

NIVELES DE REFERENCIA DE NITRÓGENO EN TEJIDO VEGETAL DE PAPA VAR. ALPHA

NITROGEN REFERENCE LEVELS IN PLANT TISSUE OF POTATO CV. ALPHA

Vicente Badillo-Tovar¹, Javier Z. Castellanos¹, Prometeo Sánchez-García², Arturo Galvis-Spinola², Edna Alvarez-Sánchez³, J. Xavier Uvalle-Bueno⁴, Diego González-Eguiarte⁵ y Sergio A. Enriquez-Reyes⁶

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Apartado Postal 112, Celaya, Guanajuato. 38010, México. (casteja@attglobal.net). ²Colegio de Postgraduados, IRENAT-Edafología. 56230 Montecillo, México. ³Universidad Autónoma Chapingo. 56230, Chapingo, Estado de México. ⁴Universidad Autónoma de Chihuahua. 31000, Chihuahua, Chihuahua, México. ⁵INIFAP-Jalisco. Apartado Postal 6-558, Guadalajara, Jalisco 44660, México. ⁶Instituto Tecnológico de Monterrey - Campus Querétaro. Apartado Postal 37. Querétaro, Querétaro, México.

RESUMEN

Con el fin de contribuir en la generación de estándares de referencia nutrimental en papa (*Solanum tuberosum* var. Alpha), se establecieron dos experimentos de campo, uno en el ciclo de primavera-verano y otro en otoño-invierno de 1997, en los cuales se estudiaron dosis de N que variaron de 0 a 375 kg de N ha⁻¹. Se tomaron muestras de la hoja más recientemente madura (HMRM) para analizar la concentración de N total en la hoja y N-NO₃ en extracto celular de pecíolo (ECP) en las Etapas: I (0 a 15 días después de emergencia, dde), II (16 a 30 dde), IIIa (31 a 42 dde), IIIb (43 a 54 dde), IVa (55 a 65 dde) e IVb (66 a 75 dde). También se tomó el dato de rendimiento de tubérculo en cada tratamiento y se relacionaron las variables de concentración de N en los diferentes órganos de muestreo en cada etapa de desarrollo con el rendimiento. Se obtuvo una correlación altamente significativa (p<0.01) entre la concentración de N total en hoja y el rendimiento de tubérculo en ambas estaciones de crecimiento prácticamente en todas las etapas de muestreo. Los niveles de suficiencia de N total sugeridos en HMRM son: 6.4 a 7.2, 5.8 a 7.0, 5.8 a 6.2, 5.0 a 6.0, 4.0 a 4.5 y 3.5 a 4.0% para las Etapas I, II, IIIa, IIIb, IVa e IVb, respectivamente, cuyos valores fueron consistentes en ambas estaciones de crecimiento. Los valores de N-NO₃ en ECP fueron altamente correlacionados (p<0.01) con el rendimiento en cada ciclo, prácticamente en todas las etapas de muestreo, sin embargo los niveles óptimos presentaron inconsistencias entre ciclos, indicativo de que esta metodología no mostró un adecuado desempeño y por lo tanto requiere de más estudios.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, Análisis foliar, extracto celular de pecíolo, nitratos, pecíolo.

INTRODUCCIÓN

En cualquier cultivo, un apropiado diagnóstico nutrimental requiere de valores de referencia generados en la región agrícola específica y variedad

Recibido: Noviembre, 2000. Aprobado: Diciembre, 2001.
Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 35: 615-623. 2001.

ABSTRACT

With the objective of contributing to the development of nutrimental reference standards in leaf and press sap from petioles (ECP) for potatoes (*Solanum tuberosum* var. Alpha), two field experiments were established; one in the spring-summer cycle and the other in the autumn-winter cycle of 1997. Four rates of N varying from 0 to 375 kg per ha⁻¹ were studied. Samples of the most recently mature leaf (MRML) were taken in the following stages: I (0-15 days after emergence, [dae]), II (16-30 dae), IIIa (31-42 dae), IIIb (43-54 dae), IVa (55-65 dae) and IVb (66-75 dae). Total N was determined in: a) the MRML; and, b) N-NO₃ in expressed sap from the petiole of the MRML. Tuber yield data were also taken and related to concentrations of N in the different plant tissues. A highly significant correlation (p<0.01) was observed between the total concentration of N in MRML in practically all the sampling dates for both seasons. Nitrogen sufficiency levels in MRML leaves were 6.4 to 7.2, 5.8 to 7.0, 5.8 to 6.2, 5.0 to 6.0, 4.0 to 4.5 and 3.5 to 4.0% for stages I, II, IIIa, IIIb, IVa and IVb, respectively. The nitrate-nitrogen concentration in ECP correlated highly with yields in both seasons (p<0.01), but the optimum reference values were inconsistent between seasons, indicating that this methodology did not give an adequate performance and that more studies of this matter are required.

Key words: *Solanum tuberosum*, Plant analysis, press sap, nitrates, petiole.

INTRODUCTION

With respect to any crop, an appropriate nutrimental diagnosis requires reference values generated in the agricultural region using the variety of interest and for each stage of development (Mendoza-Robles, 1998). The necessity of N in potato crops (*Solanus tuberosum* L.) has been diagnosed in the "most recently matured leaf" (MRML), according to Parent *et al.* (1995) and Mendoza-Robles (1998), and in cellular extracts from petioles (ECP) (Huet

de interés, para cada estadio de desarrollo (Mendoza-Robles, 1998). Las necesidades de N en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) han sido diagnosticadas en la "hoja más recientemente madura" (HMRM), según Parent *et al.* (1995) y Mendoza-Robles (1998), y en el extracto celular de pecíolo (ECP) (Huett y White, 1992; Errebhi *et al.*, 1998). Estas necesidades se podrán diagnosticar con razonable aproximación una vez definidos los valores de referencia nutrimental para cada estadio de desarrollo, asociados con el máximo rendimiento del cultivo (Jones *et al.*, 1991). Al respecto, estos niveles pueden variar entre las variedades cultivadas en México y aquellas de Estados Unidos, Canadá y Europa. Hasta la fecha, los datos de la literatura extranjera han sido la base para interpretar los análisis foliares en México, donde solo hay una referencia sobre este tema en la variedad Alpha, la más cultivada en este país (Mendoza-Robles, 1998).

En la literatura relacionada con la definición de estándares de referencia de N total en HMRM (Cuadro 1), se ha observado que a medida que aumenta la edad de la planta, se reduce la concentración de N en la hoja (Parent *et al.*, 1995; Mendoza-Robles, 1998), sin embargo, se observa también una variación importante entre autores, aun para una misma etapa fenológica; por ejemplo, para la Etapa III el rango considerado como óptimo varía desde 4.5 hasta 6.5%, amplitud que podría deberse a que se usaron genotipos diferentes en estos estudios, ó a variaciones entre las fechas de muestreo, aun dentro de un mismo estadio de desarrollo.

Recientemente, con la aparición de equipos portátiles para medir la concentración de N-NO₃ en ECP, se ha recomendado esta técnica para diagnosticar el suministro de N en papa (Cuadro 2), incluso se ha propuesto que esta técnica puede llegar a sustituir al análisis de pecíolo y de la hoja (Martin, 1995). Sin embargo, aunque este procedimiento ha funcionado muy bien en cultivos como brócoli (*Brassica oleracea* Var. Itálica) (Castellanos *et al.*, 2001), hay quienes cuestionan el uso de este procedimiento en papa; por ejemplo, Mackerron *et al.* (1995)

and White, 1992; Errebhi *et al.*, 1998). This necessity can be diagnosed to within a reasonable approximation once the nutrimental reference values are defined for each stage of development associated with the maximum yield of the crop (Jones *et al.*, 1991). In this respect, levels may vary among varieties cultivated in Mexico and others grown in the United States, Canada and Europe. Up to the present, data from foreign publications have formed the basis for interpreting foliar analyses in Mexico, where there is only one report on this topic for the Alpha variety of potato, which is the most widely cultivated in the country (Mendoza-Robles, 1998).

In the literature related to the definition of reference standards for total N in the MRML (Table 1), it has been observed that the concentration of N in the leaf diminishes in proportion to the age of the plant, (Parent *et al.*, 1995; Mendoza-Robles, 1998). However, an important variation among authors is also found, even with respect to the same phenological stage: for example, the range reported as optimum for Phase III varies from 4.5 to 6.5%, an amplitude that might be due to the use of different genotypes in the studies, or to variations among sampling dates even within the same stage of development.

With the recent appearance of portable equipment for measuring N-NO₃ concentrations in ECP, this technique has been recommended for diagnosing the supply of N in potatoes (Table 2); indeed, it has been suggested that this technique could take the place of the analysis of the petiole and leaf (Martin, 1995). However, despite the fact that this procedure has functioned very well with crops such as broccoli (*Brassica Oleracea*, Var. Itálica) (Castellanos *et al.*, 2001), some question its use with potatoes. For example, MacKerron *et al.* (1995) found important differences in N-NO₃ concentrations in ECP with respect to the sampling hour, varieties and treatments, and even from one repetition to another.

Given these antecedents, the objective of the present study was to collaborate in the development of reference levels in MRML for the diagnosis of the need for nitrogen

Cuadro 1. Concentración de nitrógeno reportada como óptima, en la hoja más recientemente madura de papa, según la etapa fenológica.
Table 1. Nitrogen concentration reported as optimum in the most recently matured potato leaf, according to phenological stage.

Etapa [†]	Variedad	Nivel [¶]	Concentración %N [§]	Referencia
I	Alpha	S	6 a 7 (45)	Mendoza-Robles (1998)
II	Alpha	S	5.7 a 6.7 (45)	Mendoza-Robles (1998)
III	Netted Gem y Kennebec	90%MR [¶]	6.5 (29)	Mackay <i>et al.</i> (1966)
III	Irish	S	4.5 a 6.0 (NR)	Jones <i>et al.</i> (1991)
III	14 variedades	MR	5.0 (NR)	Prummel y Barnau-Sijthoff (1984)
III	NR	90%MR	5.0 a 6.5 (42)	Parent <i>et al.</i> (1995)
III	Alpha	S	5.5 a 6.5 (45)	Mendoza-Robles (1998)

[†] I = Crecimiento vegetativo, II = Tuberización y III = Llenado de tubérculo ♦ I = Vegetative growth, II = Tuberization, III = Filling of tubercle.

[¶] S = Suficiente, MR = Máximo rendimiento, NR = No reportado ♦ S = Sufficient, MR = Maximum yield, NR = Not reported.

[§] El dato entre paréntesis corresponde al rendimiento máximo, en t ha⁻¹ ♦ In parentheses, value for maximum yield in t ha⁻¹.

Cuadro 2. Concentración de nitrógeno-nítrico en extracto celular de pecíolo (ECP) de papa, según la etapa fenológica.
Table 2. Nitrogen-nitrate concentration in cellular extract from petioles (ECP) of potatoes, according to phenological stage.

Etapa [†]	Variedad	Nivel [‡]	Concentración mg N-NO ₃ L ⁻¹ [§]	Referencia
I	Sebago	C	1200(NR)	Huett y White (1992)
I	Atlantic y Kennebec	95 a 100MR	1366 a 1444 (NR)	Williams y Maier (1990)
II	Russet Burbank	Cardy	1350 a 1450 (68)	Errebhi <i>et al.</i> (1998)
III	Russet Burbank	Cardy	600 a 1350 (68)	Errebhi <i>et al.</i> (1998)
IV	Atlantic y Kennebec	95 a 100MR	530 a 827 (NR)	Williams y Maier (1990)
IV	Russet Burbank	C	600 (68)	Errebhi <i>et al.</i> (1998)

[†] I = Crecimiento vegetativo, II = Tuberización, III = Llenado de tubérculo y IV = Maduración ♦ I = Vegetative growth, II = Tuberization, III = Filling of tubercle and IV = Maturation.

[‡] C = Crítico, MR = Máximo rendimiento y NR = No reportado ♦ C = Critical, MR = Maximum yield and NR = Not reported

[§] El dato entre paréntesis corresponde al rendimiento máximo, en t ha⁻¹ ♦ In parentheses, value for maximum yield in t ha⁻¹.

encontraron diferencias importantes en la concentración de N-NO₃ en ECP en cuanto a la hora de muestreo, variedades, tratamientos y aún entre repeticiones.

Con estos antecedentes, el objetivo del presente trabajo fue coadyuvar a la generación de los niveles de referencia en la HMRM para el diagnóstico de las necesidades de nitrógeno en el cultivo de papa “Alpha” en la región de Guanajuato, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Papa de la variedad Alpha, se sembró en terrenos de productores, en condiciones de riego por aspersión, en la localidad San Francisco del Rincón, ubicada en el Estado de Guanajuato (20° 37' N y 101° 24' O), durante dos ciclos en 1997: Primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI), en febrero 2 y agosto 28 de 1997, respectivamente. En PV ocurrió una temperatura media de 17.7 °C (mínima de 8.8 °C y máxima de 26.5 °C) mientras que en OI, ésta fue de 17.2°C (mínima de 7.7 °C y máxima de 26.7 °C) Ambos experimentos se establecieron en un suelo *Phaeozem haplico*. En PV presentó un pH (Suelo:Agua 1:2) de 7.0, 1.66% de materia orgánica, 14 mg N-NO₃ kg⁻¹, 28.2 mg P kg⁻¹ (P-Olsen), 988 mg K kg⁻¹, 6055 mg Ca kg⁻¹ y 589 mg Mg kg⁻¹ (extraídos mediante acetato de amonio) (Sumner y Miller, 1996). El suelo del ciclo de OI presentó un pH (Suelo:Agua 1:2) de 6.9, 2.40% de materia orgánica, 16 mg N-NO₃ kg⁻¹, 30.0 mg P kg⁻¹ (P-Olsen), 1157 mg K kg⁻¹, 4684 mg Ca kg⁻¹ y 478 mg Mg kg⁻¹ (extraídos mediante acetato de amonio) (Sumner y Miller, 1996). Para relacionar la concentración de nitrógeno con el rendimiento se aplicaron cuatro dosis de N (67, 180, 240 y 360 kg N ha⁻¹) en el ciclo de PV y cuatro en el ciclo OI, en el cual se detectó la necesidad de incluir un testigo con cero N (0, 125, 250 y 375 kg N ha⁻¹). En ambos ciclos se utilizó como fuente de N, nitrato de amonio, fosfato monoatómico (MAP) y nitrato de calcio. El 40% del N y el K se aplicó a la siembra y 60% a los 22 días después de la emergencia (dde). Todos los tratamientos recibieron P, K, Ca y Mg a dosis de 200 kg P₂O₅ ha⁻¹, 300 kg K₂O ha⁻¹, 50 kg Ca ha⁻¹ y 22 kg Mg ha⁻¹, utilizando como fuentes: nitrato de calcio, fosfato monoamónico, sulfato de potasio, sulfato de magnesio y yeso (este último para incorporar el Ca en el tratamiento testigo, sin suministrar nitrógeno). Todo el fósforo, magnesio y calcio se aplicó al inicio. Se utilizó un diseño

in “Alpha” potato cultivation in the region of Guanajuato, Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Potatoes of the Alpha variety were planted in growers' fields in conditions of aspersion irrigation in the locality of San Francisco del Rincón, situated in the state of Guanajuato (20° 37' N and 101° 24' W) during two cycles in 1997: spring-summer (SS) and autumn-winter (AW), on February 2 and August 28, 1997, respectively. During SS the mean temperature was 17.7 °C (minimum 8.8 °C, maximum 26.5 °C), while during AW the mean temperature was 17.2 °C (minimum 7.7 °C, maximum 26.7 °C). Both experiments were established in *Phaeozem haplico* soil, that during SS presented a pH (Soil:Water 1:2) of 7.0 with 1.66% organic matter, 14 mg N-NO₃ kg⁻¹, 28.2 mg P kg⁻¹ (P-Olsen), 988 mg K kg⁻¹, 6055 mg Ca kg⁻¹ and 589 mg Mg kg⁻¹ (extracted with ammonium acetate) (Sumner and Miller, 1996). In the AW cycle, the soil presented a pH (Soil:Water 1:2) of 6.9 with 2.40% organic matter, 16 mg N-NO₃ kg⁻¹, 30.0 mg P kg⁻¹ (P-Olsen), 1157 mg K kg⁻¹, 4684 mg Ca kg⁻¹ and 478 mg Mg kg⁻¹ (extracted with ammonium acetate) (Sumner and Miller, 1996). In order to relate nitrogen concentration to yield, four dosages of N (67, 180, 240 and 360 kg N ha⁻¹) were applied in the SS cycle, and four others in the AW cycle, at which time the need to include a control with zero N was detected (0, 125, 250 and 375 kg N ha⁻¹). In both cycles the sources of N used were ammonium nitrate, mono-ammonium phosphate (MAP) and nitrate of calcium. 40% of N and all of K were applied during planting and 60% was applied 22 days after emergence (dae). All treatments received P, K, Ca and Mg at dosages of 200 kg P₂O₅ ha⁻¹, 300 kg K₂O ha⁻¹, 50 kg Ca ha⁻¹ and 22 kg Mg ha⁻¹, utilizing calcium nitrate, mono-ammonium phosphate, potassium sulphate, magnesium sulphate and gypsum as sources (the latter in order to incorporate Ca into the control treatment without administering nitrogen). All of the phosphorus, magnesium and calcium were applied at the outset. A random block design with four repetitions was used in the SS cycle, and with five repetitions in the AW cycle, in fields with four 0.90 meter wide by 8 meter long furrows. Second selection medium-sized seed was planted every 22 cm.

en bloques al azar con cuatro repeticiones, en el ciclo de PV, y cinco en el ciclo de OI, en parcelas de cuatro surcos de 0.90 m de ancho por 8 m de longitud. Se empleó semilla de tamaño medio de segunda selección cada 22 cm.

Se obtuvieron muestras foliares de la HMRM (Fontes *et al.*, 1996) colectada entre las 9:00 y las 11:00 horas, de acuerdo con lo propuesto por Vitosh *et al.* (1996), a los 7, 22, 31, 42 y 56 dde en el ciclo de PV, y a los 8, 21, 35, 49 y 63 dde en el ciclo de OI. La parcela útil fue de 16 m². La muestra fue fraccionada en dos partes, una para determinar nitrógeno total en hoja completa (HMRM), después de que ésta fue secada en la estufa a 60 °C (Bremner y Mulvaney, 1982); otra para evaluar nitratos en el extracto celular del peciolo (ECP), obtenido con una prensa hidráulica (Mulvaney, 1996).

Mediante regresión (SAS, 1995) se relacionó el rendimiento y la concentración de nitrógeno en la correspondiente porción de la planta analizada, y utilizando un modelo cuadrático se calculó la concentración de N total en hoja, y de N-NO₃ en ECP, que reflejaba el 95% del rendimiento (Williams y Maier, 1990; Hegney y McPharlin, 2000). Las etapas del cultivo a que las fechas de muestreo foliar correspondían, de acuerdo con la clasificación propuesta por Kleinkopf *et al.* (1979), y para las cuales se definieron los niveles de N, fueron: Etapa I, crecimiento vegetativo, de los 0 a los 15 dde (desarrollo inicial hasta el inicio de formación de estolones); Etapa II, tuberización, de los 16 a los 30 dde (ésta finaliza con la aparición de flores); Etapa III, llenado de tubérculo, que va de los 30 a los 54 dde, y corresponde a la etapa de crecimiento lineal de tubérculo; esta etapa se dividió en dos sub-etapas: IIIa (31 a 42 dde) y IIIb (43 a 54 dde); y finalmente la Etapa IV, que correspondió al crecimiento final de tubérculo y maduración, la cual también se dividió en: IVa (55 a 65 dde) y IVb (56 a 75 dde). En esta etapa final ocurre el cambio de coloración en el follaje (amarillento) y pérdida de hojas y corresponde también a la etapa de "vaciado" del cultivo. El rendimiento de tubérculo se cuantificó por calibres o clases comerciales en una parcela útil de 16 m², los valores de rendimiento total variaron de 42 a 51 t ha⁻¹ en PV y de 26 a 34 t ha⁻¹ en OI; estos datos se presentan en otro artículo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de nitrógeno total en hoja

La mayoría de las funciones cuadráticas obtenidas en ambos ciclos al relacionar el contenido de N total en HMRM (X) con el rendimiento relativo de tubérculo (Y) y su correspondiente coeficiente de determinación (r²), fueron positivos y altamente significativos (p<0.001) (Cuadro 3). Esto permitió definir los niveles de concentración asociados con el 95% del rendimiento máximo de tubérculo para cada ciclo y etapa de muestreo, considerados por otros investigadores (Williams y Maier, 1990; Hegney y McPharlin, 2000) como la concentración óptima del la HMRM, para cada etapa fenológica.

Así, para la Etapa I (0 a 15 dde), los valores de N total en HMRM que resultaron dentro del rango de suficiencia variaron de 6.4 a 7.2%. Estas cifras son ligeramente

Foliar samples from the MRML (Fontes *et al.*, 1996) were taken between 9:00 and 11:00 a.m., according to the proposal of Vitosh *et al.* (1996), at 7, 22, 31, 42 and 56 dae in the SS cycle; and at 8, 21, 35, 49 and 63 dae during the AW cycle. The utilized field was 16 m². The sample was divided into two parts, one of which was used to determine total nitrogen in complete leaves (MRML) after drying them in an oven at 60 °C (Bremner and Mulvaney, 1982); while the other was used to evaluate nitrates in cellular extracts from petioles (ECP), obtained using a hydraulic press (Mulvaney, 1996).

Through regression (SAS, 1995), yield was related to the concentration of nitrogen in the corresponding portion of the plant analyzed and, using a quadratic model, the total concentration of N in the leaf was calculated, as was N-NO₃, which reflected 95% of the yield (Williams and Maier, 1990; Hegney and McPharlin, 2000). The stages of cultivation to which the dates of foliar sampling correspond -according to the classification proposed by Kleinkopf *et al.* (1979) and for which the levels of N were defined- were as follows: Stage I, vegetative growth, from 0 to 15 dae (initial development up to the beginning of the formation of stolons); Stage II, tuberization, from 16 to 30 dae (ending with the appearance of blossoms); Stage III, filling of the tubercle, from 30 to 54 dae, which corresponds to the stage of linear growth of the tubercle, and which was divided into two sub-stages: IIIa (31 to 42 dae) and IIIb (43 to 54 dae); and, finally, Stage IV, that corresponded to the final growth of the tubercle and maturation, and which was also sub-divided into: IVa (55 to 65 dae) and IVb (65 to 75 dae). It is in this final stage that the change of color in the foliage (yellowish) and the loss of leaves occur, and it also corresponds to the stage of the "emptying" of the crop. The yield of tubercles was quantified according to commercial calibers or classes in 16 m² utilized fields. These data are presented in a separate article; but their total yield values varied from 42 to 51 t ha⁻¹ in SS, and from 26 to 34 t ha⁻¹ during AW.

RESULTS AND DISCUSSION

Total nitrogen concentration in leaves

Table 3 shows the quadratic functions obtained in both cycles to relate total N content in MRML (X) to the relative yield of the tubercle (Y) and their corresponding coefficients of determination (r²); which were positive and highly significant (p<0.001) (Table 3). This permitted the definition of levels of concentration associated with 95% of the maximum yield of the tubercle for each cycle and sampling stage considered by other researchers (Williams and Maier, 1990; Hegney and McPharlin, 2000) as the optimum concentration in the MRML for each phenological stage.

Thus, for Stage I (0 to 15 dae), the values for total N in the MRML that appeared within the range of sufficiency varied from 6.4 to 7.2%. These figures are slightly higher than the values of sufficiency (6 to 7%) proposed by Mendoza-Robles (1998) for the same sampling stage and variety in Sinaloa, with yields slightly

Cuadro 3. Relación entre la concentración de N total en la hoja más recientemente madura y rendimiento relativo en papa var. Alpha, y los valores de N total asociados al 95% del rendimiento máximo.
Table 3. Relation between the concentration of total N in the most recently matured leaf and the relative yield of Alpha var. potatoes, with the associated values of total N at 95% of maximum yield.

Etapa [†] (dde [‡])	Función	r ²	N total
Ciclo primavera-verano			
I (7)	$Y = -2.59X^2 + 55.923X - 170.9$	0.74**	7.1
II (22)	$Y = -3.68X^2 + 50.876X - 79.1$	0.67**	6.2
IIIa (31)	$Y = 0.51X^2 + 5.3772X + 43.5$	0.89****	6.1
IIIb (42)	$Y = -0.8918X^2 + 16.714X + 27.0$	0.97****	6.0
IV (56)	$Y = -11.87X^2 + 106.94X - 145.4$	0.86***	4.3
Ciclo otoño-invierno			
I (8)	$Y = -6.25X^2 + 89.792X - 225.7$	0.47*	6.7
II (21)	$Y = -14.91X^2 + 206.52X - 617.6$	0.80***	6.6
IIIa (35)	$Y = -4.425X^2 + 51.817X - 56.2$	0.40 ^{ns}	5.5
IIIb (49)	$Y = -6.98X^2 + 67.897X - 68.2$	0.82***	4.4
IV (63)	$Y = -6.02X^2 + 47.077X + 4.6$	0.67**	3.4

[†] I = Crecimiento vegetativo, II = Tuberización, III = Llenado de tubérculo y IV = Maduración ♦ I = Vegetative growth, II = Tuberization, III = Filling of tubercle and IV = Maturation.

[‡] dde = Días después de emergida la planta ♦ dde = days after plant emergence.

* p<0.05.

** p<0.01.

*** p<0.001.

**** p<0.0001.

^{ns} no significativa ♦ not significant.

mayores a los valores de suficiencia (6 a 7%), propuestos por Mendoza-Robles (1998) para la misma etapa de muestreo y variedad, en Sinaloa y con rendimientos ligeramente menores a los del ciclo de PV y mayores a los del ciclo de OI de nuestro estudio. Es importante destacar que en este estadio tan temprano de desarrollo, la planta aún depende parcialmente de las reservas del tubérculo madre o semilla, por lo que es importante tener en cuenta las características de tamaño y concentración de N en la semilla.

En la Etapa II (16 a 30 dde), los niveles de N total en HMRM que resultaron dentro del rango de suficiencia variaron de 5.8 a 7.0%. Estos valores son similares a los obtenidos por Mendoza-Robles (1998) en Sinaloa (5.7 a 6.7%) para tal etapa de muestreo. Esta pequeña diferencia entre ambos estudios también podría deberse a que las fechas de muestreo no correspondan exactamente en ambos estudios, aun dentro de la misma etapa de desarrollo (Mackerron *et al.*, 1995).

Para la Etapa IIIa (31 a 45 dde), los niveles de N total en HMRM que resultaron dentro del rango de suficiencia variaron de 5.8 a 6.2%. Estos valores corresponden en forma general a los sugeridos (5.5 a 6.5) por Mendoza-Robles (1998) para la Etapa III en el estudio efectuado en Sinaloa y para el mismo cultivar. En cuanto a la Etapa IIIb los niveles de N total en HMRM que resultaron dentro del rango de suficiencia variaron de 5.0 a 6.0%. En esta etapa de muestreo es donde ocurre el descenso rápido en la concentración de N total en la hoja, por lo que posiblemente a esto se debe la gran variación que se

lower than those of the SS cycle, but higher than those of the AW cycle in our study. It is important to emphasize that in this very early stage of development, the plant still depends partially upon the reserves of the “mother” or “seed” tubercle, which means that it is important to take into account characteristics such as size and the concentration of N in the seed.

In stage II (16 to 30 dae), the levels of total N in the MRML that fell in the range of sufficiency varied from 5.8 to 7.0%. These values are similar to those obtained by Mendoza-Robles (1998) in Sinaloa (5.7 to 6.7%) for the same sampling stage. The small difference between the two studies may also be due to the fact that their respective sampling dates do not correspond exactly; not even in the same stage of development (MacKerron *et al.*, 1995).

For stage IIIa (31 to 45 dae), the levels of total N in the MRML that fell in the range of sufficiency varied from 5.8 to 6.2%. These values correspond in general to those suggested by Mendoza-Robles (1998) for stage III (5.5 to 6.5) in his study effectuated in Sinaloa with the same crop. With respect to stage IIIb, the levels of total N in the MRML that fell in the range of sufficiency varied from 5.0 to 6.0%. This is the sampling stage in which the rapid decrease in the concentration of total N in the leaf takes place, which therefore may be responsible for the great variation reported for this sampling stage in the literature, as shown by the data in Table 1 (Jones *et al.*, 1991; Parent *et al.*, 1995). These inconsistencies among authors and the variation that tends to occur among

cita en esta etapa de muestreo en la literatura, tal como se muestra en los datos del Cuadro 1 (Jones *et al.*, 1991; Parent *et al.*, 1995). Estas inconsistencias entre autores y la variación que suele ocurrir entre genotipos confirman la conveniencia de realizar este tipo de estudios en los genotipos cultivados en México; por ejemplo, nuestros datos no concuerdan adecuadamente con otros autores (Prummel y Barnau-Sijthoff, 1984; Jones *et al.*, 1991), pero guardan una gran concordancia con el estudio de Mendoza-Robles (1998) en Sinaloa para la misma variedad.

En la Etapa IV (55 a los 70 dde), y que corresponde prácticamente con el proceso de “vacío” del cultivo, las concentraciones de N consideradas como suficientes, encontradas en este estudio, resultaron de 4.0 a 4.5% para la Etapa IVa y de 3.5 a 4.0% para la Etapa IVb. En la literatura no existen informes en esta etapa tan avanzada de muestreo, ya que solo sirve para saber si el cultivo estuvo bajo restricción de N, pues ya no es posible hacer corrección alguna.

Los datos de la Figura 1 muestran la reducción que ocurre en la concentración de N total en la HMRM, asociada al 95% del rendimiento máximo, a medida que avanza el ciclo del cultivo. Si dicha concentración disminuye por debajo de ese nivel, el rendimiento del cultivo se verá restringido. Esta reducción en la concentración de N, al avanzar el cultivo, ya ha sido citada por otros autores (Huett and White, 1992; Errebhi *et al.*, 1998).

Concentración de nitrato en ECP

La concentración de N-NO₃ en ECP mostró la misma tendencia a disminuir conforme aumenta la edad de la planta (Cuadro 4). Para el ciclo de PV, los valores encontrados como óptimos difieren de los que la bibliografía cita, no ocurriendo así con los datos del ciclo de OI. Los valores determinados como óptimos para el ciclo de OI, variaron de 1,250 a 2,000 mg N-NO₃ L⁻¹ para la Etapa I, valores ligeramente superiores a los de Williams y Maier (1990), los cuales son del orden de 1,400 mg L⁻¹. En la Etapa II los niveles encontrados como óptimos en el presente estudio fueron de 1,400 a 1,700 mg N-NO₃ L⁻¹, y de 800 a 1,300 mg N-NO₃ L⁻¹ para la Etapa III y de 600 a 900 mg L⁻¹ para la Etapa IV, que son ligeramente superiores a los de Errebhi *et al.* (1998) para la var. Russet Burbank.

En esta variable se encontró cierta inconsistencia entre ciclos, lo que coincide con otras referencias en papa (MacKerron *et al.*, 1995). Al ser cultivada en diversos tipos de suelos, climas y altitudes, esta inconsistencia puede atribuirse a diferencias por factores ambientales tales como temperatura, humedad del suelo, luminosidad en el día del muestreo, etc., propiciados por el manejo del cultivo, datos que no se pudieron obtener en

genotypes confirm the importance of undertaking this type of study using genotypes cultivated in Mexico; for example, our data do not concur adequately with the reports of other authors (Prummel and Barnau-Sijthoff, 1984; Jones *et al.*, 1991), though they show a high degree of concordance with Mendoza-Robles' study (1998) in Sinaloa, which used the same variety.

In stage IV (55 to 70 dae), which practically corresponds to the process of emptying the crop, the concentrations of N considered as sufficient found in this study were 4.0 to 4.5% for the stage IVa, and 3.5 to 4.0% for stage IVb. There are no published reports on this very advanced sampling stage, because its only function is to discern whether or not the crop had a restricted amount of N, and it is not possible to make corrections.

The data in Figure 1 show the reduction that occurs in the concentration of total N in the MRML, associated with 95% of maximum yield, as the cultivation cycle advances. If the concentration falls below this level, then the yield of the crop will be limited. This reduction in the concentration of N as cultivation proceeds has been described previously by other authors (Huett and White, 1992; Errebhi *et al.*, 1998).

Nitrate concentration in ECP

The concentration of N-NO₃ in ECP showed the same tendency to diminish as the age of the plant increased (Table 4). For the SS cycle, the values found to be optimum differed from those reported in the bibliography, though the same did not occur with data from the AW

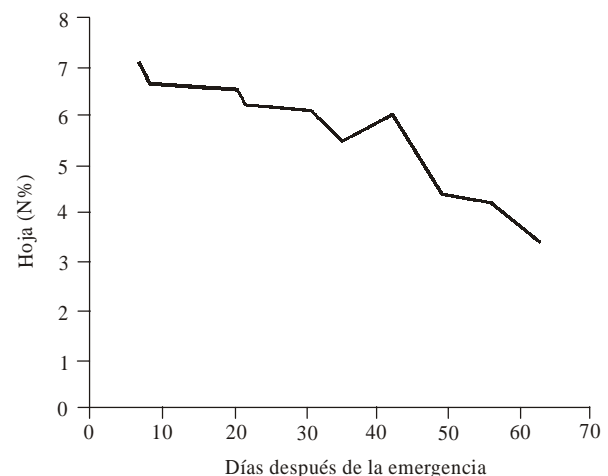


Figura 1. Concentración de N total en la HMRM de papa, var. Alpha, asociada al 95% del rendimiento máximo, durante el ciclo de crecimiento; datos promedio de dos ciclos de cultivo.

Figure 1. Concentration of total N in the MRML of potato, var. Alpha, associated with 95% of maximum yield, during the cycle of growth; data from two cycles of cultivation.

Cuadro 4. Relación entre la concentración de N-NO₃ en ECP de la HMRM y rendimiento relativo en papa, var. Alpha, así como los niveles de N-NO₃ asociados al 95% del máximo rendimiento.
Table 4. Relation between the concentration of N-NO₃ in the ECP of the MRML and relative yield of potatoes, var. Alpha, including the levels of N-NO₃ associated with 95% of maximum yield.

Etapa [†] (dde [¶])	Función	r ²	Conc. N-NO ₃ , mg L ⁻¹
Ciclo primavera-verano			
I (7)	Y=0.00002X ² -0.0106X+73.0	0.63*	1250
IIIa (31)	Y=-0.000003X ² +0.0242X+54.7	0.89****	2750
IIIb (42)	Y=-0.00001X ² +0.0447X+53.9	0.62*	1550
IV (56)	Y=-0.00002X ² +0.0523X+65.7	0.66*	850
Ciclo otoño-invierno			
I (8)	Y=-0.00001x ² +0.0431X+53.9	0.76***	1500
II (21)	Y=-0.00001x ² +0.0436X+59.0	0.74**	1400
IIIa (35)	Y=-0.00002x ² +0.0503X+66.6	0.82***	900
IIIb (49)	Y=-0.00002x ² +0.0412X+72.6	0.86***	800
IV (63)	Y=-0.00004x ² +0.062X+72.1	0.79***	600

[†] I = Crecimiento vegetativo, II = Tuberización, III = Llenado de tubérculo y IV = Maduración ♦ I = Vegetative growth, II = Tuberization, III = Filling of tubercle and IV = Maturation.

[¶] dde = Días después de emergida la planta ♦ dde = days after plant emergence.

* p<0.05.

** p<0.01.

*** p<0.001.

**** p<0.0001.

^{ns} no significativa ♦ ^{ns}= not significant.

ninguno de los dos ciclos. Es importante destacar que el metabolismo de N se puede ver afectado también por deficiencias de otros elementos como el molibdeno (Marshner, 1995). Esta inconsistencia entre ciclos no ha ocurrido en otros cultivos como brócoli (Kubota *et al.*, 1997; Castellanos *et al.*, 2001), en donde esta técnica rápida ha probado ser muy adecuada para fines de diagnóstico de las necesidades de N del cultivo. Los estudios de Cárdenas-Navarro (1999) en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) indican que la concentración de N-NO₃ en el cultivo es altamente influenciada por el contenido de agua en la planta, incluso dentro de un mismo día, lo que limita el uso de esta técnica de diagnóstico. Los resultados del presente estudio indican que esta metodología no mostró un adecuado desempeño en el cultivo de papa y por lo tanto requiere de un estudio más profundo.

En lo general, la información aquí presentada confirma la importancia de disponer de estándares de referencia para todo el ciclo de desarrollo del cultivo para así interpretar correctamente los análisis foliares en función de la etapa fenológica en que los muestreos se realizan. La gran mayoría de los libros y manuales sobre interpretación de análisis foliares sólo disponen de un número limitado de valores de referencia (Reuter y Robinson, 1988; Jones *et al.*, 1991) y si el muestreo no corresponde con dichas etapas, entonces la interpretación no es adecuada y el análisis foliar pierde valor como herramienta de diagnóstico.

The values determined as optimum for this latter cycle varied from 1,250 to 2,000 mg N-NO₃ L⁻¹ for stage I; values that are slightly higher than those of Williams and Maier (1990), which were on the order of 1,400 mg L⁻¹. In stage II, the levels found as optimum in the present study were between 1,400 and 1,700 mg L⁻¹, and between 800 and 1,300 mg N-NO₃ L⁻¹ for stage III. For stage IV, they were from 600 to 900 mg N-NO₃ L⁻¹; all slightly higher than those found by Errebhi *et al.* (1998) for the var. Russet Burbank.

According to the data from this study, a certain inconsistency between cycles was found, which coincided with a large part of the bibliography on potato cultivation (MacKerron *et al.*, 1995). Because potatoes are cultivated in diverse soils, climates and elevations, this inconsistency could perhaps be attributed to differences caused by environmental factors such as temperature, soil moisture, luminosity during the sampling day, etc., propiated by crop management; data that it was not possible to obtain in either cycle. It is important to point out that the metabolism of N can also be affected by deficiencies in other elements, such as molybdenum (Marshner, 1995). This inconsistency between cycles has not occurred with other crops, such as broccoli (Kubota *et al.*, 1997; Castellanos *et al.*, 2001), in which the rapid technique has proven to be very suitable for diagnosing the crop's need for N. Studies by Cárdenas-Navarro (1999) on tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) indicate that the concentration of N-NO₃ in the crop is highly influenced by water content in

CONCLUSIONES

La concentración de nitrógeno total en la HMRM de papa mostró una mayor consistencia entre ciclos que la determinación de N-NO₃ en ECP; de hecho, los valores obtenidos como de suficiencia mostraron un buen grado de consistencia con los de otro estudio realizado con la misma variedad en el Estado de Sinaloa, por otros autores. Los niveles de suficiencia de N sugeridos en HMRM son: 6.4 a 7.2, 5.8 a 7.0, 5.8 a 6.2, 5.0 a 6.0, 4.0 a 4.5 y de 3.5 a 4.0%, para las Etapas I, II, IIIa, IIIb, IVa y IVb. Las concentraciones de nitratos en ECP fueron inconsistentes entre ciclos, por lo que su uso como técnica de diagnóstico en el cultivo de papa es cuestionada.

La variedad Alpha muestra niveles óptimos de N normalmente mayores que los que se reportan en otras variedades en la literatura, para la mayoría de las etapas de muestreo.

AGRADECIMIENTOS

Al Sistema Regional de Investigación Miguel Hidalgo del CONACyT (SIHGO), Proyecto Alim. 2/97, quien financió parcialmente este proyecto de investigación y a la Fundación Guanajuato Produce, A.C.

LITERATURA CITADA

- Bremner, J. M., and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. *In*: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis. Agronomy 9, Part 2*, 2nd ed. ASA, SSSA. pp: 595-624.
- Castellanos, J. Z., S. Villalobos, J. A. Delgado, J. J. Muñoz-Ramos, A. Sosa, P. Vargas, I. Lazcano, M. E. Alvarez, and S. A. Enriquez. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in Central Mexico. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 1265-1292.
- Cárdenas-Navarro, R., S. Adamowicz, and P. Robin. 1999. Nitrate accumulation in plants: a role for water. *J. Exp. Bot.* 50: 613-624.
- Errebhi, M., C. J. Rosen, and D. E. Birong. 1998. Calibration of a petiole sap nitrate test for irrigated "Russet Burbank" potato. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 29(1-2): 23-35.
- Fontes P., C. R., R. A. Jr. Reis, and R. G. Pereira P. 1996. Critical potassium concentration and potassium/calcium plus magnesium ratio in potato petioles associated with maximum tuber yields. *J. Plant Nut.* 19:657-667.
- Hegney, M. A., and I. R. McPharlin. 2000. Response of summer-planted potatoes to levels of applied nitrogen and water. *J. Plant Nut.* 23: 197-218.
- Huett, D. O., and E. White. 1992. Determination of critical nitrogen concentrations of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Sebago) grown in sand culture. *Aust. J. Exp. Agric.* 32: 765-772.
- Jones Jr., J. B., B. Wolf, and H. A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro Macro Pub. Athens. pp: 39-43,99-104, 178-187.
- Kleinkopf, G. E., D. T. Westermann, and C. G. Painter. 1979. Nitrogen effects and Russet Burbank potatoes growth. *In*: Proc. 30th Annual Northwest Fertilizer Conf., Spokane, WA. 17-19 July. Northwest Plant Food Association, Portland, OR. pp: 143-150.
- Kubota, A., T. L. Thompson, T. A. Doerge, and R. E. Godin. 1997. A petiole sap nitrate test for broccoli. *J. Plant Nut.* 20: 669-682.

the plant, even on the same day. This limits the use of this diagnostic technique. The data found in this study indicate that this methodology did not give an adequate performance in the case of potato cultivation and thus requires more profound study.

These results confirm the importance of having standards of reference for the crop's entire cycle of development, in order to be able to interpret correctly foliar analysis as a function of the stage in which samples are taken. As the great majority of books and manuals on the interpretation of foliar analysis are based on only a limited number of reference values (Reuter and Robinson, 1988; Jones *et al.*, 1991), if sampling does not correspond to those stages, then an adequate interpretation cannot be reached, and foliar analysis loses value as a diagnostic tool.

CONCLUSIONS

The concentration of total nitrogen in the MRML of potatoes showed a greater inconsistency between cycles than the determination of N-NO₃ in ECP and, in fact, the values obtained for sufficiency showed a good degree of consistency with those reported in other studies in the state of Sinaloa by other authors who used the same variety of potato. On the basis of the studies carried out, the suggested sufficiency levels of N in MRML are as follows: 6.4 to 7.2, 5.8 to 7.0, 5.8 to 6.2, 5.0 to 6.0, 4.0 to 4.5 and 3.5 to 4.0%, for stages I, II, IIIa, IIIb, IVa and IVb, respectively. The concentrations of nitrates in ECP were inconsistent between cycles, and for this reason their use as a diagnostic technique in potato cultivation is doubtful, in light of the data from the present study in which this methodology did not demonstrate an adequate performance and, therefore, requires more profound study.

The Alpha variety shows optimum levels of N normally higher than those reported in the literature for other varieties in the majority of the sampling stages.

—End of the English version—



- Mackay, D. C., C. R. MacEachern, and R. F. Bishop. 1966. Optimum nutrient levels in potato leaves (*Solanum tuberosum* L.). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 73-76.
- MacKerron, D. K. L., M. W. Young, and H. V. Davies. 1995. A critical assessment of the value of petiole sap analysis in optimizing the nitrogen nutrition of the potato crop. *Plant and Soil* 172: 247-260.
- Marshner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press. New York. pp: 231-255.
- Martin, R. J. 1995. Evaluation of rapid field methods for determining the nitrogen status of potato crops. *Proc. Ann. Conf. Agron. Soc. New Zealand* 25: 91-95.

- Mendoza-Robles, J. L. 1998. Nutrición del cultivo de la papa en el norte de Sinaloa. Folleto CEVAF-INIFAP 13: 1-16.
- Mulvaney, C. S. 1996. Nitrogen-inorganic forms. *In*: Sparks, D. L. (ed.), and J. M. Bartels (Manag. ed.). *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods Part. 3.* Soil Sci. Soc. Am., Inc. Am., Soc. Agron. Madison, Wis. USA. pp: 1155-1159.
- Parent, L. E., M. Poirier, and M. Asselin. 1995. Multinutrient diagnosis of nitrogen status in plants. *J. Plant Nut.* 18: 1013-1025.
- Prummel, J., and P. V. Barnau-Sijthoff. 1984. Optimum phosphate and potassium levels in potato tops. *Fertilizer Res.* 5: 203-211.
- Reuter, D. J., and J. B. Robinson. 1988. *Plant Analysis, An Interpretation Manual.* Inkata Press. Sidney, Aust. pp: 148-189.
- SAS Institute. 1995. ANOVA. *In*: SAS User Guide: Statistics. Cary, N.C. pp: 113-138.
- Sumner, M. E., and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *In*: Sparks, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Jhonston, and M. E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* SSSA, Book Series 5. pp: 1201-1229.
- Vitosh, M. L., G. H. Silva, T. M. Hood and B. Jones J. Jr. (eds.) 1996. Factors affecting petiole sap nitrate tests. *In*: *Soil and Plant Analysis in Sustainable Agriculture and Environment.* pp: 643-658.
- Williams, C. M. J., and N. A. Maier. 1990. Determination of the nitrogen status of irrigated potato crops. II. A simple on farm quick test for nitrate-nitrogen petiole sap. *J. Plant Nut.* 13: 985-993.