

Nitrato en pecíolo e índice verde en estratos del canopeo del cultivo de papa

MARTÍNEZ J.P.¹; GILETTO, C.M.¹; ECHEVERRÍA, H.E.¹

RESUMEN

La concentración de nitrato en los pecíolos (NBS) y el Índice Verde (IV) medidos en las hojas inferiores del canopeo de papa podrían usarse como alternativa de los métodos tradicionales de evaluación del estado nutricional nitrogenado. Se realizaron dos ensayos con las variedades de papa Innovator y Umatilla Russet durante la campaña agrícola 2006-2007. Se evaluaron cuatro tratamientos de fertilización con nitrógeno (N) (N0=testigo, N1=62 kg ha⁻¹; N2=125 kg ha⁻¹ y N3=250 kg ha⁻¹). En estadíos iniciales del ciclo se determinó la NBS y el IV en el estrato superior e inferior del canopeo y se los relacionó con la dosis de N y el N total acumulado por el cultivo. La NBS determinó con mayor precisión el estatus nitrogenado en etapas tempranas del ciclo que el IV. La respuesta de NBS a la dosis de N y al N acumulado varió con el estrato del canopeo; siendo más sensible en el estrato inferior y menor en el superior. El IV no varió con la oferta de N ni entre estratos del canopeo. Por lo tanto, la determinación del IV en las hojas inferiores no mejoró la sensibilidad de este método de diagnóstico. En cambio, el NBS de las hojas inferiores del canopeo, por demostrar mayor sensibilidad a los cambios en el aporte de N y en la materia seca total que en las hojas superiores, podría ser utilizada como método promisorio para diagnosticar el estatus nitrogenado en papa.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, variedades de papa, nitrógeno.

ABSTRACT

The nitrate concentration in the petiole (NDB) and green index (GI), measured at early stages of the cycle in the lower layer, may be used as an alternative to the traditional methods to evaluate nitrogen (N) nutritional status. Two experiments were carried out using the varieties of potato Innovator and Umatilla Russet during the 2006-2007 growing season. Four N treatments (N0=control; N1=62 kg ha⁻¹; N2=125 kg ha⁻¹ y N3=250 kg ha⁻¹) were evaluated in each one of them. At early stages of the cycle, the NDB and the GI in upper and lower layer of the canopy were determined. These two indexes were then related to N rate and total N accumulated by the crop. The NDB determined the N nutritional status in early stages of the cycle with higher precision than GI. The response of NDB to N rate and N accumulated varied among canopy layers, being higher in the lower one. The GI was not affected by N doses or canopy layers. Therefore, the determination of GI in the lower leaves did not improve the sensibility of this diagnostic method. However, as NDB in the lower layer showed a higher sensibility to changes in N availability and total dry matter relative to the upper layer, it can be used as a promising method to diagnose N nutritional status in potato crops.

Keywords: *Solanum tuberosum*, potato variety, nitrogen.

¹Unidad Integrada Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Universidad Nacional Mar del Plata (UNMdP), Facultad de Ciencias Agrarias (FCA). Ruta 226, km 73,5 Balcarce. Correo electrónico: cmgiletto@balcarce.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

El estado de nutrición nitrogenado del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) tradicionalmente se evalúa a través de la determinación de la concentración de Nitrato en Base Seca (NBS) en el pecíolo de la primera hoja totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo y del Índice Verde (IV) en el folíolo terminal de la misma hoja (Booij *et al.*, 2000). Vitosh y Silva (1996) determinaron que para obtener el máximo rendimiento, los niveles de NBS deben ser superiores a 17 y 11 g kg⁻¹ para las etapas de inicio de tuberización y de llenado de tubérculos; respectivamente. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Rattín *et al.* (2004) y Giletto *et al.* (2006) establecieron la evolución durante el ciclo de NBS y fijaron los umbrales de suficiencia sólo para la etapa de llenado de tubérculos. En los estadios tempranos del ciclo, el NBS no se asoció con la oferta de N ni con el rendimiento del cultivo. Booij *et al.* (2000) recomendaron que durante las primeras 7 u 8 semanas del cultivo, los valores de IV debieran ser superiores a 40 – 41 unidades SPAD, y Haverkort y MacKerron (2000) propusieron como nivel crítico 43 unidades SPAD, para el inicio de tuberización. En el sudeste bonaerense, el IV permitió estimar aceptablemente el estado de nutrición nitrogenada en papa al final del ciclo (Giletto, 2002), coincidiendo con lo determinado en maíz y trigo (Echeverría y Studdert, 2001). El IV, independientemente de la disponibilidad de N, es afectado por diversos factores como el cultivar, el estado de crecimiento, el tipo de suelo, las enfermedades foliares y las condiciones ambientales. Para minimizar la influencia causada por los mismos se recomienda relativizar el IV a un índice de suficiencia de N (ISN-IV) (Olivier *et al.*, 2006). Snapp *et al.* (2002) determinaron que el ISN-IV debe ser superior al 96% a lo largo del ciclo del cultivo para un adecuado estado nutricional y, si fuera menor a éste umbral, recomiendan corregir la deficiencia fertilizando con N. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Díaz (2008) estableció umbrales de suficiencia de N sólo para la etapa de llenado de tubérculos, obteniendo valores de 93,7 y 91% para los 89 y 103 días después de la plantación (DDP), respectivamente. Aún no se han podido establecer asociaciones estrechas entre la concentración de nitrato, el IV y/o ISN-IV con el rendimiento relativo en etapas tempranas del ciclo, como para determinar el umbral o rango crítico en papa durante el período en el que es posible intervenir para corregir la deficiencia de N (Giletto, 2002; Giletto *et al.*, 2006; Díaz, 2008).

Una alternativa para mejorar la predicción del estado nutricional en esta etapa del ciclo, podría ser que al muestreo tradicional se lo reemplace con la determinación del NBS e IV en otra hoja más sensible a los cambios en la disponibilidad de N. Millard y Catt (1988) concluyeron que el nitrato medido en las hojas del estrato inferior fue más sensible a los cambios en el aporte de N que el medido en hojas del estrato superior. MacKerron *et al.* (1995) reportaron que ante dosis de N por encima del óptimo, el exceso de N es almacenado como nitrato en las hojas inferiores. Por lo tanto, muestrear la primera hoja totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo en etapas

tempranas del ciclo probablemente no sea suficiente para detectar diferencias entre plantas que crecen con diferente oferta de N. Por esta razón, se plantea como hipótesis que el NBS y el IV determinados en las hojas del estrato inferior del canopeo del cultivo de papa son más sensibles a los cambios en la disponibilidad de N que el NBS y el IV determinados en las hojas del estrato superior. Para probar esta hipótesis, se plantea como objetivo estimar el estatus nitrogenado en la etapa de crecimiento vegetativo del cultivo de papa utilizando el NBS y el IV determinado en las hojas inferiores del canopeo y comparar esta estimación con la obtenida a partir de la determinación de estos indicadores en las hojas superiores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos de fertilización en papa, uno con la variedad de ciclo corto Innovator (INN) (110-120 días) (Caldiz, 2004) y el otro con la variedad de ciclo intermedio Umatilla Russet (UR) (130 días) (Caldiz, 2005). Se realizaron durante 2006-2007 en un lote del campo experimental de McCain, en Balcarce (37°45' S; 58°18' W, 130 msnm), Buenos Aires, en un suelo Argiudol típico sin limitaciones en su capacidad de uso. En la tabla 1 se resumen algunas características del suelo al momento de la plantación y del manejo del cultivo.

La preparación del suelo se realizó con rastra de discos, cincel y vibrocultivador y posteriormente, antes que el cultivo alcance el 100% de cobertura, se realizó el aporque. Durante el desarrollo del cultivo se controlaron plagas y malezas, con métodos químicos y combinados mecánicos y químicos. Se hicieron aplicaciones periódicas de fungicidas para la prevención de enfermedades. Se regó desde mediados de noviembre hasta mediados de febrero con equipo de avance frontal. El diseño experimental fue en bloques completos y aleatorizados (BCA) con tres repeticiones y las unidades experimentales fueron parcelas de 12 surcos distanciados a 0,85 m y de 12 m de longitud, con cuatro tratamientos de fertilización (tabla 2). La combinación de dosis y momento de fertilización permitió contar con un amplio rango de disponibilidad de N a lo largo del ciclo del cultivo. La fuente de N fue urea granulada [(NH₂)₂CO].

Al inicio del ciclo se midió el índice verde (IV) en el folíolo terminal de la primera (PH) y última (UH) hoja totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo, en 30 plantas seleccionadas al azar. Se utilizó el medidor de clorofila Minolta SPAD 502. Las fechas de muestreo fueron 19/12, 26/12, 4/1 correspondientes a los 44, 53, 60 días después de plantación (DDP). En llenado de tubérculos (18/1, 2/2 correspondientes a los 73 y 97 DDP) se midió el IV sólo en la PH como lo recomienda la técnica tradicional. Se cosecharon los pecíolos de la PH y la UH de 30 plantas al azar de cada unidad experimental, se secaron en estufa a 60 °C y se determinó el NBS. Las fechas de muestreo fueron 21/12 y 3/1 correspondientes a los 46 y 59 DDP. En muestreos posteriores (18/1 y 8/2 correspondientes a los

Características del suelo	
Materia orgánica	4,2 g 100 g ⁻¹
pH	6,0
P (0-20 cm)	30 mg kg ⁻¹
N-NO ⁻³ (0-60 cm)	39 kg ha ⁻¹
S-SO ₄ ⁻² (0-60 cm)	35 kg ha ⁻¹
N potencialmente mineralizado ¹	151 kg ha ⁻¹
Ca ⁺²	11,1 cmol _c kg ⁻¹
Mg ⁺²	2,0 cmol _c kg ⁻¹

Datos de manejo	
Lluvias + riego al 8/2/07 (95 DDP)	649 mm
Fecha de plantación y de aporte para ambas variedades	5/11 y 10/12/06
Densidad	4,5 cortes por metro lineal
P en plantación (superfosfato triple 0-20-0)	180 kg ha ⁻¹
S en plantación (Sulpomag 20% de S)	80 kg ha ⁻¹

Tabla 1. Características del suelo previo a la plantación y del manejo del cultivo de papa en ambos ensayos.

¹Estimado según la metodología propuesta por Echeverría y Bergonzi (1995).

Nitrógeno aplicado				
Tratamiento	Pre-plantación	Plantación	Aporte	Total
	----- kg N ha ⁻¹ -----			
N0	-	-	-	-
N1	-	31	31	62
N2	-	46	79	125
N2	46	92	112	250

Tabla 2. Dosis y momento de aplicación de N.

74 y 95 DDP) sólo se cosechó la PH de 30 plantas al azar de cada unidad experimental, de la cual se usó el pecíolo para la determinación de NBS. Los muestreos siempre se realizaron por la mañana para evitar variaciones debidas a la hora de muestreo (Haverkort y MacKerron, 2000). Para la determinación del NBS, se molieron los pecíolos en malla de 1 mm, y se determinó la concentración de nitrato siguiendo la técnica colorimétrica del ácido fenoldisulfónico (Keeney y Nelson 1982). Se realizaron dos muestreos de planta en la etapa de llenado de tubérculos, uno cuando el cultivo alcanzó la máxima acumulación de N en planta entera (95 DDP) y el otro próximo a madurez fisiológica (116 DDP). En cada muestreo se cosecharon las plantas ubicadas en un metro lineal de un surco de cada unidad

experimental. Cada muestra se la separó en parte aérea y tubérculos y se determinó la materia seca de cada fracción. Para esto último, las dos fracciones de la planta se llevaron a estufa a 60 °C por 24 hs o hasta peso constante. En las muestras secas y molidas tomadas a los 95 DDP se determinó el N total por el método Kjeldhal (Nelson y Sommers, 1973). Con estos datos luego se determinó el N total acumulado (NTac).

Se calculó el índice de suficiencia de N (ISN-IV) como la relación entre el IV de cada unidad experimental y la mayor lectura promedio del tratamiento. Se estableció la asociación entre NBS e ISN-IV determinados en la PH y UH a los 46 y los 59 DDP con la dosis de N y con el N

total acumulado por el cultivo a los 95 DDP. Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS) (SAS, Institute, 1988) y las medias de cada tratamiento fueron comparadas mediante la prueba de comparación de medias LSD ($p < 0,05$). Las ecuaciones de las funciones lineales se obtuvieron utilizando el procedimiento PROC N-LIN del programa SAS. Para determinar si existen diferencias significativas ($p < 0,1$) entre los parámetros de las regresiones lineales, se desarrolló un modelo de regresión conteniendo variables Dummy (Littell *et al.*, 1991) y se realizaron los test de paralelismo y coincidencia, utilizando el procedimiento PROC REG incluido en las rutinas del programa Statical Analysis System (SAS Institute 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ambas variedades, el NBS determinado en la PH fue máximo en los estadios iniciales de desarrollo y luego disminuyó gradualmente a medida que avanzó el ciclo del cultivo coincidiendo con otros trabajos (Gianquinto y Bona, 2000; Saluzzo, 2001; Giletto *et al.*, 2006) (tabla 3). La concentración de NBS-PH no varió ($p > 0,05$) entre tratamientos en los estadios iniciales del ciclo (46 DDP), y se ubicó en el rango de inadecuado ($6-17 \text{ g kg}^{-1}$) para INN y en el de adecuado ($17-22 \text{ g kg}^{-1}$) para UR, según los umbrales establecidos por Vitosh y Silva (1996). A partir

de los 59 DDP, la concentración de NBS en la variedad INN varió ($p < 0,05$) por efecto de la dosis de N, registrándose los valores más elevados en N3, los menores en N0, e intermedios en N1 y N2. Mientras que, en la variedad UR las diferencias entre los tratamientos comenzaron a manifestarse en estadios más avanzados del ciclo del cultivo (a partir de los 74 DDP), registrándose los mayores valores en N2 y N3 y los menores en N0 y N1. Durante el período de tuberización (59 DDP) y llenado de tubérculos (74 DDP), el NBS-PH en las dos variedades, fue inferior al rango de adecuado ($11-15 \text{ g kg}^{-1}$) en los tratamientos con menor fertilización, mientras que el tratamiento N3 se ubicó en ese rango. A la madurez del cultivo (95 DDP), tanto en INN como en UR la concentración de NBS se ubicó en el rango de inadecuado ($4-6 \text{ g kg}^{-1}$) en el tratamiento N3, mientras que los tratamientos menos fertilizados se ubicaron en el rango de déficit ($< 4 \text{ g kg}^{-1}$). Las diferencias entre las variedades en NBS durante el ciclo fueron debidas a que UR es de ciclo más largo que INN. Los resultados obtenidos manifiestan que el NBS estableció el ordenamiento de los niveles nutricionales de los tratamientos en función de la dosis de N a lo largo del ciclo del cultivo, siendo más evidente la diferencia durante la etapa de llenado de tubérculos. Resultados similares, en los que a partir del inicio de tuberización se estableció respuesta a la fertilización nitrogenada, fueron determinados en el sudeste de la provincia de Buenos Aires con variedades para consumo fresco e industria (Giletto, 2002; Rattín *et al.*, 2004; Giletto *et al.*, 2006).

		Nitrato en base seca de peciolo			
Variedad	Tratamiento	(g kg ⁻¹)			
		DDP			
		46	59	74	95
INNOVATOR	N0	13,5 a	9,3 b	3,5 c	1,0 c
	N1	15,5 a	10,4 b	8,1 b	0,9 c
	N2	16,5 a	10,7 b	9,6 a b	3,1 b
	N3	16,1 a	14,3 a	12,0 a	5,4 a
	CV	13,1	10	14,4	27,3
	R ²	0,64	0,88	0,94	0,93
UMATILLA	N0	17,7 a	12,5 a	2,0 c	1,4 b
RUSSET	N1	18,8 a	14,8 a	6,8 b	1,4 b
	N2	19,1 a	14,7 a	11,1 a	4,7 a
	N3	18,4 a	18,5 a	12,5 a	5,7 a
	CV	9,6	20,5	14,5	35,9
	R ²	0,53	0,52	0,96	0,84

Tabla 3. Concentración de nitrato en base seca de peciolo en la primera hoja totalmente expandida desde el tope del canopeo (NBS-PH), para cada tratamiento (N0, N1, N2, N3) y fecha de muestreo en las variedades Innovator y Umatilla Russet. DDP = días después de la plantación. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos para una misma fecha de muestreo, según la prueba DMS ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variación y R² = coeficiente de regresión.

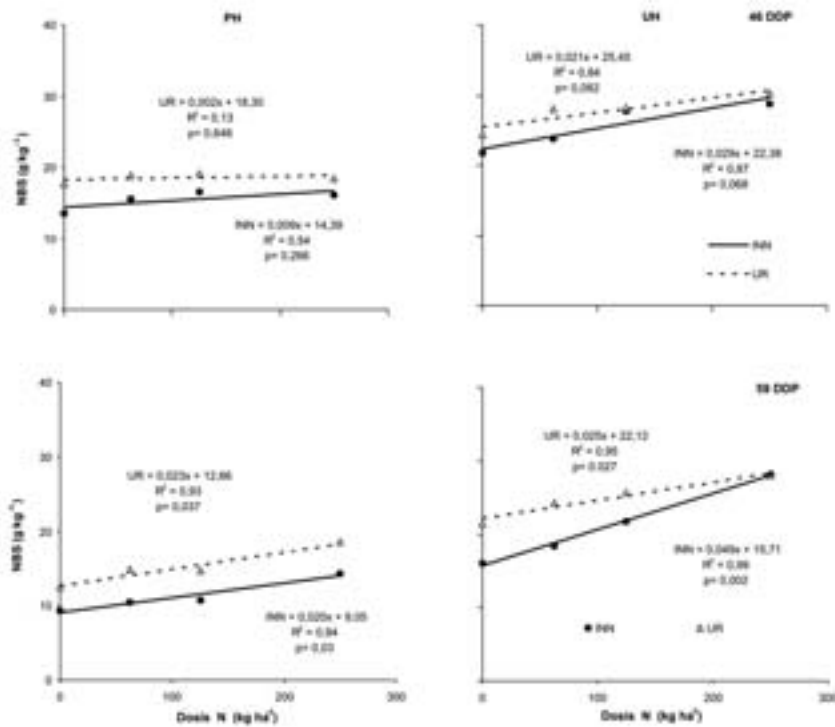


Figura 1. Relación entre la concentración de nitrato en base seca de peciolo (NBS) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal, desde el tope del canopeo, con la dosis de N a los 46 y 59 DDP en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

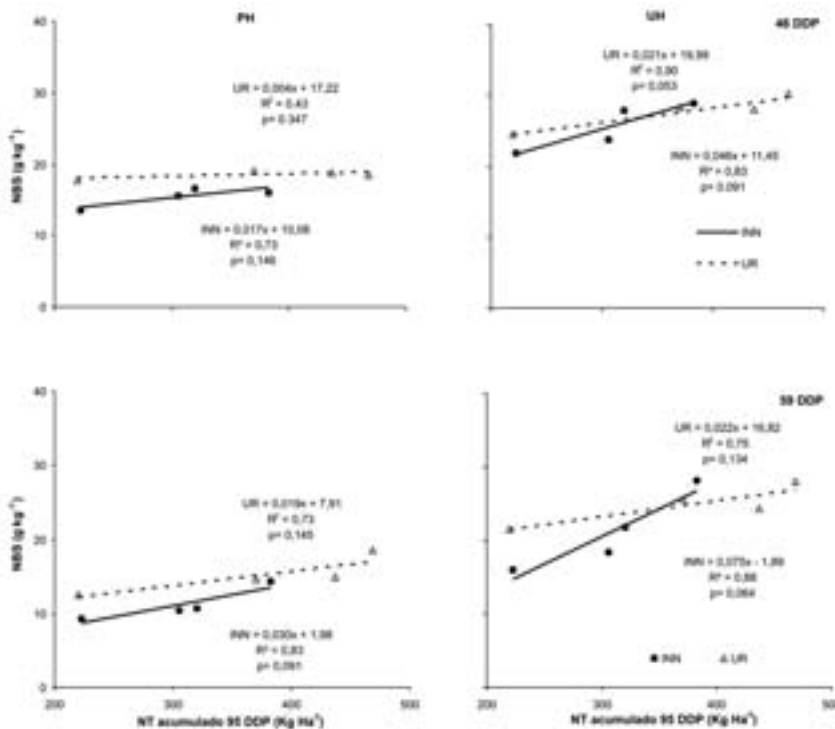


Figura 2. Relación entre la concentración de nitrato en base seca de peciolo (NBS) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal, desde el tope del canopeo, a los 46 y 59 DDP, con el nitrógeno total acumulado en planta y tubérculo (NT acumulado) a los 95 DDP en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

		Índice verde				
Cultivar	Tratamiento	(SPAD)				
		DDP				
		44	53	60	73	97
INNOVATOR	N0	49,8 a	47,5 a	43,8 a	37,3 b	30,0 b
	N1	49,2 a	47,2 a	43,1 a	38,2 b	31,6 b
	N2	50,8 a	49,0 a	43,0 a	37,8 b	31,0 b
	N3	51,8 a	49,6 a	44,3 a	43,5 a	37,0 a
	CV	2,9	4,8	3,2	3,6	4,8
	R ²	0,48	0,52	0,25	0,88	0,88
UMATILLA	N0	45,3 a	45,4 a	41,5 a	38,3 c	33,1 b
RUSSET	N1	44,9 a	44,8 a	41,2 a	40,4 b	35,1 a b
	N2	44,9 a	44,7 a	42,5 a	42,5 a	37,1 a
	N3	45,3 a	46,4 a	42,9 a	42,0 a b	37,5 a
	CV	4,3	4,4	2,7	2,4	3,9
	R ²	0,24	0,78	0,58	0,87	0,77

Tabla 4. Índice verde de la primera hoja totalmente expandida desde el tope del canopeo (PH), para cada tratamiento (N0, N1, N2, N3) y fecha de muestreo en las variedades Innovator y Umatilla Russet. DDP= días después de plantación. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos para una misma fecha de muestreo, según la prueba DMS ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variación y R² = coeficiente de regresión.

Al relacionar el NBS-PH y el NBS-UH con la dosis de N a los 46 y 59 DDP, se estableció que el NBS-PH aumentó ($p < 0,1$) con la dosis de N recién a los 59 DDP en las dos variedades (figura 1). Mientras que, el NBS-UH aumentó ($p < 0,1$) por efecto de la dosis de N en ambas fechas de muestreo y variedades. Además, el NBS-UH presentó mayores valores que NBS-PH, lo que supone menor error experimental en la determinación. La respuesta de la concentración de NBS a la dosis de N, en ambos estratos del canopeo, fue similar en las dos variedades. Sin embargo, se determinaron diferencias entre los estratos en la respuesta de NBS a la dosis de N, siendo mayor en la UH y menor en la PH. Esto fue debido a que ante una oferta de N por encima del óptimo, el exceso de N es almacenado como nitrato principalmente en las vacuolas de las hojas inferiores. Mientras que, ante una deficiencia de N, el nitrato almacenado en las hojas inferiores se trasloca hacia las superiores en activo desarrollo. Estos resultados coincidieron con los determinados por Millard y Catt (1988) y MacKerron *et al.* (1995), quienes concluyeron que las hojas del estrato inferior fueron más sensibles a los cambios por el aporte de N que las hojas del estrato superior.

La figura 2 muestra la relación entre el NBS de ambos estratos del canopeo con el N total acumulado por el cultivo a los 95 DDP (NTac). El NBS-PH aumentó ($p < 0,1$) con el incremento de la cantidad de NTac sólo en INN a los 59 DDP. Mientras que, el NBS-UH aumentó ($p < 0,1$) en ambas fechas de muestreo en las dos variedades, excepto UR a los 59 DDP. Por otro lado, la respuesta del

NBS al NTac fue mayor en INN que en UR, siendo más evidente en la UH que en la PH. Probablemente, esto sea debido a que las variedades de papa difieren en la tasa de crecimiento y acumulación de N en planta (Gianquinto y Bona, 2000; Giletto *et al.*, 2007). Estos resultados coinciden con los obtenidos al relacionar el NBS con la dosis de N y confirman que el NBS determinado en las hojas del estrato inferior estima el nivel de N en planta en forma más temprana que las hojas del estrato superior, además de ser más sensible a la diferente oferta de N que tuvo el cultivo.

En las etapas iniciales del ciclo del cultivo (44, 53 y 60 DDP) los valores de IV-PH en las dos variedades no variaron ($p > 0,05$) por efecto de la dosis de N (tabla 4) y fueron superiores al umbral de 42 unidades SPAD propuesto por Booi *et al.* (2000); excepto los tratamientos N0 y N1 en UR a los 60 DDP, que presentaron valores ligeramente inferiores. Después de los 73 DDP, el IV varió significativamente por efecto de la dosis de N, determinándose que los tratamientos que recibieron las menores dosis de N tuvieron los más bajos valores de IV y fueron menores al umbral de suficiencia. Estos resultados coincidieron con los determinados en el sudeste bonaerense en maíz y papa (Echeverría y Studdert, 2001; Giletto *et al.*, 2010); quienes establecieron que el IV fue más sensible para determinar diferencias debidas a la oferta de N en etapas avanzadas del ciclo. Por otro lado, el IV detectó las diferencias nutricionales entre los tratamientos más tarde en el ciclo que el NBS, coincidiendo con lo señalado por Wu *et al.*, (2006).

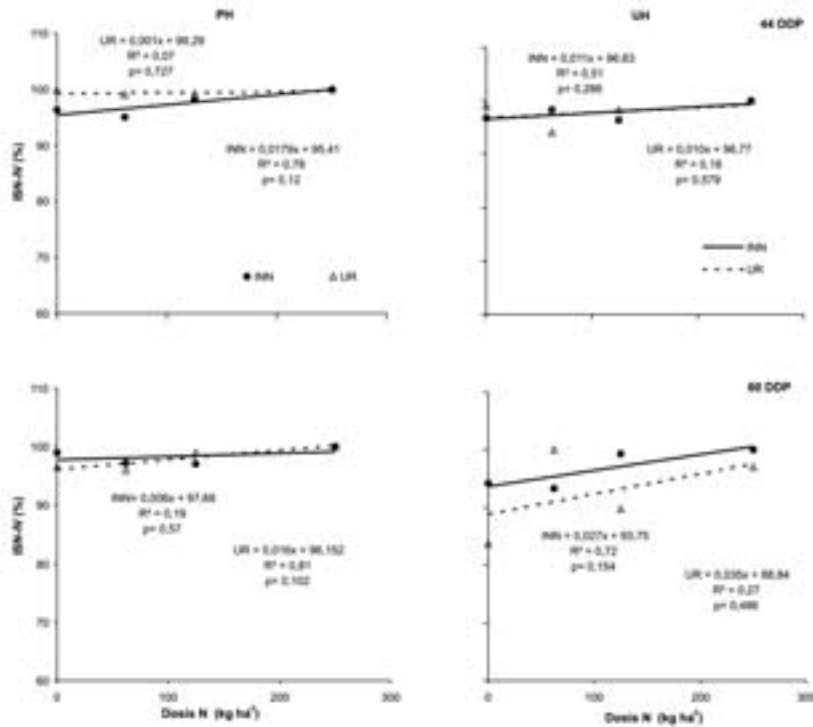


Figura 3. Relación entre índice de suficiencia de nitrógeno del índice verde (ISN-IV) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo con la dosis de N a los 44 y 60 DDP, en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

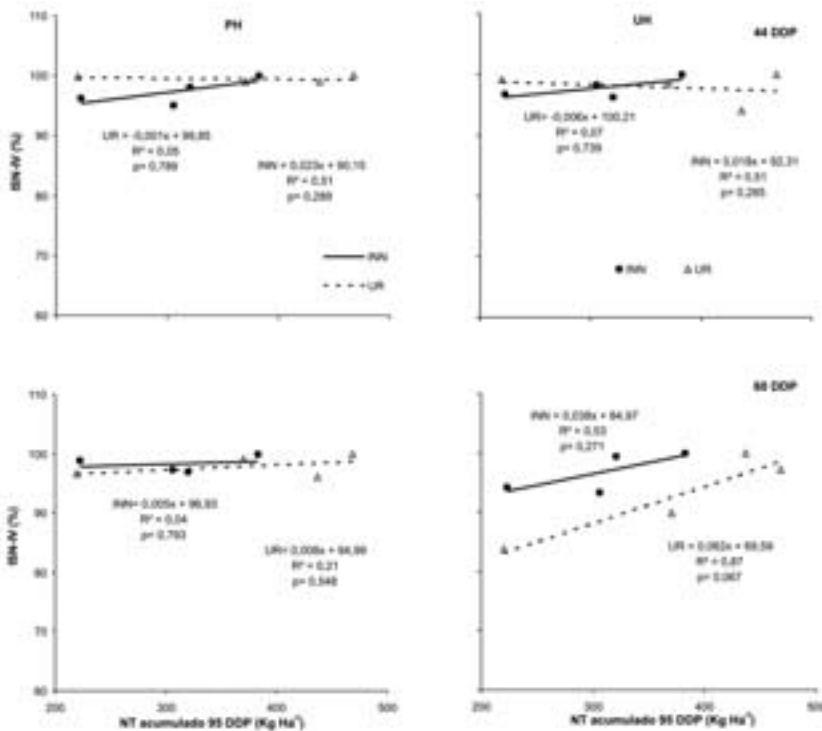


Figura 4. Relación entre índice de suficiencia de nitrógeno del índice verde (ISN-IV) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal, desde el tope del canopeo, a los 46 y 59 DDP, con el nitrógeno total acumulado en planta y tubérculo (NT acumulado) a los 95 DDP en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

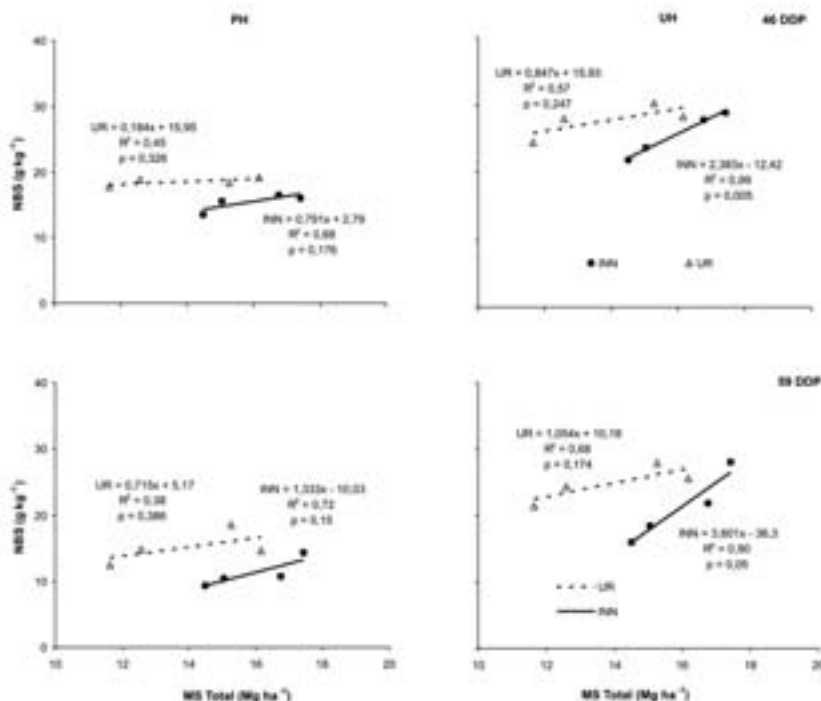


Figura 5. Relación entre la concentración de nitrato en base seca de peciolo (NBS) en la primera (PH) y última hoja (UH) totalmente expandida del tallo principal desde el tope del canopeo a los 46 y 59 DDP, con la materia seca total al final del ciclo, en Innovator (INN) y Umatilla Russet (UR). Se considera la regresión significativa cuando ($p < 0,1$). Cada punto corresponde al promedio de tres repeticiones.

El IV fue relativizado a un ISN-IV para minimizar el efecto de la variedad, estado de crecimiento y condiciones ambientales y destacar la eventual deficiencia de N. El ISN-IV de cada estrato del canopeo en general no varió con la dosis de N (figura 3) ni con el NTac (figura 4) en ambas fechas de muestreo. La respuesta del ISN-IV al NTac, en ambos estratos del canopeo, fue similar en ambas variedades. Por lo tanto, el ISN-IV determinado en estadios iniciales del desarrollo del cultivo fue menos sensible que el NBS para determinar el estatus nitrogenado en papa. Samborski *et al.*, (2009) expresaron que el IV determinado en etapas tempranas del ciclo no detectó niveles subóptimos de N en plantas de papa que recibieron moderada cantidad de N, pero sí pudo identificar situaciones con deficiencias de N. Los resultados obtenidos en esta experiencia, revelaron que el IV en las hojas inferiores del canopeo no determinó diferencias entre los tratamientos debido al efecto de la oferta de N en etapas tempranas del ciclo, por lo que la incorporación de estas hojas al muestreo tradicional no permitió mejorar la sensibilidad del método de diagnóstico.

Los resultados mostraron que el NBS, especialmente el determinado en las hojas del estrato inferior, estimarían con mayor precisión el estado nutricional del cultivo que el IV. Al relacionar el NBS determinado en ambos estratos con la producción de materia seca total previo a la madurez fisiológica (MST) (figura 5) se estableció que el NBS-UH tendió a aumentar con la MST en ambas variedades y fechas de muestreo en mayor medida que el NBS-PH. La respuesta en MST al aumento de NBS-UH fue mayor en INN y menor en UR. Por lo tanto, el NBS de las hojas del estrato inferior

del canopeo determinado durante el crecimiento vegetativo e inicio de tuberización podría predecir la MST en etapas más avanzadas del ciclo.

CONCLUSIÓN

En etapas tempranas del ciclo, el IV no varió con la oferta de N en ambos estratos del canopeo, mientras que la concentración de NBS-UH fue más sensible que la de NBS-PH para determinar el estatus nitrogenado del cultivo de papa y la producción de MST. De acuerdo con esto, NBS-UH podría ser una alternativa promisoría para mejorar la caracterización del estatus nitrogenado del cultivo. No obstante, su utilidad deberá ser verificada en futuras experiencias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con fondos de los Proyectos INTA AERN-295561, PNHFA-061271 y de la FCA-UNMP AGR319/10.

BIBLIOGRAFÍA

- BOOIJ, R.; VALENZUELA, J.I.; AGUILERA, C. 2000. Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods. Chapter 2. En: HAVERKORT, A.J. AND MACKERRON, D.K.L. (Eds.). Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, pp 72-81.
- CALDIZ, D.O. 2004. Características y manejo de la variedad Innovator. Balcarce, Argentina. Del Campo a la Fábrica. 4(4): 3-6.
- CALDIZ, D.O. 2005. Características y manejo de la variedad Umatilla Russet. Balcarce, Argentina. Del Campo a la Fábrica. 5(1): 3-6.

- DÍAZ, C. 2008. Métodos no destructivos para determinar el estatus de nitrógeno en variedades de papa para industria. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias. 42 p.
- ECHEVERRÍA, H.E.; BERGONZI, R. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico 135. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 15p.
- ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A. 2001. Predicción del contenido de proteína en grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) mediante el índice de verdor de la hoja bandera. Ciencia del Suelo 19: 67-74.
- GIANQUINTO, G.; BONA, S. 2000. Plant nitrogen status. The significance of trenes in concentration of total nitrogen and nitrogenous compounds. En: HAVERKORT, A.J. AND MACKERRON D.K.L. (Eds.) Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. pp 35-54.
- GILETTO, C.M. 2002. Comparación de métodos para evaluar la nutrición nitrogenada en papa. Tesis presentada como requisito para optar por el grado de *Magister Scientiae* en el Postgrado en Producción Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP.74 p.
- GILETTO, C.M.; RATTIN, J.E.; ECHEVERRÍA, H.E.; CALDIZ, D.O. 2006. Evaluación de la nutrición nitrogenada en nuevas variedades de papa aptas para el procesamiento industrial. Ciencia del Suelo. 24 (1): 65-75.
- GILETTO, C.M.; RATTÍN, J.E.; ECHEVERRÍA, H.E.; CALDIZ, D.O. 2007. Eficiencia de uso de nitrógeno en variedades de papa para industria cultivadas en el sudeste de la provincial de Buenos Aires. Ciencia del Suelo 25(1):43-52.
- GILETTO, C.M.; DÍAZ, C.; RATTÍN, J.E.; ECHEVERRÍA, H.E.; CALDIZ, D.O. 2010. Green index to estimate crop nitrogen status in potato processing varieties. Chilean Journal of Agricultural Research 70(1):142-149.
- KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. 1982. Nitrogen inorganic forms. En : Page A. L. *et al.* (Eds.) Methods of soil analysis. Part 2 Agron. Monog 9 Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, EEUU. pp 643-698.
- LITTELL, R.C.; FREUND, R.J.; SPECTOR, P.C. 1991. SAS system for linear models. 3rd ed. SAS Inst., Cary, NC.
- HAVERKORT, A.J.; MACKERRON, D.K.L. 2000. Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. 353 p.
- MACKERRON, D.K.L.; YOUNG, M.W.; DAVIES, H.V. 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.
- MILLARD, P.; CATT, W. 1988. The influence on nitrogen supply on the use of nitrate and ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase as leaf nitrogen stores for growth of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). Journal of experimental botany 39 (198)1-11.
- NELSON, D.W.; SOMMERS. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agronomy Journal 65:109-112.
- OLIVIER, M.; GOFFART, J.P.; LEDENT, J. F. 2006. Threshold values for the chlorophyll meter used as a decision tool for supplemental nitrogen application in the potato crop. Agronomy J. 98: 496-506.
- RATTIN, J.E.; GILETTO, C.M.; ECHEVERRÍA, H.E. 2004. Comparación de métodos de determinación de nitratos en pecíolos de cultivares de papa. RIA 33:117-134.
- SALUZZO, J.A. 2001. Comparación de nitratos en pecíolos y rendimiento de los cultivares de papa Kennebec y Shepody en relación a la fertilización nitrogenada. Agriscientia. 18:21-26.
- SAMBORSKI, S.M.; TREMBLAY, N.; FALLON, E. 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. Agronomy J. 101(4):800-816.
- SAS Institute. 1988. SAS/STAT User's guide. Statics version. 6.0. 3rd ed. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- SNAPP, S.; SMUCKER, D.; VITOSH, M.L. 2002. Nitrogen Management for Michigan Potatoes. Michigan State. University. Extension Bulletin E-2779. 4 p.
- VITOSH, M.L.; SILVA, G.H. 1996. Potato petiole sampling procedure for sap nitrate testing. Michigan State University Extension Home page. Vegetable CAT home page. 3 p.
- WU, J.; WANG, D.; ROSEN, C.; BAUERET, M. 2006. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. Field Crops Res. 101 (1): 96-103.