution that were obtained here through a logarithmic adjustment, allows us to estimate an initial value of 5.8%, very similar to all of the agro-ecosystems, even though the plants in  $T_3$  were the ones that had the least decrease (Figure 2a).

This value was much greater than the one obtained by Gent and Young-Zhan (2000). In the agro-ecosystem  $T_3$ , the concentration of  $N_{\text{leaf}}$  was greater than 4% after 51 DDT (Figure 3a). Precisely the concentration of  $N_{\text{leaf}}$  was what allowed it to obtain greater photosynthetic rates in the tomato which were in the range of 4 to 5% (Richardson *et al.*, 2009). The rates of absorption of N for the three treatments had some differences in the established ones for the tomato by



**Figura 2.** Efecto de los agroecosistemas T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> sobre la dilución de N (a), P (b) y K (c) en planta (% MS) en función del acumulo de biomasa del cultivo (Mg ha<sup>-1</sup>). Símbolos: T<sub>1</sub>□, T<sub>2</sub>□ y T<sub>3</sub>■.

**Figure 2.** Effect of the agro-ecosystems T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> on the dilution of N (a), P (b) y K (c) in the plant (% MS) with the function of accumulated biomass in the crop (Mg ha<sup>-1</sup>). Símbolos: T<sub>1</sub>□, T<sub>2</sub>□ y T<sub>3</sub>■.

**Cuadro 4.** Valores de F y grado de significación para las variables Nitrógeno, Fósforo y Potasio de suelo (N, P, K<sub>suelo</sub>), planta (N, P, K<sub>planta</sub>) en los agroecosistemas T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>.

**Table 4.** Values of F and degrees of significances for the Nitrogen variables, Phosphorous and Potassium of soil (N, P, K<sub>soil</sub>), planta (N, P, K<sub>plant</sub>) in the agro-ecosystems T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>.

Fuente de Variación	N <sub>suelo</sub> (ppm)	P <sub>suelo</sub> (ppm)	K <sub>suelo</sub> (ppm)	N <sub>planta</sub> (%)	P <sub>planta</sub> (%)	K <sub>planta</sub> (%)
Agroecosistema	27.61**	3927.9**	3413.4**	3.87*	71.84**	54.15**
Momento (manejo)	16.69**	0.48 <sup>NS</sup>	8.07**	0.23 <sup>NS</sup>	36.76**	26.05**
Muestra (momento)	9.74**	9.23**	96.10**	0.72 <sup>NS</sup>	11.11**	7.82**
CV %	9.28	4.22	3.15	41.6	2.22	3.12

\*, \*\* diferencias significativas al 5% y 1%, respectivamente y <sup>NS</sup>= diferencias no significativas. CV es el coeficiente de variación en porcentaje.

**Cuadro 5.** Valores de F y grado de significación para las variables Fósforo y Potasio de hojas (N, P<sub>hoja</sub>), Nitrógeno, Fósforo y Potasio de tallo (N, P, K<sub>tallo</sub>) y de fruto (N, P, K<sub>fruto</sub>) para los agroecosistemas T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>.

**Table 5.** Values of F and degrees of significance for the variables Phosphorous and Potassium of the leaves (N, P<sub>leaf</sub>), Nitrogen, Phosphorous, and Potassium of the stem (N, P, K<sub>stem</sub>) and of the fruit (N, P, K<sub>fruit</sub>) for the agro-ecosystems T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>.

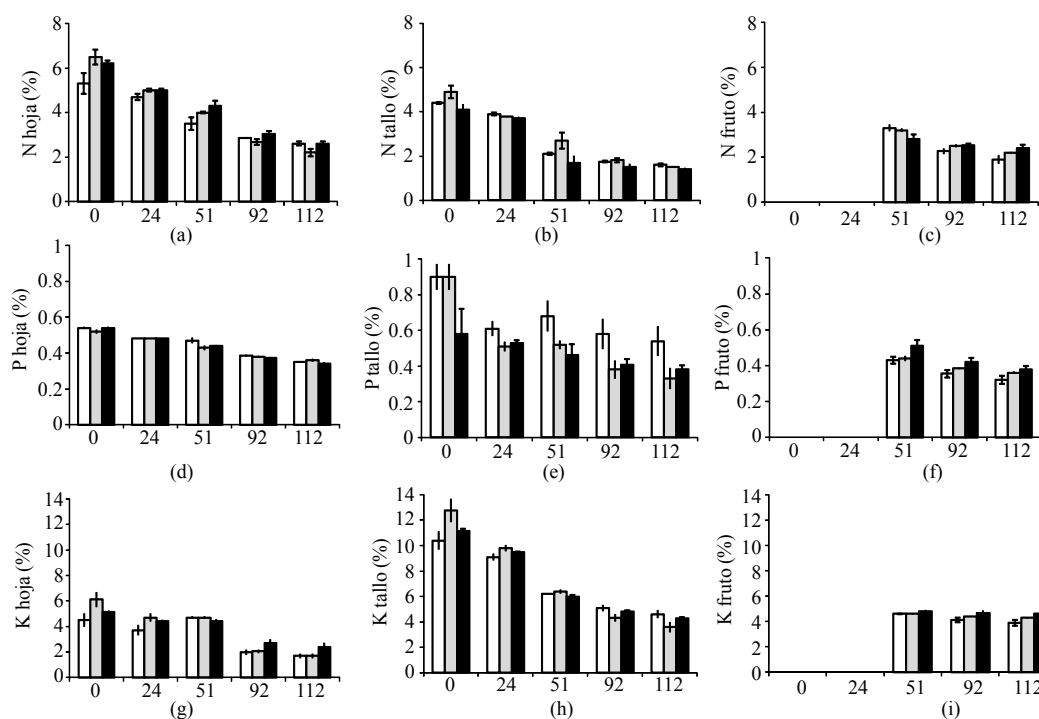
Fuente de Variación	N <sub>hoja</sub> (%)	P <sub>hoja</sub> (%)	K <sub>hoja</sub> (%)	N <sub>tallo</sub> (%)	P <sub>tallo</sub> (%)	K <sub>tallo</sub> (%)	N <sub>fruto</sub> (%)	P <sub>fruto</sub> (%)	K <sub>fruto</sub> (%)
Agroecosistema	5.51**	4.41*	5.31**	8.67**	9.75**	0.90 <sup>NS</sup>	0.94 <sup>NS</sup>	8.37**	7.43**
Momento (manejo)	2.36*	2.69*	2.42*	1.58 <sup>NS</sup>	1.31 <sup>NS</sup>	3.53**	4.04*	0.38 <sup>NS</sup>	0.79 <sup>NS</sup>
Muestra (momento)	0.00 <sup>NS</sup>	0.11 <sup>NS</sup>	6.2e <sup>-5</sup> <sup>NS</sup>	1.4e <sup>-4</sup> <sup>NS</sup>	0.001 <sup>NS</sup>	2.9e <sup>-4</sup> <sup>NS</sup>	2.9e <sup>-4</sup> <sup>NS</sup>	0.02 <sup>NS</sup>	3.7e <sup>-4</sup> <sup>NS</sup>
CV %	9.09	2.75	13.68	11.15	21.91	8.81	8.84	9.02	5.95

\*, \*\* diferencias significativas al 5% y 1%, respectivamente y <sup>NS</sup>= diferencias no significativas. CV es el coeficiente de variación en porcentaje. e= base exponencial indicativa de cifras decimales.

Este valor fue muy superior al obtenido por Gent y Young-Zhan (2000). En el agroecosistema  $T_3$  la concentración de  $N_{\text{hoja}}$  fue superior a 4% luego de 51 DDT (Figura 3a). Precisamente la concentración de  $N_{\text{hoja}}$  que permitió obtener las mayores tasas fotosintéticas en tomate estuvieron en el rango de 4 a 5% (Richardson *et al.*, 2009). Las tasas de absorción de N para los tres tratamientos tuvieron algunas diferencias con las establecidas para tomate por Adams (1986) y Hochmuth, (1994), aunque bastante similares con las indicadas por Bar-Yosef (1991) (Cuadro 3). No obstante en esta comparación hay variables no ponderadas aquí como las relacionadas a las variedades utilizadas y el clima.

Adams (1986) and Hochmuth (1994), even though they were very similar to the ones indicated by Bar-Yosef (1991) (Table 3). Nevertheless, in this comparison there are variables that were not considered, like the ones related to the varieties used and the climate.

The differences found in  $N_{\text{stem}}$  here were highly significant ( $p \leq 0.01$ ) (Table 5) even though to the difference observed in the leaf, the treatment  $T_3$  was of a lesser concentration of  $N_{\text{stem}}$  (Figure 3b). The concentration of  $N_{\text{leaf}}$  is always greater than the stem (Adams, 1986), here the average values of this relation were for  $T_3$  of 1.70, while for  $T_1$  y  $T_2$  of 1.37 and 1.38; respectively.



**Figura 3. Efecto de los agroecosistemas  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$  sobre la concentración (%) de N, P y K en hoja (a, d, g, respectivamente), tallo (b, e, h, respectivamente) y fruto (c, f, i, respectivamente), en función de los días después del transplante (DDT). Símbolos:  $T_1$  □,  $T_2$  □,  $T_3$  ■.**

**Figure 3. Effect of the agro-ecosystems  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$  on the concentration (%) of N, P y K in the leaf (a, d, g, respectively), stem (b, e, h, respectively) y fruto (c, f, i, respectively), in function of the days after transplant (DDT). Símbolos:  $T_1$  □,  $T_2$  □,  $T_3$  ■.**

Las diferencias encontradas en  $N_{\text{tallo}}$  aquí fueron altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) (Cuadro 5) aunque a diferencia de lo observado en hoja, el tratamiento  $T_3$  fue el de menor concentración de  $N_{\text{tallo}}$  (Figura 3b). La concentración de  $N_{\text{hoja}}$  es siempre mayor que en tallo (Adams, 1986), aquí los valores medios de esta relación fueron para  $T_3$  de 1.70, mientras que para  $T_1$  y  $T_2$  de 1.37 y 1.38; respectivamente.

The greatest quantity of n absorbed in  $T_3$  between the 29 and 75 days (Table 3) was principally destined to increase the concentration of  $N_{\text{leaf}}$  (Figure 3a). A concentration less than 2% of  $N_{\text{leaf}}$  is indicative of a nutrient deficiency in the plant (Adams, 1986). Even though this value was approximated here, the samples of leaves of the three agro-ecosystem only reached the end at 112 days (Figure 3a). The evolution of

La mayor cantidad de N absorbido en  $T_3$  entre los 29 y 75 días (Cuadro 3) fue principalmente destinado a incrementar la concentración de  $N_{\text{hoja}}$  (Figura 3a). Una concentración menor a 2% de  $N_{\text{hoja}}$  es indicativo de una deficiencia del nutriente en la planta (Adams, 1986). Aunque a este valor se aproximaron aquí las muestras de hojas los tres agroecosistemas sólo hacia el final a los 112 días (Figura 3a). La evolución de la concentración de  $N_{\text{fruto}}$  disminuyó con el tiempo, no habiéndose detectado diferencias entre los agroecosistemas (Cuadro 5). Ésta disminución correspondería principalmente al N proteico, principalmente por la mayor proporción de frutos con madurez superior al estado verde-maduro (Madhavi y Salunkhe, 2004). Por otra parte, la concentración de  $N_{\text{fruto}}$  encontrada aquí (Figura 3c) fue superior a la informada por aquellos autores.

### Fósforo

Las diferencias encontradas en las concentraciones de  $P_{\text{planta}}$  entre los agroecosistemas fue altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) (Cuadro 4), con una disminución inversamente proporcional al acumulo de biomasa en el cultivo (Greenwood, 1983) (Figura 2b). La relación interna de N:P en tomate se sitúa entre 8 a 10, indicando una condición nutricional óptima (Madhavi y Salunkhe, 2004), encontrándose en estos valores aquí sólo en los primeros días luego del transplante (Figuras 2a,b).

Según se observó, esto fue debido a que la relación de absorción de N y P permitió obtener una relación cercana a 10 en los primeros 30 DDT (Cuadro 3), pese a que la absorción de P fue menor en todos los agroecosistemas comparado a la propuesta por Adams (1986), aunque muy similares a las mediciones de Bar Yosef (1991) (Cuadro 3). Estas discrepancias con los antecedentes en este cultivo, revelan la participación de variables no debidamente ponderadas, como fue discutido anteriormente para N.

La concentración de  $P_{\text{planta}}$  resultó mayor a 0.2% (Figura 2b), valor por debajo del cual se considera que una planta de tomate se encuentra con deficiencia de fósforo (Adams, 1986). Otros autores establecieron este valor en 0.4% (Sainju *et al.*, 2003), en tal caso el cultivo estuvo aquí con deficiencia de P luego de superar las 3 Mg ha<sup>-1</sup> de materia seca (Figura 2b). Las concentraciones de  $P_{\text{hoja}}$  resultaron con diferencias entre los agroecosistemas ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 5), aunque el rango de concentración de  $P_{\text{hoja}}$  considerado óptimo y situado en aproximadamente 0.4% P (Föhse *et al.*, 1988) sólo fue observado en todos los tratamientos antes de los 51 DDT (Figura 2a), en coincidencia con lo expresado para  $P_{\text{planta}}$ .

the concentration of  $N_{\text{fruit}}$  diminished with time, not having detected differences between the agro-ecosystems (Table 5). This decrease corresponds principally to the Protein N, principally for the greater proportion of fruits with a greater maturity at the state of unripe-mature (Madhavi and Salunkhe, 2004). On the other hand, the concentration of  $N_{\text{fruit}}$  found here (figure 3c) was greater than the one reported by those authors.

### Phosphorous

The differences found in the concentration of  $P_{\text{plant}}$  between the agro-ecosystems was highly significant ( $p \leq 0.01$ ) (Table 4), with a decrease inversely proportional to the accumulation of biomass in the crop (Greenwood, 1983) (Figure 2b). The internal relation of N:P in tomato is between 8 and 10, indication an optimum nutritional condition (Madhavi and Salunkhe, 2004), find that these values here were only in the first days after transplanting (Figure 2a, b).

According to what was observed, this was due to the fact that the relation of absorption of N and P was able to obtain a close relation to 10 in the first 30 DDT (Table 3), although the absorption of P was less in all of the agro-ecosystems compared to what was proposed by Adams (1986), even though they are very similar to the ones measured by Bar Yosef (1991) (Table 3). These discrepancies with the antecedents in this crop, reveal the participation of variables not properly pondered, as was previously discussed with N.

The concentration of  $P_{\text{plant}}$  resulted greater than 0.2% (Figure 2b), a value lower than what is considered for a tomato plant that is found with a phosphorous deficiency (Adams, 1986). Other authors established this value at 0.4% (Sainju *et al.*, 2003), in the case that the crop was here with a P deficiency after exceeding the 3 Mg ha<sup>-1</sup> of dry material (Figure 2b), even though the range of concentration of  $P_{\text{plant}}$  considered optimum and is found at approximately 0.4% P P (Föhse *et al.*, 1988), was only observed in all the treatments before the 51 DDT (Figure 2a), coinciding with what was expressed for  $P_{\text{plant}}$ .

The least concentration of observed P, after that moment particularly in  $T_3$  and principally in the stem (Figure 2e) was unexpected to show for high levels of average P in the soil (Figure 1b). The absorption of P for the plants depends on the degree of concentration established in the soil and the



La menor concentración de P observada, luego de ese momento particularmente en T<sub>3</sub> y principalmente en el tallo (Figura 2e) fue inesperado a juzgar por los altos niveles de P medidos en el suelo (Figura 1b). La absorción de P por las plantas depende del gradiente de concentración establecido entre el suelo y la raíz, y el tamaño del sistema radicular (Richardson *et al.*, 2009). Sin embargo, cuanto mayor es la concentración de P en el suelo, menor el crecimiento de los pelos radicales (Föhse *et al.*, 1988), lo que determina una disminución de la eficiencia de absorción (Föhse *et al.*, 1988). Por otra parte, se considera a tomate como una especie relativamente poco eficiente en absorber el P del suelo (Föhse *et al.*, 1988).

### Potasio

Fueron observadas diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en la concentración de K<sub>planta</sub> (Cuadro 4). Se establecieron que concentraciones menores a 1.5% en la etapa vegetativa y 2.5% en la fructificación de la planta resultaron deficitarias en K para un adecuado crecimiento y producción de tomate (Adams, 1986). Según este último criterio las concentraciones de K<sub>planta</sub> conseguidas aquí para todos los tratamientos se situarían en valores considerados no deficientes (Figura 2c). El análisis por órganos permitió inferir diferencias entre los agroecosistemas ( $p \leq 0.01$ ) para hoja y frutos, pero no para tallos (Cuadro 5). Al analizar la curva de dilución obtenida (Figura 2c) se observó la existencia de valores muy altos al inicio, que, a excepción del agroecosistema T<sub>1</sub> se situaron por sobre 6%. Esta concentración fue considerada como óptima por Sainju *et al.* (2003).

El potasio es absorbido en grandes cantidades por el cultivo de tomate, requiriéndose entre 3.1 a 4.9 kg K Mg<sup>-1</sup> fruto cosechado. En este trabajo la relación obtenida fue 4.5, 4.8 y 5.3 kg K Mg<sup>-1</sup> para los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>; respectivamente. Una relación desbalanceada de N:K está asociada con un pobre establecimiento de frutos (Adams, 1986). Precisamente, en sistemas como los estudiados aquí, cuyo sistema de manejo nutricional depende principalmente de la mineralización del estiércol utilizado, es muy difícil conseguir relaciones óptimas acotadas a determinado rango entre los principales macronutrientes. Por ejemplo, las relaciones N:P:K de 1:0,8:0.7 de transplante a floración y 1:0,8:1.3 de floración a finales de ciclo son usuales de utilizar cuando se utilizan fertilizantes inorgánicos.

root, and the size of the root system (Richardson *et al.*, 2009). However, when the concentration of P is greater in the soil, there is less growth of the root hair (Föhse *et al.*, 1988), which determines a decrease in the efficiency of absorption (Föhse *et al.*, 1988). On the other hand, the tomato is considered as relatively inefficient species when it comes to absorbing P in the soil (Föhse *et al.*, 1988).

### Potassium

Highly significant difference were observed ( $p \leq 0.01$ ) in the concentration of K<sub>plant</sub> (Table 4). It was established that concentrations less than 1.5% in the vegetative layer and 2.5% in the fructification of the plant resulted deficient in K for an adequate growth and production of tomato (Adams, 1986). According to this last criteria, the concentrations of K<sub>plant</sub> achieved here for all the treatments had values that were not considered deficient (Figure 2c). The analysis for organs allows us to infer differences between the agro-ecosystems ( $p \leq 0.01$ ) for leaves and fruits but not for stems (Table 5). Upon analyzing the obtained dilution curve (Figure 2c) the existence of high values at the beginning was observed, that with exception to the agro-ecosystem T<sub>1</sub>, was over 6%. This concentration was considered as optimum for Sainju *et al.* (2003).

The potassium is absorbed in large quantities in the tomato crop, requiring between 3.1 to 4.9 kg K Mg<sup>-1</sup> harvested fruit (IFA, 1992). In this research the relation obtained was 4.5, 4.8 and 5.3 kg K Mg<sup>-1</sup> for the treatments T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>; respectively. An unbalanced relation of N:K is associated with a poor establishment of fruits (Adams, 1986). Precisely in systems like the ones studied here, whose nutritional management system depends principally on the mineralization of the manure used, is very difficult to achieve optimum relations of a particular range between the principle macro-nutrients. For example, the relations N:P:K of 1:0, 8:0.7 from the transplant to flowering 1:0,8:1.3 from flowering to the end of the cycle where it is common to use inorganic fertilizers.

The absorbed potassium for the crop was normal according to Bar-Yosef (1991) only for the treatment T<sub>3</sub> during the first 75 DDT (Table 3); however, in the period of greater importance for the potassium nutrition, during the full fruiting (76 to 116 DDT), the absorption resulted inferior to what was established for the tomato (Adams, 1986; Bar-Yosef, 1991; Hochmunt, 1994). The concentration of K<sub>leaf</sub> considered adequate for the tomato was at values higher

El potasio absorbido por el cultivo fue normal de acuerdo a Bar-Yosef (1991) solamente para el tratamiento  $T_3$  durante los primeros 75 DDT (Cuadro 3); sin embargo, en el período de mayor importancia para la nutrición potásica, durante la plena fructificación (76 a 116 DDT) la absorción resultó inferior a lo establecido para tomate (Adams, 1986; Bar-Yosef, 1991; Hochmunt, 1994). La concentración de  $K_{\text{hoja}}$  considerada adecuada para tomate fue establecido en valores superiores a 2.7% (Adams, 1986), y 3.3% (Bugarín *et al.*, 2002), por lo que en todos los tratamientos el  $K_{\text{hoja}}$  comenzaría a ser deficiente luego de los 51 DDT (Figura 3g).

La concentración de  $K_{\text{fruto}}$  considerada óptima se sitúa 4.0% (Bugarín *et al.*, 2002), obteniéndose aquí para todos los tratamientos concentraciones muy similares a dicho valor (Figura 3i). Una alta absorción de K está asociada con una disminución en el porcentaje de frutos huecos y con madurez desigual (Sainju *et al.*, 2003) no habiéndose observado en este trabajo ninguna de esas fisiopatías.

## Conclusiones

La concentración de  $N-NO_3^-$  en los suelos tuvo un valor alto, mayor de 65 ppm al inicio del cultivo en los tres agroecosistemas. La concentración de P fue muy alta en el agroecosistema hortícola ( $T_3$ ), mayor a 250 ppm. Lo mismo sucedió en este agroecosistema con el K, que aunque disminuyó al final del ciclo del cultivo su valor en general fue superior a 300 ppm. El agroecosistema natural ( $T_2$ ) fue el que tuvo la menor concentración de P en el suelo. Las concentraciones de P en los suelos no presentaron prácticamente disminuciones con el ciclo del cultivo en los tres agroecosistemas. Las concentraciones de N, P y K resultaron con diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en las concentraciones de los tejidos de las plantas provenientes de los tres agroecosistemas. Asimismo, cuando se analizaron los órganos por separados (hoja, tallo y frutos) las concentraciones de N, P y K también resultaron diferentes ( $p \leq 0.01$ ), con excepción del K en tallo y de N en frutos. Las concentraciones de P en planta no resultaron deficientes en ningún agroecosistema. Sin embargo, las concentraciones de N y K fueron deficientes hacia el final del trabajo en los agroecosistemas agrícola ( $T_1$ ) y natural ( $T_2$ ).

tan 2.7% (Adams, 1986) and 3.3% (Bugarín *et al.*, 2002) for what in all of the treatments of  $K_{\text{leaf}}$  would begin to be deficient after the 51 DDT (Figure 3g).

The concentration of  $K_{\text{fruit}}$  considered as optimum is at 4.0% (Bugarín *et al.*, 2002), obtaining here for all the treatment concentrations, very similar values (Figure 3i). A high absorption of K is associated with a decrease in the percentage of fruit maturity gaps and uneven maturity (Sainju *et al.*, 2003) no having observed in this research, none of these disorders.

## Conclusions

The concentrations of  $N-NO_3^-$  in the soils had a high value, higher than 65 ppm at the beginning of the crop in the three agro-ecosystems. The concentration of P was high in the horticultural agro-ecosystem ( $T_3$ ), greater than 250 ppm. The same occurred in this agro-ecosystem with K, that even though it decreased at the end of the crop cycle, it was greater than 300 ppm. The natural agro-ecosystem ( $T_2$ ) was the one that had the least concentration of P in the soil. The concentrations of P in the soil practically did not present decreases in the crop cycle of the three agro-ecosystems. The concentrations of N, P, and K resulted in highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) in the concentrations of the plant tissues that came from the three agro-ecosystems. At the same time, when the parts were analyzed separately (leaf, stem, and fruits), the concentrations of N, P, and K also resulted different ( $p \leq 0.01$ ), with the exception of K in the stem and N in the fruits. The concentrations of P in the plant did not result deficient in any agro-ecosystem. However, the concentrations of N and K were deficient until the end of the investigation in the  $T_1$  and natural ( $T_2$ ) agro-ecosystems.

*End of the English version*



## Literatura citada

Adams, P. 1986. Mineral nutrition. *In*: the tomato crop. A scientific basis for improvement. Atherton, J. G. and Rudich, J. (Eds.). Chapman and Hall Ltd., New York. 661 p.

- Agehara, S. and Warneke, D. D. 2005. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1844-1855.
- Ågren, G. I. and Franklin, O. 2003. Root: shoot ratios, optimization and nitrogen productivity. *Ann. Bot.* 92:795-800.
- Aguado, G.; Etcheveres, J. D.; Hidalgo, C.; Galvis, A. y Aguirre, A. 2002. Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia* 36:11-21.
- Albacete, A.; Edmond, G. M.; Martínez-Andújar, C.; Acosta, M.; Sánchez-Bravo, J.; Martínez, V.; Lutts, S.; Dodd, I. C. and Pérez-Alfocea F. 2008. Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *J. Exp. Bot.* 59(15):4119-4131.
- Balesdent, J. A.; Mariotti, A. and Boissongtier, D. 1990. Effects of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from  $^{13}\text{C}$  abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41:584-596.
- Bar-Yosef, B. 1991. Fertilization under drip irrigation. *In: fluid fertilizer science and technology*. Palgrave, D. A. (Ed). Marcel Dekker, Inc., New York. 285-329 pp.
- Bouzo, C. A.; Favaro, J. C.; Pilatti, R. A. y Scaglia, E. M. 2005. Cinturón Hortícola de Santa Fe: Descripción de la zona y situación actual. *Revista FAVE. Sección Ciencias Agrarias*. 4(1-2):63-69.
- Bugarín, R.; Galvis, A.; Sánchez, P. y García, D. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra*. 20:391-399.
- Cabrera, M. L.; Tyson, S. C.; Kelley, T. R.; Pancarbo, O. C.; Merka, W. C. and Thompson, S. A. 1994. Nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fractionated poultry litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:367-372.
- De Neve, S.; Pannier, J. and Hofman, G. 1996. Temperature effects on C- and N-mineralization from vegetable crop residues. *Plant Soil*. 181:25-30.
- Eghball, B.; Ginting, D. and Gilley, J. E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96:442-447.
- Föhse, D.; Claassen, N. and Jungk, A. 1988. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant Soil*. 110(1):101-109.
- Gent, M. P. N. and Young-Zhan, M. 2000. Mineral nutrition of tomato under diurnal temperature variation of root and shoot. *Crop Sci.* 40:1629-1636.
- Gentile, R.; Vanlauwe, B.; Chivenge, P. and Six, J. 2008. Interactive effects from combining fertilizer and organic residue inputs on nitrogen transformations. *Soil Biol. Biochem.* 40(9):2375-2384.
- Greenwood, D. J. 1983. Quantitative theory and the control of soil fertility. *New Phytol.* 94:1-18.
- Griffin, T. S. and Honeycutt, C. W. 2000. Using growing degree days to predict nitrogen availability from livestock manures. *Soil Sci. Am. J.* 64:1876-1882.
- Griffin, T. S.; Honeycutt, C. W. and He, Z. 2003. Changes in soil phosphorus from manure application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:645-653.
- Hassink, J. and Whitmore, A. P. 1997. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:131-139.
- Havlin, J. L.; Westfall, D. G. and Golus, H. M. 1984. Six years of phosphorus and potassium fertilization of irrigated alfalfa on calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:331-336.
- Hochmuth, G. J. 1994. Sufficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *HortTechnology*. 4:218-222.
- Huett, D. O. and Dettmann, E. B. 1988. Effect of nitrogen on growth, fruit quality and nutrient uptake of tomatoes grown in sand culture. *Australian J. Exp. Agric.* 28:391-399.
- Jackson, L. E. and Bloom, A. J. 1990. Root distribution in relation to soil nitrogen availability in field-grown tomatoes. *Plant Soil*. 128:115-126.
- Kaniszewski, S.; Elkner, K. and Rumper, J. 1987. Effect of nitrogen fertilization and irrigation on yield, nitrogen status and quality of direct seeded tomatoes. *Acta Hort.* 200:195-202.
- Lozano, R.; Giménez, E.; Cara, B.; Capel, J. and Angosto, T. 2009. Genetic analysis of reproductive development in tomato. *Int. J. Dev. Biol.* 53:1635-1648.
- Lucero, G. E. G.; Martens, D. C.; McKenna, J. R. and Starner, D. E. 1995. Accumulations and movement of phosphorus from poultry litter application on a Starr clay loam. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26:1709-1718.
- Madhavi, D. L. y Salunkhe, D. K. 2004. El tomate. *In: tratado de ciencia y tecnología de las hortalizas*. Salunkhe, D. K. and Kadam, S. S. (Eds.), 171-202. Ed. Acribia. Zaragoza. 739 pp.
- Matus, F. J. 1997. Mineralización de nitrógeno en suelos agrícolas: predicción, medición y recomendaciones de fertilización. *Ciencia e Investigación Agraria*. 24(1):59-72.

- Montgomery, D. C. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Ed. Iberoamericana. México, D. F. 589 pp.
- Nassar, H. H. 1986. Effects of planting pattern, plant population and nitrogen level on yield and quality of tomato. *Acta Hort.* 190:435-442.
- Preusch, P. L.; Adler, P. R.; Sikora, L. J. and Tworkoski, T. J. 2002. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *J. Environ. Qual.* 31:2051-2057.
- Rattin, J. E.; Andriolo, J. L. and Witter, M. 2002. Nitrogen concentration in dry matter of the fifth leaf during growth of greenhouse tomato plants. *Hortic. Bras.* 20(4):626-629.
- Rhoads, F. M.; Olson, S. M. and Manning, A. 1988. Nitrogen fertilization of staked tomatoes in North Florida. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 47:42-44.
- Richardson, A. E.; Barea, J. M.; McNeill, A. M. and Prigent-Combaret, C. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil.* 321(1-2):305-339.
- Sainju, U. M.; Dris, R. and Singh, B. 2003. Mineral nutrition of tomato. *Food Agric. Environ.* 1(2):176-183.
- Saña-Vilaseca, J.; Moré- Ramos, J. C. y Cohí- Ramón, A. 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 277 p.
- Sarkar, D. and Haldar, A. 2005. Physical and chemical methods in soil analysis. New Age International (P) Ltd., Publishers. New Delhi. 192 p.
- Soon, Y. K.; Clayton, G. W. and Rice, W. A. 2001. Tillage and previous crop effects on dynamics of nitrogen in a wheat-soil system. *Agron. J.* 93:842-849.
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.) 1994. SAS/STAT procedure guide for personal computers. Version 5. SAS Institute, Cary. 494 pp.
- Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.; Beaton, J. D. and Havlin, J. L. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5<sup>th</sup> ed. Prentice-Hall, Inc. 634 pp.