
ABSORCIÓN DE MACRONUTRIENTES POR PLANTAS

DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LA PRODUCCIÓN DE

TUBÉRCULO-SEMILLA

Héctor Manuel Coraspe-León, Takashi Muraoka, Vinicius Ide Franzini,
Sônia Maria De Stefano Piedade y Newton do Prado Granja

RESUMEN

En el cultivo de papa en invernadero, la nutrición mineral es uno de los factores que más contribuye para alcanzar elevado rendimiento y calidad del producto. El conocimiento de la cantidad de nutrientes acumulada en la planta en cada fase de crecimiento suministra información que ayuda en el establecimiento de fertilizaciones más balanceadas. El objetivo de este trabajo fue determinar las curvas de absorción y acumulación de macronutrientes en plantas de papa para la producción de tubérculos-semilla de papa en solución nutritiva. El experimento fue ejecutado en condiciones de invernadero, utilizando mate-

rial *in vitro* de categoría pre-básica de la variedad 'Atlantic'. El inicio de las colectas fue a partir de los 14 días después del trasplante (DDT), con frecuencia semanal y se prolongó hasta los 70 DDT. El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar con nueve tratamientos referentes a las épocas de colectas de las plantas y cuatro repeticiones. La mayor demanda de nutrientes en la parte aérea ocurrió en el periodo comprendido entre los 28 y 56 DDT, mientras que en los tubérculos fue a partir de los 49 DDT. La secuencia de acumulación máxima de los macronutrientes fue $K > N > S > Ca > P > Mg$.

Introducción

En Brasil la papa (*Solanum tuberosum* L.) es considerada como la principal hortaliza y el cultivo que tiene la mayor demanda relativa de fertilizantes, 1940kg·ha⁻¹, representando casi seis veces la demanda de la soya (338kg·ha⁻¹; ANDA, 2000). En 2004, el área cosechada fue ~135000ha, con producción de 2837885Mg/año y un rendimiento de 20,9Mg·ha⁻¹. Las principales regiones productoras se localizan al Sur y Sureste del país, y contribuyen con 95,10% del total producido (FNP, 2005).

La nutrición mineral es uno de los factores que más contribuye para lograr elevado rendimiento y mejor calidad del producto, de forma que los nutrientes deben ser aplicados

de acuerdo a las exigencias del cultivo, en las cantidades y épocas adecuadas. Una de las herramientas utilizadas en la determinación de fertilizaciones balanceadas son las curvas de absorción de nutrientes, expresadas bajo la forma de curvas en función de la edad de la planta (Nunes *et al.*, 1981). El conocimiento de la cantidad de nutrientes en la planta en cada fase de crecimiento suministra información que ayuda al establecimiento de programas de fertilización. Sin embargo, esas curvas reflejan apenas lo que la planta necesita y no lo que debe ser aplicado, ya que debe considerarse la eficiencia del aprovechamiento de los nutrientes, el cual varía según las condiciones de fertilidad del suelo, la época de siem-

bra, condiciones climáticas, manejo del sistema de cultivo, finalidad de uso del producto cosechado y sistema de irrigación, entre otros factores. En lo fundamental, las curvas de absorción de nutrientes auxilian en los programas de fertilización, principalmente en las cantidades de los diferentes nutrientes que deben ser aplicados en las diferentes etapas fisiológicas de las plantas (Villas-Boas, 2001).

Las características de cada variedad y su uso final (producción de semilla, consumo fresco o procesado) hacen una gran diferencia en el manejo del cultivo y en la productividad. A pesar de su importancia y el gran número de estudios sobre el cultivo de la papa, en condiciones tropicales las investigaciones

existentes sobre la nutrición mineral en la producción de tubérculos-semilla de variedades para uso industrial, tanto en campo como en ambientes protegidos, son escasas. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar las curvas de absorción y acumulación de macronutrientes para la producción de tubérculos-semilla de papa, en solución nutritiva.

Metodología

El experimento fue realizado en condiciones de invernadero en agosto-noviembre 2006 en las instalaciones del Centro de Energía Nuclear en la Agricultura (CENA) de la Universidad de São Paulo (USP), Brasil. Se utilizaron potes plásticos de 2,3 litros

PALABRAS CLAVE / Arcilla Expandida / Curvas de Absorción / Invernadero / Nutrición Mineral / Solución Nutritiva /

Recibido: 14/08/2007. Modificado: 27/11/2008. Aceptado: 08/12/2008.

Héctor Manuel Coraspe-León. Ingeniero Agrónomo, Universidad Federal de Viçosa, (UFV), Brasil; Maestro y Doctor en Agronomía, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) de la Universidad de São Paulo (USP), Brasil. Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Venezuela. Dirección:

INIA, Estación Experimental Trujillo. Av. Principal de Pampanito, Antiguas Instalaciones del MAT, Pampanito, Estado Trujillo, Venezuela. e-mail: hcoraspe@inia.gov.ve
Takashi Muraoka. Ingeniero Agrónomo, USP, Brasil. Maestro y Doctor en Agronomía, ESALQ-USP, Brasil. Pos-Doctorado, Universidad de Tokio,

Japón. Profesor, Centro de Energía Nuclear en la Agricultura (CENA/USP), Brasil.

Vinicius Ide Franzini. Ingeniero Agrónomo, Maestro y Estudiante Doctorado, ESALQ-USP, Brasil.

Sônia Maria De Stefano Piedade. Ingeniera Agrónoma, ESALQ-USP, Brasil. Maestra y Doctora en Agronomía, USP,

Brasil. Profesora, ESALQ-USP, Brasil.

Newton do Prado Granja. Ingeniero Agrónomo y Maestro en Agronomía, Universidad del Estado de Sao Paulo, Brasil. Doctor en Agronomía, ESALQ-USP, Brasil. Investigador, Instituto Agronómico de Campinas, SP. Brasil.

MACRONUTRIENTS UPTAKE BY POTATO (*Solanum tuberosum* L.) IN SEED-TUBER PRODUCTION

Héctor Manuel Coraspe-León, Takashi Muraoka, Vinicius Ide Franzini, Sônia Maria De Stefano Piedade and Newton do Prado Granja

SUMMARY

In greenhouse potato cultivation, mineral nutrition is one of the main factors contributing to high yields and better product quality. Knowledge about the amount of nutrients accumulated in the plants at each growing phase provides important information that helps the establishment of a more balanced fertilizer application. The objective of this research was to determine the time course of macronutrients uptake and accumulation in potato plants for seed-tuber production, grown in nutrient solution. The experiment was carried out in a greenhouse, using

in vitro material from the pre-basic category of the 'Atlantic' variety. The plants were collected weekly from 14 days after transplanting (DAT) until 70 DAT. The experimental design was a completely randomized block with 9 treatments to sampling times and four replicates. The highest nutrient requirement in the plant shoot occurred at the periods between 28 and 56 DAT, while in the tubers it was after 49 DAT. The maximum accumulation sequence of macronutrients was $K>N>S>Ca>P>Mg$.

ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELA BATATEIRA (*Solanum tuberosum* L.) NA PRODUÇÃO DE TUBÉRCULO-SEMENTE

Héctor Manuel Coraspe-León, Takashi Muraoka, Vinicius Ide Franzini, Sônia Maria De Stefano Piedade e Newton do Prado Granja

RESUMO

No cultivo da batateira em casa-de-vegetação, a nutrição mineral é um dos fatores que mais contribui para atingir elevada produtividade e qualidade do produto. O conhecimento da quantidade de nutrientes acumulada na planta em cada fase de crescimento fornece informação importante que ajuda no estabelecimento de adubações mais balanceadas. O objetivo de este trabalho foi determinar as curvas de absorção e acúmulo de macronutrientes em plantas de batata para a produção de tubérculos-semente de batata, em solução nutritiva. O experimento foi executado em condições de casa-de-vegetação, utilizando

material in vitro, da categoria pre-básica do cultivar 'Atlantic'. O início das coletas foi a partir dos 14 dias após do transplante (DAT), com frequência semanal e se prolongou até os 70 DAT. O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições e nove tratamentos, referentes às épocas de coletas das plantas. A maior demanda de nutrientes na parte aérea ocorreu no período compreendido entre 28 e 56 DAT, enquanto nos tubérculos foi a partir dos 49 DAT. A seqüência de acúmulo máximo dos macronutrientes foi $K>N>S>Ca>P>Mg$.

de capacidad con arcilla expandida como sustrato y material (plántulas) *in vitro*, de categoría pre-básica de la variedad 'Atlantic'. Esta variedad presenta alto rendimiento, buena apariencia, gran adaptabilidad y es destinada a uso industrial, es decir hojuelas, french fries y palha (Elma, 2000; Miranda Filho *et al.*, 2003).

Durante la primera semana se utilizó una solución nutritiva (Tabla I) diluida en 1/5 de la concentración usual. En este período, las irrigaciones fueron efectuadas diariamente, completándose el pote con la solución nutritiva existente en el recipiente colector. Después de este período inicial, las irrigaciones fueron realizadas dos veces por semana, completándose el recipiente colector de la solución nutritiva con agua deionizada y esta solución aplicada en el pote hasta que el sustrato

TABLE I
COMPOSICIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA IAC

Macronutrientes (mmol·l ⁻¹)	Micronutrientes (µmol·l ⁻¹)
N= 14,79	B= 7,21
P= 1,57	Cu= 12,51
K= 6,23	Fe= 10,31
Ca= 4,99	Mn= 7,01
Mg= 0,99	Mo= 0,20
S= 0,97	Zn= 1,22

quedara sumergido por 10min; posteriormente se procedió al drenaje del pote. Durante la realización del experimento, la solución nutritiva fue renovada cada 21 días, monitoreándose en la solución colectada el pH y la conductividad eléctrica (CE) para acompañar el estado de la salinidad. La concentración de los nutrientes se mantuvo de acuerdo con la composición de la solución usada por el Instituto Agronómico de Campinas (IAC; Tablas I y II).

TABLE II
FERTILIZANTES USADOS EN LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA IAC

Fertilizante	Cantidad (g/1000 lit)
Sulfato de magnesio	240
Nitrato de calcio	1180
Nitrato de potasio	505
Fosfato monobásico de potasio	212
Tenso cocktail®*	15

* Composición: B 0,52%; Ca-EDTA 2,57%; Cu-EDTA 0,53%; Fe-EDTA 2,1%; Fe-DTPA 1,74%; Mn-EDTA 2,57%; Mo 0,13%; Zn-EDTA 0,53%.

El inicio de las colectas fue a partir de los 14 días después del transplante (DDT), con frecuencia semanal y se prolongó hasta los 70 DDT. El número de plantas mantenidas y cosechadas por pote varió con la época de colecta. Entre los 14 y 21 DDT se utilizaron seis plantas por pote y a partir de los 28 DDT hasta el final del período de evaluación se utilizaron dos plantas. Para los cálculos de acumulación

de materia seca (MS) y de nutrientes los valores fueron considerados por planta. Posteriormente se procedió a la separación de la planta en raíz, tallo, hojas y tubérculos. Cada parte de la planta fue secada en estufa con ventilación forzada de aire a 60°C, por 72h. Luego, la MS de las muestras fue determinada con una balanza analítica. Las muestras fueron molidas en molino tipo Willey y almacenadas en bolsas de

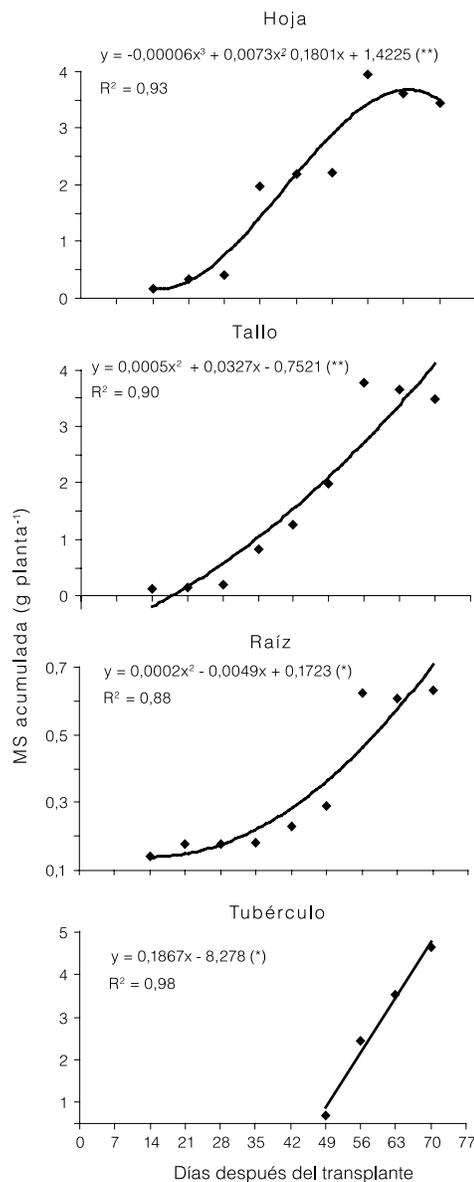


Figura 1. Materia seca acumulada en hoja, tallo, raíz y tubérculo de plantas de papa durante el ciclo, en función de las épocas de cosecha.

papel. La concentración de macronutrientes fue determinada según la metodología descrita por Malavolta *et al.* (1997). Para cada parte de la planta, la cantidad de nutrientes acumulada se calculó multiplicando la concentración de cada uno por la MS.

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y nueve tratamientos, referentes a las épocas de colectas de las plantas: 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 y 70 DDT. Los resultados fueron sometidos a análisis estadís-

tico, utilizándose el programa SAS *System for Windows* 6.11 (SAS, 1996). Se llevó a cabo un análisis de variancia y, de acuerdo con el nivel de significancia de la prueba F, se procedió al estudio de las regresiones para los componentes de primer, segundo y tercer grado por el procedimiento GLM.

Resultados y Discusión

Acumulación de materia seca

El acumulado de materia seca (MS) en hoja y tallo fue significativo ($P \leq 0,01$) y se ajustó a modelos de regresión cúbico y cuadrático, respectivamente (Figura 1). Yorinori (2003), evaluando la misma variedad en campo en los ciclos de siembra 'de las aguas' y 'de la seca', también coincidió en el ajuste con el modelo cúbico de regresión para tallo, hoja y tubérculos. En hoja, la acumulación máxima ocurrió a 66 DDT, con un valor de 4,08g/planta. Se verificó un aumento constante de la materia seca, siendo menor en las primeras semanas de evaluación y mayor a partir de los 28 DDT, hasta alcanzar su máximo valor.

De ahí en adelante hubo una estabilización en la acumulación y luego una leve disminución, reflejando la senectud del follaje. El crecimiento de las plantas en invernadero fue rápido e hizo que el ciclo de la planta fuese menor que en el campo,

donde con facilidad se superan los 90-100 días. En el periodo en que se condujo el experimento se registraron temperaturas superiores a las que normalmente ocurren en la región. Las plantas no desarrollaron gran cantidad de follaje en el transcurso del ciclo, como ocurre con esta variedad cuando crece en campo. Los folíolos primarios característicos de la variedad se semejaban más a folíolos terciarios. Favoretto (2005) determinó curvas de crecimiento y de absorción de nutrientes en la variedad 'Atlantic' bajo condiciones de invernadero de producción comercial y observó que a los 49 DDT la parte aérea (PA) alcanzó el valor máximo de acumulación de MS, 8,65g/planta. En los tallos, la MS producida no alcanzó un máximo, siendo explicado el comportamiento por una ecuación cuadrática. El mayor valor obtenido fue de 3,99g/planta a los 70 DDT. La suma de tallo y hoja resultó en valores coincidentes con los obtenidos para estas partes aéreas por Favoretto (2005).

La acumulación de MS en raíz y tubérculo fue significativa ($P \leq 0,05$) y se ajustó a modelos cuadrático y lineal, respectivamente (Figura 1). En raíz, al inicio del ciclo de crecimiento (14-35 DDT) la acumulación de MS fue lenta y se notó que las plántulas, por provenir de cultivo de tejidos, presentaron sistema radical escaso y poco desarrollado. A partir de los 35 DDT, la acumulación fue más acentuada y constante hasta los 70 DDT cuando alcanzó el mayor valor, de 0,81g/planta. En tubérculos, la acumulación solo se registró a partir de los 49 DDT. Estos valores son más tardíos que los reportados por Favoretto (2005), quien con apenas 32 DDT constató la diferenciación de los estolones. El inicio de la tuberización en el presente experimento coincidió con la máxima producción de follaje, demostrando la importancia de la PA para la obtención de alta productividad, pues es en esta fase que ocurre la trans-

locación de nutrientes y fotosintetizados hacia los tubérculos (Roberts y Dole, 1985). La tasa de acumulación de MS en tubérculos fue 186,70mg/día, alcanzando a los 70 DDT el valor de 4,79g/planta. Esta tasa de acumulación es mayor que la reportada por Favoretto (2005) de ~1,0g/semana.

Acumulación de macronutrientes

Las curvas de acumulación de nutrientes se presentan en las Figuras 2 y 3. En la mayoría de las plantas, la acumulación de nutrientes en hoja y tallo se ajustó a modelos cúbicos o cuadráticos de regresión, mientras que en raíces y tubérculos predominó el ajuste a modelos cuadráticos lineales, respectivamente. De manera general, en los componentes de la PA y raíz la secuencia observada puede ser descrita en tres períodos de acumulación: una primera fase de moderada absorción de nutrientes (14-28 DDT) coincidente con la fase de iniciación del tubérculo o tuberización, luego un período de intensa absorción, donde la acumulación se incrementa y corresponde a la fase vegetativa (28-56 DDT), y una tercera y última fase en que la absorción y acumulación fueron bajas (56-70 DDT). En esta última fase, se registraron descensos en la acumulación de algunos nutrientes, como P y K. En los tubérculos, la acumulación se observó a partir de 49 DDT caracterizándose por ser muy elevada y constante. La acumulación de nutrientes en los diferentes órganos de la planta acompañó, como era de esperar, la curva de acumulación de MS. La mayoría de los trabajos consultados sobre absorción y exportación de nutrientes en papa y otros cultivos presenta resultados similares (Gargantini *et al.*, 1963; Fontes, 1999; Fayad *et al.*, 2000; Yorinori, 2003; Favoretto, 2005). En este caso, por tratarse de un sistema de producción dirigido a la obtención de tubérculos-semilla y desarrollado en un

período con temperaturas superiores a las normales y con un ciclo de menor duración que en campo, los valores de acumulación de nutrientes, así como de MS y productividad difieren de lo registrado en estudios de campo.

Nitrógeno

La acumulación de N (Figura 2a) fue significativa en hoja ($P \leq 0,05$) y tallo ($P \leq 0,01$) y se ajustó a modelos cúbicos. En hoja, la mayor acumulación ocurrió a los 62 DDT, cuando la planta entra en la fase de máximo

desarrollo foliar, alcanzando un promedio de 198,24mg/planta. En tallo el máximo se registró a los 67 DDT con promedio de 78,43mg/planta, coincidiendo con los valores de 279,41mg/planta de Favoretto (2005) en PA (hoja+tallo). Sin embargo, son valores considerablemente menores a los reportados en campo, donde se alcanza 180,58-287,25mg/planta en tallo y 573,04-789,48mg/planta en hojas (Yorinori, 2003), así como a los de otras variedades (Paula *et al.*, 1986), lo cual se explica por el mayor desarrollo de la planta

en condiciones de campo y época de siembra. En raíz y tubérculo la acumulación de N fue significativa ($P \leq 0,05$) y ($P \leq 0,01$) y se ajustó a modelos cuadrático y lineal de regresión, respectivamente. En raíz se verificó a los 70 DDT con una acumulación de 15,15mg/planta. En tubérculo el máximo alcanzado fue de 105,86mg/planta al final del ciclo, muy inferior a los 2933,54mg/planta reportados en campo por Yorinori (2003). Esa diferencia es debida al ciclo más corto en invernadero que en campo. La tasa de acumulación

de N en tubérculos registró valores de 3,98mg/planta/día, y la acumulación total correspondió a 26,62% del total acumulado por la planta (Tabla III).

Fósforo

La acumulación de P (Figura 2b) en hoja y tallo se ajustó a un modelo cúbico de regresión siendo significativo a $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$, respectivamente. La mayor acumulación en hoja fue de 21,92mg/planta y ocurrió a 65 DDT y en tallo fue de 19,74mg/planta a los 69 DDT. La acumulación de

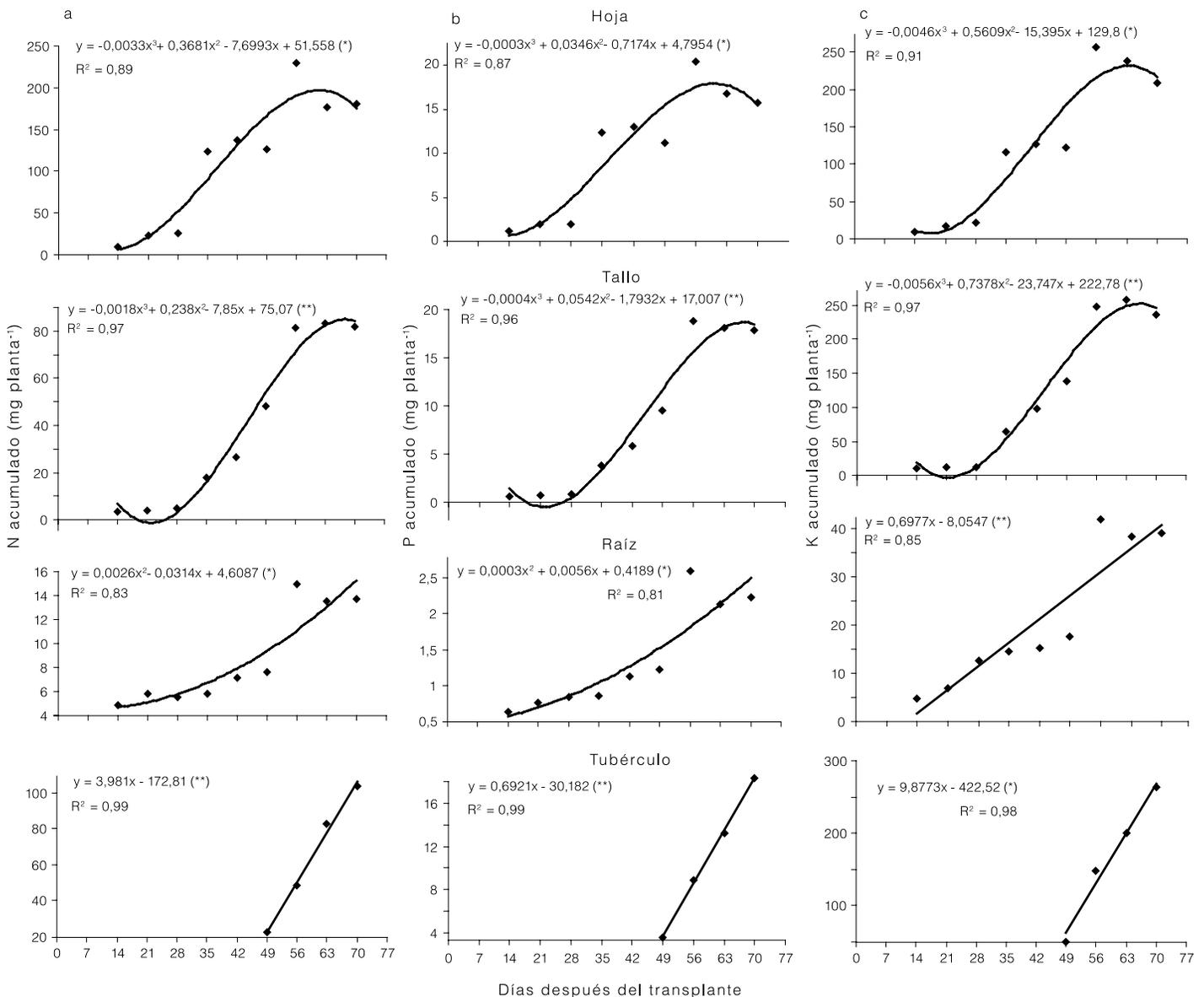


Figura 2. Macronutrientes acumulados en hoja, tallo, raíz y tubérculo de plantas de papa durante el ciclo, en función de las épocas de cosecha. a: nitrógeno, b: fósforo, c: potasio.

TABLA III
ACUMULACIÓN PORCENTUAL DE NUTRIENTES
EN LA PLANTA DE PAPA

Nutrientes	Componentes de la planta			
	Hoja	Tallo	Raíz	Tubérculo
Nitrógeno	49,85	19,72	3,81	26,62
Fósforo	35,24	31,73	3,67	29,37
Potasio	29,32	32,22	5,06	33,39
Calcio	59,46	34,53	5,05	0,95
Magnesio	33,87	56,75	3,12	6,26
Azufre	94,44	2,74	0,73	20,9

P en raíz se ajusta al modelo cuadrático, significativa a $P \leq 0,05$. A 70 DDT se registró

el mayor valor de acumulación, de 2,28mg/planta. Los valores obtenidos coincidieron

con los obtenidos en el campo por Yorinori (2003) con la misma variedad de papa en época seca (1,56mg/planta), mientras que mayores valores fueron reportados por Favoretto (2005) a los 53 DDT (8,52mg/planta). La tendencia de acumulación de P en las raíces se incrementó a partir del inicio de las evaluaciones y se mantuvo hasta el final del período de evaluación, contrariamente a lo observado por Yorinori (2003) en campo y época seca, al reportar una reducción a partir de los 26 días después de la siembra (DDS) que se mantuvo hasta

el período de cosecha. Esto sugiere la dependencia de la planta de las interacciones que ocurren en el suelo con este nutriente, especialmente las relacionadas con los procesos de fijación de P (Raij, 1991; Havlin *et al.*, 2005). La acumulación de P en tubérculo, por su condición geoquímica y necesidades de la planta en zonas meristemáticas (Havlin *et al.*, 2005) fue elevada y se ajustó a un modelo lineal, siendo significativa a $P \leq 0,01$. La acumulación máxima de P fue de 18,27mg/planta al final del ciclo. La acumulación creciente y constante de

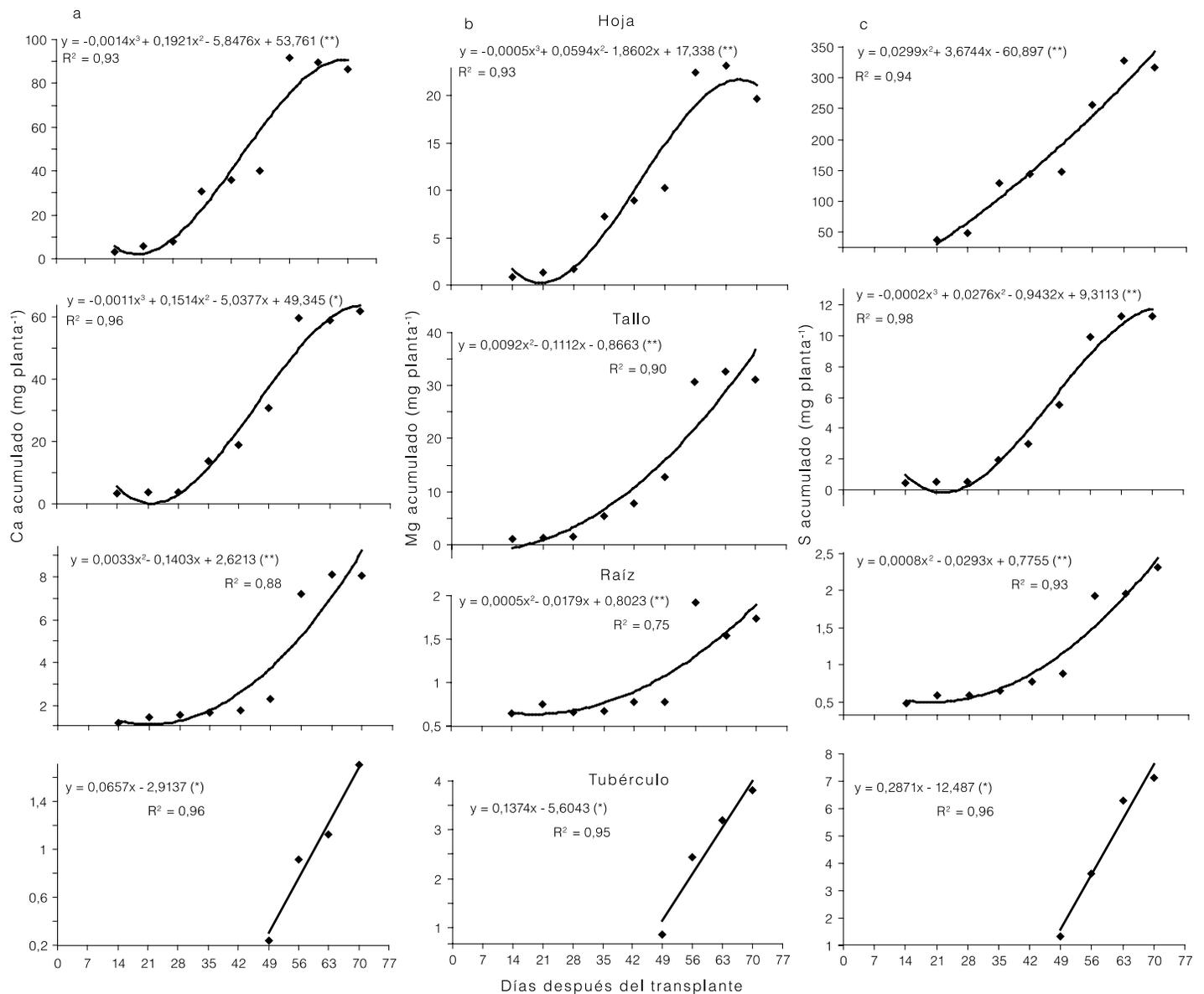


Figura 3. Macronutrientes acumulados en hoja, tallo, raíz y tubérculo de plantas de papa durante el ciclo, en función de las épocas de cosecha. a: calcio, b: magnesio, c: azufre.

P en raíz y tubérculo coincide con los datos de Yorinori (2003) en campo, pero difiere de lo reportado por Favoretto (2005), quien observó curvas decrecientes del inicio al final de ciclo. La tasa de acumulación de P en tubérculo presentó valores de 0,692mg/planta/día, y la acumulación alcanzó el 29,37% del total acumulado por la planta (Tabla III).

Potasio

La acumulación de K (Figura 2c) en hoja y tallo se ajustó al modelo cúbico y presentó significancia de $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente, mientras que para raíz y tubérculo se ajustó al modelo lineal y la significancia fue de $P \leq 0,01$ y $P \leq 0,05$, respectivamente. En hoja, la mayor acumulación ocurrió a 64 DDT (236,12mg/planta) y representó 29,32% del total acumulado (Tabla III). En tallo la máxima acumulación fue de 259,48mg/planta, alcanzándose a los 67 DDT. Estos valores sumados, correspondientes a la PA, fueron inferiores a los 645,43mg/planta detectados por Favoretto (2005). Reis Júnior y Fontes (1996), estudiando los efectos de la fertilización potásica en papa, verificaron que de 74,1 a 89,1g·kg⁻¹ de K en la MS de los folíolos son suficientes para garantizar 99-100% de la producción. Por su parte, Lorenzi *et al.* (1996) consideraron el rango de concentraciones foliares de 40-65mg/planta como adecuada. En este experimento los valores en hoja y tallo correspondieron a 57,87 y 65,03mg/planta, respectivamente. La absorción de K por la PA de la papa aumentó con el desarrollo de la planta, alcanzando los mayores valores en el período de mayor crecimiento vegetativo. De modo general, la acumulación de la mayoría de los nutrientes es función del tiempo, incluyendo la del K, y todos mostraron un comportamiento cuya curva es de tipo sigmoidal, difiriendo solo en las cantidades acumuladas, como fuera indicado por Macedo *et al.* (1981). En

raíz el mayor valor de K acumulado ocurrió a 70 DDT y fue 40,78mg/planta, superior a los 9,47 y 17,32mg/planta referidos por Yorinori (2003). El mayor valor obtenido en los tubérculos fue 268,89mg/planta y ocurrió a final de ciclo, representando 33,39% del total acumulado (Tabla III). La tasa de acumulación en raíz fue de 0,70mg/planta/día, y en los tubérculos de 9,88mg/planta/día. Esto se explica por ser los tubérculos los órganos de crecimiento de mayor demanda de K (Tisdale y Nelson, 1982).

Calcio

La acumulación de Ca (Figura 3a) se ajustó a un modelo cúbico en hoja ($P \leq 0,01$) y en tallo ($P \leq 0,05$). En raíz y tubérculo se ajustaron los modelos cuadráticos ($P \leq 0,05$) y lineal ($P \leq 0,01$), respectivamente. El mayor valor de calcio acumulado en hojas ocurrió a 70 DDT (105,52mg/planta), correspondiendo a 59,46% del total acumulado en la planta. Esto se debe a que el Ca es un elemento poco móvil (Marschner, 1995). El punto máximo de acumulación de Ca no fue alcanzado en el lapso de tiempo evaluado. En tallo el máximo acumulado fue de 61,27mg/planta alcanzándose a los 70 DDT y representó el 34,53% del acumulado en la planta (Tabla III). La PA fue responsable, por lo tanto, del 93,99% de la acumulación total de Ca. Estos valores son semejantes a los mencionados por Magalhães (1985) y que al contrario del K, P y N, mostraron mayor acumulación en los tubérculos. Favoretto (2005) obtuvo 186mg/planta en PA a los 53 DDT. Se encontró que la casi totalidad de este nutriente se mantuvo en el follaje, por su baja movilidad y redistribución. Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos por Kratzke y Palta (1986), quienes al evaluar la acumulación de Ca en los tubérculos concluyeron que no hubo aumento del orden de la dosis con el incremento de dosis de Ca en las raíces basales,

sugiriendo que la absorción del Ca presente en los tubérculos ocurrió en los estolones y en los pelos absorbentes de los tubérculos. El mayor valor de Ca acumulado en raíz ocurrió a 70 DDT, siendo de 8,97mg/planta, valor similar a 6,02mg/planta reportado por Favoretto (2005). En los tubérculos el mayor valor obtenido fue 1,69mg/planta, a final de ciclo, representando 0,95% del total acumulado en la planta. La tasa de acumulación en tubérculo presentó valores de 0,07mg/planta/día. El Ca mostró un patrón de redistribución a favor de la hoja, que según Malavolta *et al.* (1997) es debido a que la mayor parte de su distribución es vía xilema y favorecida por la corriente respiratoria.

Magnesio

La acumulación de Mg (Figura 3b) en hoja y tallo se ajustó ($P \leq 0,01$) a modelos cúbico y cuadrático, respectivamente. En hoja, la máxima acumulación fue de 11,71mg/planta, alcanzándose a los 58 DDT. En tallo el mayor valor obtenido fue de 36,37mg/planta a los 70 DDT. La acumulación en estos dos órganos representó 33,87% y 56,75% del total acumulado en la planta, respectivamente (Tabla III). Favoretto (2005) obtuvo 66,26mg/planta en PA a los 53 DDT, mientras que en campo Yorinori (2003) había constatado una variación de 117,34-236,62mg/planta. La acumulación de Mg en raíz se ajustó a un modelo cuadrático ($P \leq 0,01$) y en tubérculo a uno lineal ($P \leq 0,05$). En raíz la máxima acumulación fue de 2,0mg/planta a los 70 DDT, coincidiendo con los 1,13 y 1,33mg/planta registrados en campo por Yorinori (2003). En tubérculos a final de ciclo se observó el mayor valor acumulado de 4,01mg/planta, que representaba 7,41% del total acumulado en la planta. Diariamente hubo una acumulación de Mg en los tubérculos del orden de 0,137mg/planta. El Mg se acumula preferentemente en PA, en cantidades

menores que el Ca, tal como se ha observado en otras hortalizas tales como remolacha, donde la mayor acumulación fue en PA en relación a la raíz engrosada (Grangeiro *et al.*, 2007), sandía (Grangeiro y Cecílio Filho, 2004, 2005), papa (Yorinori, 2003) y tomate (Fayad, 1998). Una causa probable para esta mayor acumulación de Mg en PA es que forma parte de la molécula de clorofila (Mengel y Kirkby, 1987). Según Marschner (1995), dependiendo del *status* del Mg en la planta, 6-25% del total está unido a la molécula de clorofila y 5-10% está firmemente unido a pectatos, en la pared celular o como sal soluble en la vacuola.

Azufre

La acumulación de S (Figura 3c) se ajustó a modelos cuadrático y cúbico en hoja y tallo, respectivamente ($P \leq 0,01$), mientras que en raíz y tubérculo se ajustó a modelos cuadrático ($P \leq 0,01$) y lineal ($P \leq 0,05$), respectivamente. En hoja la mayor cantidad de S acumulado fue de 342,82mg/planta a los 70 DDT, representando 94,44% del total acumulado (Tabla III). Estos valores fueron superiores a los encontrados por Favoretto (2005). Para la variedad 'Atlantic' y otras variedades, la acumulación de S en hoja en condiciones de campo también resultó considerablemente menor (Paula *et al.*, 1986; Yorinori, 2003). En tallo, la mayor acumulación fue de 9,93mg/planta a los 69 DDT. No se identificaron signos en el follaje que indicasen toxicidad o algún desbalance nutricional a lo largo del período de crecimiento y evaluación de las plantas. En raíz la mayor acumulación de S fue de 2,64mg/planta y se obtuvo a los 70 DDT. Yorinori (2003) obtuvo 1,72mg/planta. El mayor valor obtenido en tubérculos, de 7,60mg/planta, tuvo lugar a final del ciclo. La acumulación de S en tubérculo fue de 0,29mg/planta/día.

Conclusiones

La masa seca total acumulada máxima por planta fue de 13,67g, con una participación de la parte aérea de 59,64% y los tubérculos de 35,04%. La mayor demanda de nutrientes en la parte aérea ocurrió en el periodo comprendido entre los 28 y 56 días después del transplante, mientras que en los tubérculos fue a partir de los 49 días del transplante. La secuencia de acumulación máxima de los macronutrientes fue K>N>S>Ca>P>Mg. Para las condiciones del experimento, el conocimiento de las curvas de absorción de nutrientes permite manejar la fertilización de manera más eficiente y balanceada, al tomar en consideración la acumulación de nutrientes en cada fase de del ciclo de producción, así como la exportación de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Marileusa A. Bassi Elías y Sandra T. P. dos Santos, Laboratorio de Fertilidad de Suelos, CENA, Brasil, por la realización de los análisis químicos de las plantas.

REFERENCIAS

ANDA (2000) *Anuário estatístico*. Assoc. Nac. para Difusão

- de Adubos. São Paulo, Brasil. 252 pp.
- Elma (2000) *Manual de recomendações técnicas para produção da variedade Atlantic*. 5ª ed. Elma Chips. Itu. São Pablo. 15 pp.
- Favoretto P (2005) *Parâmetros de crescimento e marcha de absorção de nutrientes na produção de minitubérculos de batata cv. Atlantic*. Tesis. ESALQ, Universidade de São Paulo. Brasil. 98 pp.
- Fayad JA (1998) *Absorção de nutrientes, crescimento e produção do tomateiro cultivado em condições de campo e estufa*. Tesis. Universidade Federal de Viçosa. Brasil. 81 pp.
- Fayad JA, Mondardo M, de Oliveira SO (2000) Absorção de nutrientes, crescimento e produção de tomate, cultivado no sistema de plantio direto. *Boletim Técnico EPAGRI* N° 2. Florianópolis, Brasil. 80 pp.
- FNP (2005) Batata. En *Agrianual 2005*. FNP Consultoria & Comercio. São Paulo, Brasil. pp. 230-236.
- Fontes PCR (1999) Calagem e adubação da cultura da batata. *Informe Agropecuário* 20: 42-52.
- Gargantini H, Blanco G, Gallo JR, Nóbrega SA (1963) Absorção de nutrientes pela batatinha. *Bragantia* 22: 267-289.
- Grangeiro LC, Cecílio Filho AB (2004) Acúmulo e exportação de macronutrientes pelo híbrido de melancia Tide. *Hort. Bras.* 22: 93-97.
- Grangeiro LC, Cecílio Filho AB (2005) Acúmulo e exportação de nutrientes em melancia sem sementes. *Hort. Bras.* 23: 763-767.
- Grangeiro LC, Negreiros MZ de, Souza BS de, Azevedo PE de, Oliveira SL de, Medeiros MA de (2007) Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. *Ciênc. Agrotecnol.* 31: 267-273.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL, Nelson WL (2005) *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 7ª ed. Pearson. NJ, EEUU. 515 pp.
- Kratzke MG, Palta JP (1986) Calcium accumulation in potato tubers: role of basal roots. *Hortsci.* 21: 1022-1024.
- Lorenzi JO, Monteiro DA, Miranda Filho HS, Raij B van (1996) Raízes e tubérculos. En van Raij B, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1996) *Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*. Boletim Técnico 100. IAC. São Paulo, Brasil. pp. 221-223.
- Macedo MCM, Haag HP, Gallo JR (1981) Absorção de nutrientes por cultivares de batatinha (*Solanum tuberosum*). En Haag HP, Minami K. *Nutrição Mineral de Hortaliças*. Fundação Cargill. Campinas, Brasil. pp. 447-474.
- Magalhães JR (1985) *Nutrição e Adubação da Batata*. Nobel. São Paulo, Brasil. 51 pp.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA (1997) *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações*. 2ª ed. Potafos. Piracicaba, Brasil. 319 pp.
- Marschner H (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. 889 pp.
- Mengel K, Kirkby A (1987) *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Berna, Suiza. 687 pp.
- Miranda Filho HS, Granja NP, Melo PCT (2003) Cultura da batata. Apostila. Vargem Grande do Sul, Brasil. 68 pp.
- Nunes MA, Dias MA, Gaspar AM, Oliveira MD, Pinto E, Carapau AL (1981) Análise do crescimento da beterraba sacarina em cultura de primavera. *Agric. Lusit.* 40: 217-240.
- Paula MB, Fontes PCR, Nogueira FD (1986) Produção de matéria seca e absorção de macronutrientes por cultivares de batata. *Hort. Bras.* 4: 10-16.
- Raij B (1991) *Fertilidade do Solo e Adubação*. Ceres. Piracicaba, Brasil. 343 pp.
- Reis Junior RA, Fontes PCR (1996) Qualidade de tubérculos da batateira em função e doses de adubação potássica. *Hort. Bras.* 14: 170-174.
- Roberts S, Dole RE (1985) Potassium nutrition of potatoes. En Munson RD *Potassium in Agriculture*. American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 799-818.
- SAS (1996) *SAS/STAT: user's guide*, ver. 6.11. 4ª ed. vol. 2. SAS Institute. Cary, NC, EEUU. 842 pp.
- Tisdale SL Nelson WL (1982) *Fertilidad del Suelo y Fertilizantes*. Uteha. México. 156 pp.
- Villas-Boas RL (2001) Doses de nitrógeno para pimentão aplicadas de forma convencional e a través de fertirrigação. Tesis. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 66 pp.
- Yorinori GT (2003) *Curva de Crescimento e Acúmulo de Nutrientes pela Cultura da Batata cv. 'Atlantic'*. Tesis. ESALQ, Universidade de São Paulo. Brasil. 66 pp.