

Optimización del fraccionamiento del nitrógeno en el cultivo de papa en el Valle de Toluca*

Optimizing nitrogen fraction in the potato crop in the Toluca Valley

Oswaldo Ángel Rubio Cobarruvias^{1§} y Mateo Armando Cadena Hinojosa²

¹Programa de papa. Sitio Experimental Metepec, INIFAP. Conjunto SEDRAGRO s7n, Metepec, Estado de México, C. P. 52140. Tel. 01 722 32 00 89. ²Investigador hasta 2011. Campo Experimental Valle de México, INIFAP, km 13.5. Carretera Los Reyes- Texcoco, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 92 1 27 38. Ext. 191. (cadena.mateo@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: rubio.oswaldo@inifap.gob.mx.

Resumen

La forma más conveniente de fraccionar el fertilizante nitrogenado varía de acuerdo al tipo de suelo, manejo del cultivo y a las condiciones climáticas. El objetivo del presente trabajo fue determinar la mejor forma de fraccionar el nitrógeno en el cultivo de papa en el Valle de Toluca, bajo condiciones de temporal. En 2006 se estableció un experimento en el que se probaron tres dosis de nitrógeno (100, 200 y 300 kg N ha⁻¹) fraccionadas en 1, 2 y 4 partes que se aplicaron a la siembra, 18, 34 y 47 días después de la emergencia de las plantas (DDE). Además se incluyó un tratamiento sin nitrógeno. Durante el ciclo vegetativo del cultivo se hicieron cuatro determinaciones de la concentración de nitrato en el extracto celular de los pecíolos foliares (ECP) a los 25, 40, 54 y 68 DDE, para ello se usó un medidor CARDY. Los máximos rendimientos de 42.4 y 42.1 t ha⁻¹ se obtuvieron con 200 kg N ha⁻¹ cuando el nitrógeno se fraccionó en una o dos partes respectivamente. La concentración de nitrato en el ECP a los 25 DDE asociada con los máximos rendimientos fue de 1 818 y 1 812 mg L⁻¹ de N-NO₃ respectivamente. Los análisis de nitratos en el ECP indicaron que al fraccionar en cuatro partes el nitrógeno, se propiciaron deficiencias de este elemento durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas que y las aplicaciones tardías ocasionaron alteraciones fisiológicas en detrimento de la producción de tubérculos.

Abstract

The more convenient way to fractionate the nitrogen fertilizer varies according to the soil type, crop management and weather conditions. The objective of the present study was to determine the best way to fractionate the nitrogen in the potato crop in the Toluca Valley, under rainfed conditions. In 2006 an experiment was established, where three doses of nitrogen were tested (100, 200 and 300 kg N ha⁻¹) fractionated in 1, 2 and 4 parts that were applied to the sowing, 18, 34 and 47 days after plant emergence (DAE). As well a treatment without nitrogen was included. During the vegetative cycle of the crop, four determinations were made for the nitrate concentration in the cellular extract of the leaf petioles (ELP) at 25, 40, 54 and 68 DAE, a CARDY meter was used. The maximum yields of 42.4 and 42.1 ton ha⁻¹ were obtained with 200 kg N ha⁻¹, when nitrogen was fractioned in one or two part respectively. The nitrate concentration at the ELP at 25 DAE associated with the maximum yield was 1 818 and 1 812 of N-NO₃ respectively. The nitrate analysis at the ELP indicated that fractioning into four parts the nitrogen, it propitiate deficiencies of this element during the early stages of the plant development and the late applications caused physiological alterations in detriment of the production of tuber.

* Recibido: febrero de 2011
Aceptado: agosto de 2012

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, fertilizante nitrogenado, nitratos.

Key words: *Solanum tuberosum*, nitrogen fertilizer, nitrates.

Introducción

Aún después de varias décadas de investigación, la selección de las dosis y épocas de aplicación de los fertilizantes en el cultivo de papa sigue siendo un reto, sobre todo en el tiempo actual en el que existe una gran preocupación por la contaminación ambiental con residuos de los fertilizantes nitrogenados (Zebarth y Rosen, 2007). El cultivo de papa demanda grandes cantidades de nutrientes en un tiempo relativamente corto debido a su rápido desarrollo, sin embargo, su sistema radicular es corto y por lo tanto con baja eficiencia para la absorción de los elementos nutritivos que requiere (Munoz *et al.*, 2006). Esta característica sugiere que entre más fraccionada sea la dosis de nitrógeno la eficiencia de su absorción se aumenta, sin embargo los estudios publicados, concernientes al efecto del fraccionamiento del nitrógeno sobre la eficiencia de su utilización para la producción de tubérculos de papa, varían desde un efecto positivo (Errebhi *et al.*, 1998), sin efecto (Vos, 1999) y hasta un efecto negativo (Kuisma, 2002; Miller and Rosen, 2005). La variación de éstas respuestas está determinada principalmente por las condiciones del suelo, el clima y el manejo del riego (Zebarth y Rosen, 2007), lo cual indica la necesidad de estudios regionales en los que se determine la mejor forma de fraccionar el nitrógeno. Hasta la fecha, en el Valle de Toluca no se han realizado estudios sobre el efecto del fraccionamiento del fertilizante nitrogenado en el cultivo de papa.

Para poder hacer las aplicaciones necesarias y oportunas de fertilizantes en cultivos anuales con un rápido desarrollo, como es la papa, es conveniente poder hacer un seguimiento de su estado nutrimental en cualquier etapa de su crecimiento. La determinación de la concentración de NO_3^- en el extracto celular de los peciolo foliares (ECP) con medidores CARDY tiene la ventaja de hacerse con instrumentos sencillos que permiten obtener los resultados del diagnóstico en forma inmediata, relativamente baratos y que pueden ser usados por los propios productores.

Estudios realizados en el cultivo de papa han permitido definir los valores críticos de nitratos determinados con medidores CARDY en el ECP para diferentes etapas de desarrollo del cultivo, por lo que esta técnica se puede utilizar para determinar la mejor forma de distribuir las

Introduction

Even after several decades of research, the dose selection and time of application for the fertilizers in a potato crop, is still a challenge, overall in the actual time in which exist a great concern for the environmental pollution with residues of nitrogen fertilizers (Zebarth and Rosen, 2007). The potato crop demands great quantities of nutrients in a relative short time due to its fast development, nevertheless, its root system is short and therefore with low efficiency for the adsorption of nutritive elements that requires (Munoz *et al.*, 2006).

This characteristic suggests that the more fractionated the dose of nitrogen, the efficiency of its adsorption rises, however published studies, concerning the effect of nitrogen fraction on the efficiency of its use for the production of potato tuber, varies from a positive effect (Errebhi *et al.*, 1998), without effect (Vos, 1999) and up to a negative effect (Kuisma, 2002; Miller and Rosen, 2005). The variation of these responses is mainly determined by the soil conditions, the weather and the irrigation management (Zebarth and Rosen, 2007), which indicates the necessity of regional studies in which to determine the best way to fractionate the nitrogen. To date, in the Toluca Valley no studies have been made on the effect of nitrogen fraction in the potato crop.

In order to make necessary and timely applications of fertilizer in annual crops with a fast development, as potato, is convenient to make a follow up of its nutrimental status in any developmental stage. The determination of the NO_3^- concentration in the cellular extract of leaf petioles (ELP) with CARDY meter has the advantage of making measurements with straightforward instruments that allows obtaining diagnostic results in an immediate way, relatively cheap and it can be used by producers.

Studies in potato crop have helped define the critical values of nitrates determined by CARDY meters in the ELP for different developmental stages of the crop, so this technique can be used to determine the best way to distribute the applications of the nitrogen fertilizer (Hochmuth, 1994; Errebhi *et al.*, 1998).

aplicaciones de fertilizante nitrogenado (Hochmuth, 1994; Errebhi *et al.*, 1998). Sin embargo, los mismos autores señalan que los valores críticos que sirven como base para hacer la interpretación de los análisis deben ser calibrados en cada región y para cada variedad. En México, en el estado de Guanajuato, Badillo *et al.* (2001) hicieron estudios que indicaron una buena correlación entre la concentración de nitratos en el ECP y el rendimiento de tubérculos de papa de la variedad Alpha, pero observaron inconsistencias de los niveles óptimos entre ciclos, por lo que sugirieron la necesidad de realizar más estudios.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el fraccionamiento óptimo de nitrógeno en el cultivo de papa en el Valle de Toluca.

Materiales y métodos

Con el objetivo antes mencionado, en 2006 se estableció un experimento de papa (*Solanum tuberosum* L.) en los terrenos del Sitio Experimental de Metepec del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el cual se pusieron 10 tratamientos con tres dosis de fertilización nitrogenada (100, 200 y 300 kg N ha⁻¹) y tres niveles de fraccionamiento del nitrógeno (N/1, N/2 y N/4), o sea cada una de las dosis de nitrógeno dividida en 1, 2 y 4 partes. Con éstos tratamientos se formó un diseño factorial 3 x 3 y además se incluyó un tratamiento testigo sin fertilizante nitrogenado. El diseño experimental fue de bloques al azar con 4 repeticiones. Cada unidad experimental consistió de 4 surcos de 92 cm de ancho y 5 m de largo, con plantas sembradas a una distancia de 25 cm. Para evitar el efecto de borde, todas las observaciones se hicieron solo en los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

La fuente de nitrógeno en la primera aplicación de fertilizante fue fosfonitrato de amonio (33% N y 3% P₂O₅), el cual se aplicó en el fondo del surco al momento de la siembra. En las tres aplicaciones posteriores a la siembra se utilizó como fuente de nitrógeno el nitrato de calcio (15.5% N), el cual se aplicó en banda en el talud del surco y se tapó ligeramente con tierra removida con azadón. La segunda, tercer y cuarta aplicación de nitrógeno se hicieron a los 18, 34 y 47 días después de la emergencia de las plantas (DDE). Estos tratamientos se definieron en base lo que reportan varios investigadores en señalar que el nitrógeno puede ser absorbido durante todo el ciclo de desarrollo de las plantas

However the same author's point that the critical values that help as base to make the interpretation of the analysis must be calibrated on each region and for each variety. In Mexico, in the state of Guanajuato, Badillo *et al.* (2001) made studies that indicated a good correlation between the nitrate concentration in the ELP and the potato tuber yield of the variety Alpha, and noted inconsistencies between cycles optimal levels, therefore suggested the need for further studies.

The objective of this study was to determine the optimal nitrogen fraction in the potato crop in the Toluca Valley.

Material and methods

With the mentioned objective before, in 2006 was established an experiment for potato (*Solanum tuberosum* L.) in the experimental field of Metepec from the National Institute of Forest, Agricultural and Livestock (INIFAP) in which 10 treatments were collocated with three doses of nitrogen fertilization (100, 200 and 300 kg N ha⁻¹) and three levels of nitrogen fraction (N/1, N/2 and N/4), meaning each one of the doses of nitrogen is divided in 1, 2 and 4 parts. With these treatments a factorial design 3 X 3 was made and a check treatment without nitrogen was included. The experimental design was random block with 4 replications. Each experimental unit consisted of 4 rows of 92 cm width and 5 m long, with plants sown within a distance of 25 cm. To avoid the border effect, all the observations were made only on the two central rows of each experimental unit.

The nitrogen source for the first fertilization application was ammonium phospho nitrate (33% N and 3% P₂O₅), which was applied at the bottom of the row at sowing time. In the following three applications to the sowing, it was used as nitrogen source the calcium nitrate (15.5% N), which was applied in the bank of the furrow and was slightly covered with removed soil with a mattock. The second, third and fourth nitrogen application were made at 18, 34 and 47 days after plant emergence (DAE).

These treatments were defined based on what other researchers pointed, that the nitrogen can be adsorbed during the plant developmental cycle of potato, but the higher rate of adsorption happens since emergence until the first stages of growth for tuber (Vos, 1999; Badillo *et al.*, 2004). At sowing

de papa pero la mayor tasa de absorción ocurre desde la brotación hasta las primeras etapas de crecimiento de los tubérculos (Vos, 1999; Badillo *et al.*, 2004). Al momento de la siembra, en todas las unidades experimentales se aplicó la cantidad de superfosfato triple necesaria para completar la dosis de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y además 150 kg ha⁻¹ de K₂O en forma de sulfato de potasio.

Durante el ciclo vegetativo del cultivo se hicieron cuatro determinaciones de nitrato en el extracto celular de los pecíolos foliares (ECP) en los días 25, 40, 54 y 68 DDE. Para la determinación de nitratos en el ECP se muestrearon 6 pecíolos de la primer hoja madura de 6 plantas por cada unidad experimental, a los cuales se eliminaron los folíolos y se cortaron en trozos de 1.5 cm de largo, posteriormente el ECP se extrajo con un exprimidor de ajos y se utilizó un medidor CARDY (Horiba Co. Ltd., Irvine, CA) para determinar la concentración de nitratos.

El cultivar de papa utilizado fue un clon generado por el INIFAP e identificado con el número 981401, el cual es de ciclo intermedio, ha mostrado resistencia contra tizón tardío (*Phytophthora infestans* Sulc) y buena adaptación a las condiciones climáticas del Valle de Toluca, la información sobre este clon aún no ha sido publicada.

A los 70 DDE se aplicó un desecante foliar (Paraquat) y tres semanas después se cosecharon los tubérculos, los cuales se clasificaron por su tamaño en comerciales (diámetro mayor de 3 cm) y no comerciales (diámetro menor de 3 cm y tubérculos deformes).

El suelo en el que se estableció el experimento es un suelo profundo de origen aluvial, la textura determinada por el método de Bouyoucos en los primeros 30 cm fue franco arenoso (arena 67.6%, limo 18.0% y arcilla 14.4%), el pH (1:2 agua) fue de 5.2, el contenido de materia orgánica determinado por el método de Walkley y Black fue de 1.05% y el contenido de nitrógeno inorgánico (N-NO₃) extraído con sulfato de potasio fue de 13.2 ppm, el cual se considera un valor medio para el cultivo de papa ya que los suelos con menos de 20 ppm de nitratos requieren de la aplicación de nitrógeno (Kleinkopf and Westermann, 1982). El análisis de suelo reportó 35.8 ppm de P determinado con el método de Bray 1, valor que se considera moderadamente alto. Los cationes del suelo fueron extraídos con acetato de amonio 1N y se obtuvieron 288, 1 561 y 248 ppm de K, Ca y Mg respectivamente. El valor de K se considera moderadamente alto y los de Ca y Mg medianos.

time, in all experimental units was applied a quantity of triple super phosphate necessary to complete the dose of 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ and 150 kg ha⁻¹ de K₂O as potassium sulfate.

The potato seed was a generated clone by INIFAP and identified with the number 981401, which is for an intermediate cycle, it has shown resistance against late blight (*Phytophthora infestans* Sulc.) and a good adaptation to the weather conditions from the Toluca Valley, the information about this clone has not been published yet.

At 70 DAE was applied a foliar desiccant (Paraquat) and three weeks later the tubers were harvested, which were classified by their commercial size (diameter greater to 3 cm) and noncommercial (diameter lower to 3 cm and deformed tubers).

The soil in which was establish the experiment is a deep alluvial soil, the texture was determined by the Bouyoucos method, in the first 30 cm the soil was sandy loam (sand 67.6%, silt 18% and clay 14.4%), the pH (1:2 water) was 5.2, content of organic matter was 1.5% and was determined by the Walkley and Black method and the content of inorganic nitrogen (N-NO₃) was extracted with potassium sulfate was 13.2 ppm, which is considered an intermediate value for the potato crop, as soils with less of 20 ppm of nitrates requires an application of nitrogen (Kleinkopf and Westermann, 1982). The soil analysis reported 35.8 ppm of P determined by the Bray method 1, 1N and obtained 288, 1 561 and 248 ppm of K, Ca and Mg respectively. The value for K is considered moderately high, Ca and Mg intermediate.

The provision of water for the plant depended only of the rainfed, which normally is considered enough for the potato crop in the Toluca Valley. The amount of rainfall that occurred from June to September; namely, during the period that the experiment was established in the field, was 528 mm (Lobato and Sosa, 2006). This amount of precipitation was considered enough to satisfy the crop necessities and that at no time drought symptoms were observed in plants.

Results and discussion

The analysis of variance for the yield of commercial tubers is shown in Chart 1, which indicates that there was a significant effect ($p=0.002$) of the nitrogen fraction and also of the nitrogen doses ($p=0.064$). The noncommercial tuber

El abastecimiento de agua para las plantas dependi3 unicamente del temporal, el cual normalmente se considera suficiente para el cultivo de papa en el Valle de Toluca. La cantidad de lluvia que ocurri3 de junio a septiembre; es decir, durante el periodo en que se estableci3 el experimento en el campo, fue de 528 mm (Lobato y Sosa, 2006). Esta cantidad de precipitaci3n fue suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo ya que en ning3n momento se observaron s3ntomas de sequ3a en las plantas.

Resultados y discusi3n

El an3lisis de varianza del rendimiento de tub3rculos comerciales se presenta en el Cuadro 1, el cual indica que hubo un efecto significativo ($P= 0.002$) del nivel de fraccionamiento del nitr3geno y tambi3n de la dosis de nitr3geno ($P= 0.064$). La producci3n de tub3rculos no comerciales (promedio de 6.48 t ha⁻¹ en todo el experimento) tambi3n se analiz3 estad3sticamente, sin embargo no se tuvo ning3n efecto significativo de las dosis de nitr3geno ni de su distribuci3n, por lo que en la Figura 1 s3lo se presentan los resultados del rendimiento comercial. En esta figura se puede observar que los tratamientos en los que la aplicaci3n del nitr3geno se hizo en 1 y 2 partes (N/1 y N/2), los rendimientos promedio fueron de 39.52 y 39.45 t ha⁻¹ respectivamente. Estos rendimientos fueron superiores al del tratamiento N/4 (32.48 t ha⁻¹) en el que el N se fraccion3 en 4 partes. La disminuci3n del rendimiento con el nivel de fraccionamiento del nitr3geno observado en este estudio est3 de acuerdo con lo encontrado por Kuisma (2002) y tambi3n por Miller and Rosen (2005), pero se opone a lo observado por Westermann y Kleinkopf (1985) y Errebhi *et al.* (1998). Estas diferencias se pueden explicar por lo expresado por Zebarth and Rosen (2007), quienes observaron que la respuesta a la forma en que se fracciona el nitr3geno est3 determinada principalmente por las condiciones del suelo, el clima y el manejo del riego.

En este caso, el suelo es de textura migaj3n arenoso por lo que tiene una capacidad de retenci3n de aniones y cationes suficientemente alta como para evitar la lixiviaci3n que generalmente ocurre en los suelos de texturas m3s arenosas, en los cuales es m3s conveniente fraccionar el nitr3geno en varias partes. En relaci3n con el clima, el a3o en que se realiz3 el experimento se considera normal, ya que la precipitaci3n en todo el a3o fue de 764 mm y el promedio de 27 a3os es de 843 mm (Lobato y Sosa, 2006). Durante el ciclo de desarrollo del cultivo se tuvo una precipitaci3n de 528 mm

production (average 6.48 ton ha⁻¹ in all the experiment) was also analyzed statistically, however there was no significant effect of the nitrogen doses neither from its distribution, so that in Figure 1 only shows the yield results for commercial tubers. On this figure can be observed that the treatments in which was applied the nitrogen in 1 and 2 parts (N/1 and N/2), the average yield was 39.52 and 39.45 ton ha⁻¹ respectively.

Cuadro 1. An3lisis de varianza del rendimiento de tub3rculos comerciales.

Table 1. Variance analysis of yield in commercial tubers.

Fuente	GL	SC	CM	F	Pr > F
Modelo	12	2078	1173	7.2	0.0001
Fracc. N	2	392	196	8.2	0.0016
Dosis N	2	145	72	3.0	0.064
Rep.	3	1390	463	19.4	0.0001
Dosis x Fracc.	4	38	9.5	0.4	0.80
Error	27	606	25		

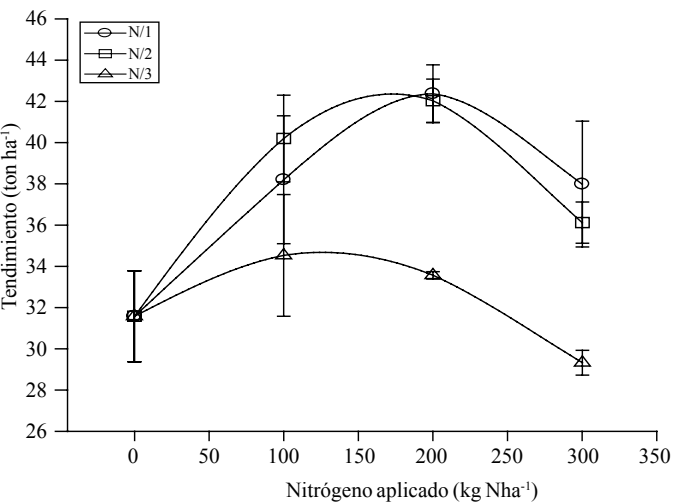


Figura 1. Rendimiento comercial de tub3rculos de papa en funci3n de las dosis de nitr3geno fraccionadas en 1 (N/1), 2 (N/2) y 4 (N/4) partes. Las l3neas verticales representan el error est3ndar de las medias.

Figure 1. Yield of commercial potato tuber in function of the nitrogen fractionated doses en 1(N/1), 2 (N/2) and 4 (N/4). The vertical lines represent the standard error of the means.

These yields were superior to N/4 (32.48 ton ha⁻¹) treatment in which N was fractionated in 4 parts. The decrease in yield with the level of nitrogen fraction observed in this study agrees with what Kuisma (2002) found and also with Miller and Rosen (2005), but disagrees with what Westermann and Kleinkopf (1985) and Errebhi *et al.*, (1998) observed. These

con una buena distribución. El drenaje superficial del sitio experimental es bueno, por lo que se considera que no hubo pérdidas de nitrógeno por volatilización ni por lixiviación.

En general, en el Valle de Toluca, predominan suelos con texturas medias y sólo en algunas áreas en las faldas del volcán Nevado de Toluca, en las que ha ocurrido erosión, han aflorado estratos de suelo con texturas más gruesas. Posiblemente en este tipo de suelos el fraccionamiento del nitrógeno en más de 2 partes sea más conveniente.

En la Figura 1 se puede apreciar que hubo un aumento en rendimiento con valores crecientes de nitrógeno en los 3 niveles de fraccionamiento de este elemento. Los rendimientos máximos asociados con los tratamientos N/1, N/2 y N/4 fueron de 34.5, 42.4 y 42.1 t ha⁻¹, los cuales fueron obtenidos con las dosis de nitrógeno de 100, 200 y 200 kg N ha⁻¹ respectivamente.

Debido al alto valor comercial de los tubérculos de papa, los niveles de nitrógeno asociados con los máximos rendimientos de tubérculos corresponden a las dosis óptimas de nitrógeno para capital ilimitado, por lo que en este estudio los resultados indican que la dosis óptima económica es de 200 kg N ha⁻¹. Desde el punto de vista agronómico se considera que la aplicación fraccionada del fertilizante es conveniente bajo condiciones de temporal, ya que esto permite a los agricultores tomar la decisión de no hacer una segunda aplicación cuando existen condiciones de falta de humedad o cuando el cultivo ha sido dañado por alguna plaga o enfermedad y no es económicamente redituable invertir más en insumos.

La dosis óptima de nitrógeno (200 N ha⁻¹) está dentro del rango definido en un estudio realizado en el Valle de Toluca (Rubio *et al.*, 2005), en el cual se observó que las dosis óptimas de nitrógeno pueden variar entre 137 y 222 kg N ha⁻¹ dependiendo del grado de infección del follaje por el tizón tardío (*Phytophthora infestans*). En el presente estudio se utilizó una variedad de papa resistente al tizón tardío, por lo que no hubo daño al follaje y por lo tanto su respuesta estuvo influenciada únicamente por los niveles y por la forma en que se fraccionó nitrógeno.

El mayor rendimiento obtenido con los dos niveles más bajos de fraccionamiento del nitrógeno (N/1 y N/2) también se puede explicar si se considera que estos permitieron mayor disponibilidad de nitrógeno durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas, que es cuando tienen sus mayores requerimientos de nitrógeno. Existe consenso entre varios

differences can be explained as expressed by Zebarth and Rosen (2007), who observed that the responses to the way in how nitrogen is fractionated is mainly determined by the conditions in the soil, weather and irrigation management.

In this case the soil texture is sandy loam, so it has high anion and cation retention capacity as to avoid leaching that generally occurs in the more sandy textures, in which is more convenient to fractionate the nitrogen in several parts. In relation with the weather, the year in which was made the experiment it was considered normal, since the precipitation in the whole year was 764 mm and the average from 27 years is 843 mm (Lobato and Sosa, 2006). During developmental crop cycle, there was a precipitation of 528 mm with a good distribution. The superficial drainage from the experimental site is good, so it is considered that there was no loss of nitrogen by volatilization or leaching.

In general, the Toluca Valley, the predominant soils are intermediate textures and only in a few areas on the slope of the volcano, Nevado of Toluca, in which erosion has occurred, have emerged soil strata with more thick textures. Possibly in this type of soils the nitrogen fraction is more than 2 parts is more convenient.

Figure 1 shows that there was an increase in yield with increasing values of nitrogen in the 3 levels of fractionation of this element. The maximum yields associated with the treatments N/1, N/2 and N/4 were of 34.5, 42.4 and 42.1 ton ha⁻¹, which were obtained with the nitrogen doses of 100, 200 and 200 kg N ha⁻¹ respectively. Due to the high commercial value of the potato tubers, the nitrogen levels associated with the maximum yields of tubers correspond to the optimal dose of nitrogen for limited capital, so in this study the results indicate that the cheap optimal dose is if 200 kg N ha⁻¹. From the agricultural point of view is considered that the fractionated application of fertilizer is appropriate under rainfed conditions, so this allows the farmers to make the decision of not making a second application when the lack of moisture conditions exist or when the crop has been damaged by any plague or disease and is not economically profitable to invest more in inputs.

The optimal dose of nitrogen (200 N ha⁻¹) is within the defined range in a study made in the Toluca Valley (Rubio *et al.*, 2005), in which was observed that the optimal doses of nitrogen can vary between 137 and 222 kg N ha⁻¹ depending on the degree of infection of foliage by late blight

investigadores en señalar que la mayor tasa de absorción de nitrógeno ocurre desde la brotación hasta las primeras etapas de crecimiento de los tubérculos (Vos, 1999; Badillo *et al.*, 2004). Las observaciones hechas en varios años en Toluca, indican que bajo estas condiciones climáticas, el inicio de la tuberización en variedades de papa de ciclo intermedio generalmente ocurre entre los 25 y 30 días DDE.

En nuestro estudio las aplicaciones de nitrógeno se hicieron a la siembra, a los 18, 34 y 47 DDE, por lo tanto la última aplicación fue hecha fuera del periodo de mayor tasa de absorción de nitrógeno. Esta conclusión también se apoya en los resultados de los análisis de nitratos en el ECP (Figura 2). En el muestreo realizado a los 25 DDE, los tratamientos N/4 presentaron concentraciones de N-NO₃ en el ECP de 1 155, 1 252 y 1 654 mg L⁻¹ de N-NO₃ cuando se aplicaron las dosis de 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹, respectivamente, en cambio los tratamientos N/1 y N/2 presentaron concentraciones mayores.

(*Phytophthora infestans*). In the present study a variety of resistant potato to the late blight was used, so there was no damage to the foliage and so the response was influenced only by the levels and by the way in which the nitrogen was fractionated.

The highest yield obtained with the lower levels of nitrogen fractionation (N/1 and N/2) can also be explained if one considers that these allows greater availability of nitrogen during the early stages of plant development, that is when they have their greatest nitrogen requirements. There is consensus among many researchers, point out that the highest rate of absorption of nitrogen occurs from emergence to the early stages of growth of the tubers (Vos, 1999; Badillo *et al.*, 2004).

The observations made in several years in Toluca, indicates that under this weather conditions, the beginning of tuberization in potato varieties of intermediate cycle,

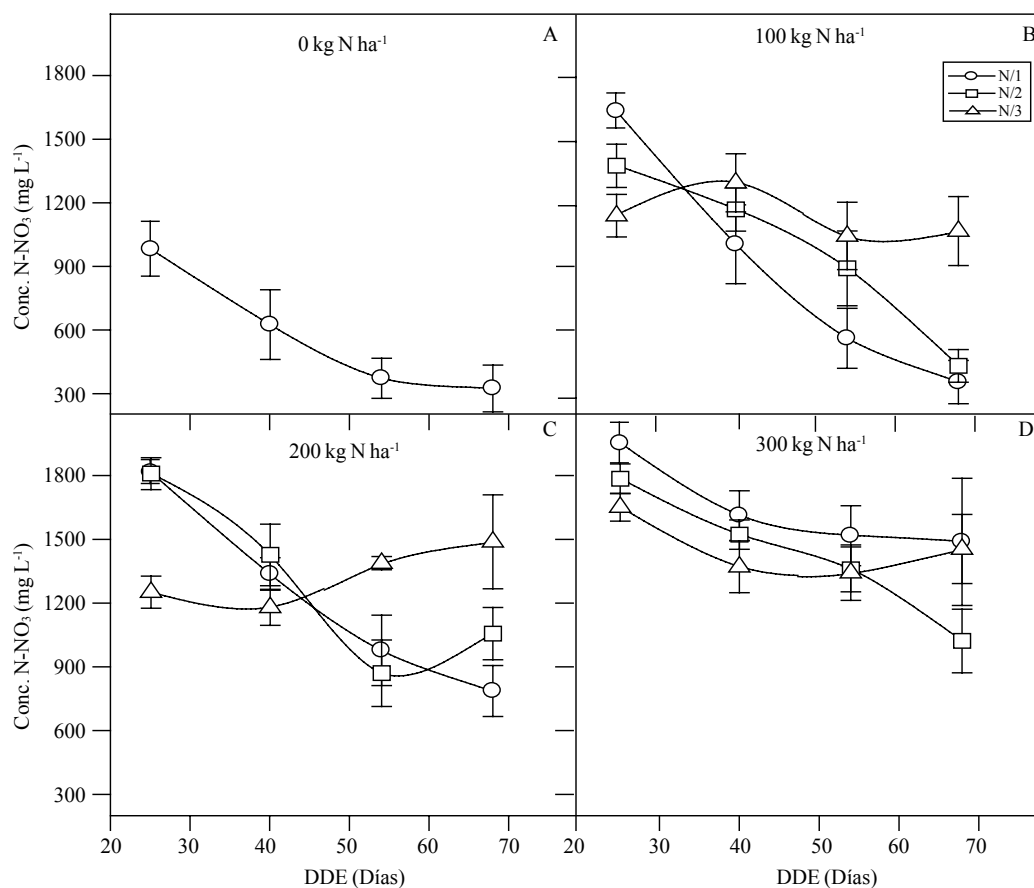


Figura 2. Concentración de nitratos en el ECP en función del tiempo después de la emergencia de las plantas (DDE) y de las dosis de nitrógeno fraccionadas en 1 (N/1), 2 (N/2) y 4 (N/4) partes. Las líneas verticales representan el error estándar de las medias.
Figure 2. Concentration of nitrates in the ELP, versus time after plant emergence (DAE) and the fractionated doses of nitrogen 1(N/1), 2 (N/2) and 4 (N/4) parts. The vertical lines represent the standard error of means.

Otros investigadores(as) han reportado valores críticos de deficiencia de nitrato determinados con medidores CARDY durante el inicio de la tuberización que varían de 1 350-1 450 mg L⁻¹ de N-NO₃ (Errebhi *et al.*, 1998) y de 1 200-1 400 mg L⁻¹ N-NO₃ (Hochmuth, 1994). Los valores de los tratamientos N/4 con 100 y 200 kg N ha⁻¹ fueron menores que los valores críticos reportados anteriormente y por lo tanto se confirma que al fraccionar el nitrógeno en cuatro partes hubo deficiencias en las primeras etapas de desarrollo de las plantas, las cuales se consideran críticas para el rendimiento de tubérculos.

El tratamiento N/4 con 300 kg N ha⁻¹ a los 25 DDE tuvo una concentración de 1 654 mg L⁻¹ de N-NO₃, la cual fue menor que en los tratamientos N/1 y N/2 (1 956 y 1 788 mg L⁻¹ de N-NO₃, respectivamente) y también fue menor que la concentración de nitrato en los tratamientos N/1 y N/2 con 200 kg N ha⁻¹ (1 818 y 1 812 mg L⁻¹ de N-NO₃, respectivamente), los cuales fueron los que tuvieron los rendimientos más altos. Esto nos sugiere que 1 654 mg L⁻¹ de N-NO₃ representa un valor dentro del rango de deficiencia a los 25 DDE y que las aplicaciones de nitrógeno posteriores, hasta completar la dosis de 300 kg N ha⁻¹, corrigieron la deficiencia pero tuvieron un efecto negativo en el rendimiento por ser dosis excesivas aplicadas en forma tardía.

En la Figura 2 se puede apreciar que en el tratamiento N/4 con 100 kg N ha⁻¹ hubo un aumento en la concentración de nitrato en el ECP o su caída se detuvo después de la cuarta aplicación del fertilizante nitrogenado al suelo a los 47 DDE. En cambio con las dosis de nitrógeno de 200 y 300 kg N ha⁻¹, la concentración de nitrato en el ECP aumentó ligeramente una semana después de la tercer aplicación de nitrógeno al suelo y mantuvo esta tendencia después de la cuarta aplicación de fertilizante al suelo.

Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Roberts *et al.* (1989), quienes aplicaron nitrógeno marcado al suelo y lo detectaron en forma de nitrato en el ECP una semana después de su aplicación aún en la última etapa del ciclo de vida de las plantas de papa. Esta información confirma que el nitrógeno aplicado a los 47 DDE fue asimilado por las plantas, sin embargo, no tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento por ser aplicado en forma extemporánea.

Al comparar los cambios de concentración de nitrato en el ECP que ocurrieron durante el periodo de desarrollo de las plantas en los tratamientos con los tres niveles de fraccionamiento de nitrógeno (Figura 2), se observa una disminución a través del tiempo en los tratamientos N/1 y N/2 con las tres dosis de nitrógeno, pero no en los tratamientos N/4.

generally happens between 25 and 30 days DAE. In our study the nitrogen applications were made during the sowing at 18, 34 and 47 DAE, therefore the last application was made outside the period of highest adsorption rate of nitrogen. This conclusion is also supported by the results of the nitrate analysis at the ELP (Figure 2). In the sampling carried out at 25 DAE, the treatments N/4 presented concentrations of N-NO₃ at the ELP of 1 155, 1 125 and 1 614 mg L⁻¹ of N-NO₃, when applied the doses of 100, 200 and 300 kg N ha⁻¹, respectively, instead the treatments N/1 and N/2 had higher concentrations.

Other researchers have reported critical values of nitrate deficiency, determined with CARDY meters, during the beginning of tuberization that varies from 1 350- 1 450 mg L⁻¹ of N-NO₃ (Errebhi *et al.*, 1998) and 1 200- 1 400 mg L⁻¹ N-NO₃ (Hochmuth, 1994). Values of treatments N/4 at 100 and 200 kg ha⁻¹ were lower than the critical values reported above and therefore confirms that the fraction into four parts nitrogen, were deficiencies in the early stages of plant development, which are considered critical to the performance of tubers.

The treatment N/4 with 300 kg N ha⁻¹ at 25 DAE with concentration of 1 654 mg L⁻¹ of N-NO₃, which was lower than in treatments N/1 and N/2 (1 956 and 1 788 mg L⁻¹ of N-NO₃, respectively) and was also less than the concentration of nitrate in the treatments N/1 and N/2 with 200 kg N ha⁻¹, which were the ones with the highest yields. This suggest that 1 654 mg L⁻¹ of N-NO₃ represents a value within the range of deficiency at 25 DAE and the posterior nitrogen applications, until dose completion of 300 kg N ha⁻¹, corrected the deficiencies but had a negative effect in the yield by being excessive doses of late applications.

Figure 2 shows that in the treatment N/4 with 100 kg N ha⁻¹ had an increase in the nitrate concentration at the ELP o its decrease stopped after the fourth application of nitrogen fertilization in soil at 47 DAE. In contrast with nitrogen doses of 200 and 300 kg N ha⁻¹, the concentration of nitrate at ELP had a slight increase in a week after the third application of nitrogen to the soil and it maintained this tendency after the fourth application of fertilizer to the soil.

These results agree with those obtained by Roberts *et al.* (1989), who applied labeled nitrogen to the soil and detected as nitrate at the ELP a week after application even in the last stage of the life cycle of the potato plants. This information confirms that the applied nitrogen at 47 DAE was assimilated by the plants, however, it didn't have positive effect on yield by being applied untimely.

La disminución de la concentración de N-NO_3 en el peciolo foliar conforme avanza la madurez de las plantas que han recibido una fertilización adecuada ha sido previamente observada (Hochmuth, 1994; Errebhi *et al.*, 1998; Love, *et al.*, 2005) y la respuesta diferente en los tratamientos N/4, probablemente se debió a que las aplicaciones tardías de nitrógeno alteraron el proceso normal de translocación de los fotosintatos de las hojas hacia los tubérculos, especialmente cuando la dosis es excesiva, como fue la de 300 kg N ha^{-1} .

En general, existe un amplio consenso entre los investigadores en señalar que las dosis excesivas de nitrógeno aplicadas en forma tardía, pueden alargar el ciclo vegetativo del cultivo en detrimento del rendimiento y calidad de los tubérculos (Kleinkopf *et al.*, 1981; Porter and Sisson, 1991; Miller and Rosen, 2005).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que en los suelos de textura migajón arenoso del Valle de Toluca, la dosis óptima de nitrógeno fue de 200 kg N ha^{-1} y que la forma más conveniente de aplicar el nitrógeno es fraccionándolo en una o en dos partes, al momento de la siembra y a los 18 días después de la emergencia de las plantas. El fraccionamiento de la dosis de nitrógeno en cuatro partes (siembra, 18, 34 y 47 DDE) tuvo un efecto negativo sobre el rendimiento de tubérculos. Los análisis de nitratos en el ECP indicaron que al fraccionar en cuatro partes el nitrógeno, se propiciaron deficiencias de este elemento durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas y las aplicaciones tardías corrigieron las deficiencias pero ocasionaron alteraciones fisiológicas en detrimento de la producción de tubérculos. La concentración de nitrato en el extracto celular de los peciolo foliares a los 25 DDE, asociada con la dosis óptima de nitrógeno (200 kg N ha^{-1}) en los tratamientos en los que el nitrógeno se fraccionó en una y dos partes fue de $1\,818$ y $1\,812 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NO_3 , respectivamente.

Literatura citada

Badillo, T. V.; Castellanos, R. J. Z.; Sánchez, G. P.; Galvis, S. A.; Álvarez, S. E.; Uvalle, B. J. X.; González, E. D. y Enríquez, R. S. A. 2001. Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa var. alpha. *Agrociencia* 35:615-623.

By comparing the changes in concentration of nitrate in the ELP that occurred during the development of plants in treatments with three levels of nitrogen fraction (Figure 2), shows a decrease through time in the N/1 and N/2 treatments with three nitrogen doses, but not in the N/4 treatments.

The decrease in N-NO_3 concentration in the leaf petiole with advancing maturity of plants that have received adequate fertilization has been previously observed (Hochmuth, 1994; Errebhi *et al.*, 1998; Love *et al.*, 2005) and a different response in the N/4 treatments, probably due to the late application of nitrogen altered the normal process of translocation of the leaf photosynthates towards the tuber, especially when the dose is excessive, as was the 300 kg N ha^{-1} .

In general, there is broad consensus among researchers noted that excessive doses of nitrogen applied in late, can lengthen the growing season at the expense of crop yield and tuber quality (Kleinkopf *et al.*, 1981; Porter and Sisson, 1991; Miller and Rosen, 2005).

Conclusions

The obtained results in this study showed that the texture of sandy loam soil from the Toluca Valley, the optimal doses of nitrogen was 200 kg N ha^{-1} and that the more convenient way of applying the fractionated nitrogen is in one or two parts, at the sowing time and 18 days after plant emergence. The fraction of the nitrogen doses in four parts (sowing, 18, 34 and 47 DAE) had a negative effect on the tuber yield. The nitrate analysis in the ELP indicated that fractioning the nitrogen in four parts, it propitiated deficiencies of this element during the early stages of plant development and the late applications corrected these deficiencies but it caused physiological alterations by decreasing the tuber production. The nitrate concentration in the cellular extract of leaf petioles at 25 DAE, associated with the optimal dose of nitrogen (200 kg N ha^{-1}) in treatments in which nitrogen was fractionated in one or two parts was $1\,818$ and $1\,812 \text{ mg L}^{-1}$ of N-NO_3 , respectively.

End of the English version



- Badillo, T. V.; Castellanos, R. J. Z.; Muños, R. J. J.; Sánchez, G. P.; Villalobos, R. S. y Vargas, T. P. 2004. Demanda nutrimental del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Cv. Alpha en la región del Bajío. Rev. Chapingo Serie Horticultura X (1):67-74.
- Errebhi, M.; Rosen, C. J.; Gupta, S. C. and Birong, D. E. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. Agron. J. 90:10-15.
- Hochmuth, G. J. 1994. Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. HortTech. 4(3):218-222.
- Kleinkopf, G. E. and Westermann, D. T. 1982. Scheduling nitrogen applications for Russet Burbank Potatoes. University of Idaho, College of Agriculture Current Information. Series No. 637.
- Kleinkopf, G. E.; Westermann, D. T. and Dwelle, R. B. 1981. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. Agron. J. 73:799-802.
- Kuisma, P. 2002. Efficiency of split nitrogen fertilization with adjusted irrigation on potato. Agric. Food Sci. Finland 11:59-74.
- Lobato, S. R. y Sosa, M. A. 2006. ERIC-III, extractor rápido de información climatológica V1.0. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Jiutepec, Morelos. Reg. 03-2006-061913380900-01.
- Love, S. L.; Stark, J. C. and Salaiz, T. 2005. Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer. Am Potato J. 82:21-30.
- Miller, J. S. and Rosen, C. J. 2005. Interactive effects of fungicide programs and nitrogen management on potato yield and quality. Amer. J. Potato Res. 82:399-409.
- Munoz, A. F.; Mylavarapu, R. S.; Hutchinson, C. M. and Portier, K. M. 2006. Root distribution under seepage-irrigated potatoes in Northeast Florida. Amer. J. Potato Res. 83:463-472.
- Porter, G. A. and Sisson, J. A. 1991. Response of russet burbank and shepody to nitrogen fertilizer in two cropping systems. Am. Potato J. 68:425-443.
- Roberts, S.; Cheng, H. H. and Farrow, F. O. 1989. Nitrate concentration in potato petioles from periodic applications of ¹⁵N-labeled ammonium nitrate fertilizer. Agron. J. 81:271-274.
- Rubio, C. O. A.; Grünwald, N. y Cadena, H. M. A. 2005. Influencia del nitrógeno sobre la infección de tizón tardío en el cultivo de papa en Toluca, México. Terra Latinoamericana 23(4):487-493.
- Turrent, F. A. 1978. El método gráfico-estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la matriz Plan Puebla I. Escrito sobre la metodología de la investigación en productividad de agrosistemas Núm. 5. Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 45 p.
- Vos, J. 1999. Split application in potato: Effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on the nitrogen budget J. Agric. Sci. Camb. 133:263-274.
- Westermann, D. T. and Kleinkopf, G. E. 1985. Nitrogen requirements of potatoes. Agron. J. 77:616-621.
- Zebarth, B. J. and Rosen, C. J. 2007. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. Amer. J. Potato Res. 84:3-18.