

DEMANDA NUTRIMENTAL DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) CV. ALPHA, EN LA REGIÓN DEL BAJÍO

V. Badillo-Tovar¹; J. Z. Castellanos-Ramos^{2†}; J. de J. Muñoz-Ramos²;
P. Sánchez-García¹; S. Villalobos-Reyes², P. Vargas-Tapia²

¹Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales. Apartado Postal 112, Celaya, Gto. C. P. 38010. MÉXICO. (†Autor responsable), Correo-e: casteja@attglobal.net

RESUMEN

Con el fin de estudiar la dinámica de acumulación de materia seca (MS) y de N, P y K en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Alpha, se realizaron tres ensayos en terrenos de productores en los ciclos de primavera verano (PV) y de otoño invierno (OI). Los suelos utilizados en este estudio fueron fertilizados para prever carencias nutrimentales. La fertilización consistió en: N 180 kg·ha⁻¹ en el ciclo de PV y N 250 kg·ha⁻¹ en el ciclo de OI. Además de 200, 300, 50 y 22 kg·ha⁻¹ de P₂O₅, K₂O, Ca y Mg, respectivamente. El riego fue por medio de un sistema por aspersión y no hubo restricciones de humedad. En las dos localidades estudiadas, se tomaron muestras durante el ciclo del vástago (tallos y hojas), raíz y tubérculo. Se determinó el contenido de materia seca (MS) y análisis mineral (N, P y K). Se alcanzó un rendimiento de 48 t·ha⁻¹ de tubérculo fresco (12.9 t·ha⁻¹ de materia seca) y 32 t·ha⁻¹ de tubérculo fresco (8.3 t·ha⁻¹ de materia seca), en los ciclos de PV y OI, respectivamente. La extracción total correspondiente a N, P y K fue 287, 33 y 372 kg·ha⁻¹ en el ciclo de PV y de 227, 24 y 358 kg·ha⁻¹, en el ciclo de OI. Para obtener una tonelada de tubérculo en el ciclo de PV se requirieron 6.0, 0.7 y 7.8 kg·ha⁻¹ de N, P y K respectivamente, mientras que el ciclo de OI la demanda de N, P y K fue ligeramente mayor con 7.1, 0.75 y 11.2 kg·ha⁻¹. También se presenta la extracción de N, P y K por componente de la planta (vástago, tubérculo y raíz), a lo largo del ciclo de desarrollo.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: extracción de nutrimentos N, P, K, biomasa, índice de cosecha.

NUTRIENT UPTAKE BY POTATO (*Solanum tuberosum* L.) CV. ALPHA IN THE BAJÍO REGION

ABSTRACT

With the purpose of studying the dynamics of dry matter (DM) and N, P, and K accumulation in potato cv. Alpha, we established three experiments in farmers' fields during the spring-summer (SS) and autumn-winter (AW) growth cycles. Soils in this study were fertilized to prevent any limitation of nutrients. Fertilization consisted of 180 and 250 kg N ha⁻¹ for SS and AW, respectively, plus 200 kg·ha⁻¹ of P₂O₅, 300 kg·ha⁻¹ of K₂O, 50 kg·ha⁻¹ of Ca and 22 kg·ha⁻¹ of Mg. Irrigation was applied by sprinkles and no soil moisture stress occurred at any time in the crop. Samples were periodically taken at two locations, and they consisted of: leaves and shoots, roots, and tuber. We determined dry matter content (DM) and N, P and K uptake. Yield reached 48 t·ha⁻¹ of fresh tuber (12.9 t·ha⁻¹ dry matter) and 32 t·ha⁻¹ of fresh tuber (8.3 t·ha⁻¹ dry matter), for SS and AW, respectively. Total extraction for N, P, and K was 287, 33 and 372 kg·ha⁻¹ for SS, and 227, 24 and 358 kg·ha⁻¹ for AW. To obtain one ton of tuber, the crop required 6.0, 0.7, and 7.8 kg of N, P and K for SS, and 7.1, 0.75, and 11.2 kg of N, P and K for AW. We also show the extraction of N, P, and K by component (leaves and shoots, tuber, and root) along the development cycle.

ADDITIONAL KEY WORDS: nutrient uptake, N, P, K, dry matter, harvest index

INTRODUCCIÓN

La cantidad de nutrimento extraído por un cultivo depende del volumen de producción obtenido y éste es función de las condiciones ambientales, otros factores de manejo y de la especie.

Al cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) se le relaciona con una alta demanda de potasio del cual extrae 1.5 veces más que de N y 4 a 5 veces más que de P. Dependiendo del ciclo de cultivo, las etapas de desarrollo de la papa se realizan bajo diferente régimen térmico. Durante el ciclo de PV, la fase vegetativa se desarrolla más

bien en condiciones relativamente frescas de temperatura, mientras que la fase generativa en condiciones cálidas. En cambio en el ciclo de OI, ocurre lo contrario. Tales condiciones requieren diferentes estrategias del manejo de fertilización dado que las tasas de demanda de nutrimentos son influenciadas por las condiciones ambientales.

La papa tiene una masa radical relativamente escasa y por lo mismo es más sensible a deficiencias de alguno de los nutrimentos (Mohammad *et al.*, 1999). En este sentido se requieren experimentos de campo que permitan comparar los requerimientos de nutrimentos en los diferentes ciclos de cultivo.

Entre los factores controlables que más influyen en la acumulación de nutrimentos está la fertilización, el riego y el manejo cultural. Al respecto Errebhi *et al.* (1998) concluyen que el manejo adecuado de la fertilización nitrogenada y del riego, incrementan la extracción de todos los nutrimentos. El riego por goteo y por aspersión, mejoran la calidad y rendimiento de papa de un 45 a 72 % con respecto al riego rodado (Boujelben y M'barek, 1997; Bosnjak y Pejic, 1997). En cuanto a la forma de aplicación, Mohammad *et al.* (1999) no encontraron una diferencia significativa en aplicar N al suelo y mediante riego por goteo. Otros factores importantes son el tipo de labranza (Westermann y Sojka, 1996) y la rotación de cultivos. Parment *et al.* (1999) recomiendan la alternancia con alguna gramínea para aprovechar el efecto residual y evitar contaminación ambiental.

La acumulación de materia seca (MS) en tubérculo de papa es importante por su influencia en el destino de la producción. Un alto contenido de MS favorece la industrialización de papa (Pritchard y Scanlon, 1997). Gmelig y Bodlaender (1981) observaron en cuatro cultivares, entre ellas Alpha, que la mayor acumulación de materia seca ocurrió en la primera parte del ciclo. La extracción de MS es diversa: por ejemplo para una extracción total de N de 113 a 181 kg ha⁻¹, se obtuvo una MS de 9 a 12 t ha⁻¹ en la variedad Danshakuimo (Osaki *et al.*, 1993). Como resultado de mas de 200 experimentos de campo el Instituto Internacional de la papa (IPI, 1993) obtuvo que el tubérculo contiene un promedio el 22.8 % de MS.

Para la obtención de rendimientos altos se requiere de la extracción de cantidades elevadas de nutrimentos. Los reportes en la literatura indican que para obtener rendimientos de 75 a 84 t ha⁻¹ se requieren de 300 a 420 kg ha⁻¹ de N (IPI, 1993). El potasio es el nutrimento más requerido por la planta y se le atribuyen importantes efectos sobre la calidad del tubérculo o frutos en diversos cultivos. Divis y Sterba (1997) mencionaron que se redujeron significativamente los daños mecánicos al tubérculo al aplicar cantidades de K₂O de 432 kg ha⁻¹ (360 kg ha⁻¹ de

K) en combinación con 40 a 120 kg ha⁻¹ de N. De acuerdo a varios autores, la extracción de K varía de 116 a 520 kg ha⁻¹ de K₂O, la de fósforo de 13 a 63 kg ha⁻¹ de P₂O₅, y la de azufre de 17 a 38 kg ha⁻¹ (Papadopoulos, 1992; IPI, 1993; Hegney *et al.*, 1997; Álvarez-Sánchez *et al.*, 1999; Jenkins y Hakoomat, 1999). Por citar un ejemplo, para el cv. Desiré, la extracción total de nutrimentos, para un rendimiento de 13.4 a 32.6 t ha⁻¹, fue de: 66 a 180, de 25 a 69, y de 55 a 192 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, respectivamente (Kádár, 2000).

El ritmo en que es requerido cada nutrimento por la planta es variable durante el ciclo. Saffigna y Keeney (1977) determinaron para el cultivar Russet Burbank una tasa promedio de extracción de N de 3 a 4 kg ha⁻¹ día⁻¹, desde 20 a los 70 días después de emergida la planta. Lauer (1986) reportó una extracción de N de 2.6 kg ha⁻¹ día⁻¹; y Westermann y Kleinkopf (1985) de 3.7 kg ha⁻¹ día⁻¹ con una tasa de crecimiento de tubérculos de 0.75 t ha⁻¹ día⁻¹. Greenwood *et al.* (1985) indicaron tasas de extracción de N de 4.6, 2.0, 2.3, 2.8, 3.0 y 0.36 kg ha⁻¹ día⁻¹ a los 26, 50, 80, 100, 110 y 122 días después de siembra, respectivamente. La tasa de extracción y la duración de la etapa de llenado determinan el rendimiento final. Los cultivares que continúan con el desarrollo de hojas y extracción de nutrimentos durante el máximo crecimiento del tubérculo, pueden obtener altos rendimientos, por lo que los requerimientos de nutrimentos varían.

El presente estudio tuvo por objetivo determinar en dos ciclos de cultivo de primavera-verano y otoño-invierno, la dinámica de acumulación nutrimental y de MS, así como las tasas de extracción de nutrimentos por el cultivo de papa cv. Alpha, en la región de El Bajío del estado de Guanajuato, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 1997, en la región agrícola del centro de México, bajo condiciones de riego por aspersión, se cultivó la papa cv. Alpha, durante los ciclos de primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI). La siembra se realizó en dos localidades: León (Localidad 1; un lote) y San Francisco del Rincón (Localidad 2; dos lotes); en surcos de 0.90 m de ancho por 8 m de longitud; empleando tubérculo de tamaño medio de segunda selección espaciados cada 22 cm. Las condiciones ambientales en las dos localidades se presentan en la Figura 1; las cuales, se complementan con los promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas y la precipitación acumulada, se presentan en el Cuadro 1. En cuanto a las características de los suelos utilizados, se especifican en el Cuadro 2.

El pH se determinó en la relación suelo-agua 1:2, el fósforo mediante el método Olsen y los cationes fueron extraídos con acetato de amonio (Sumner y Miller, 1996).

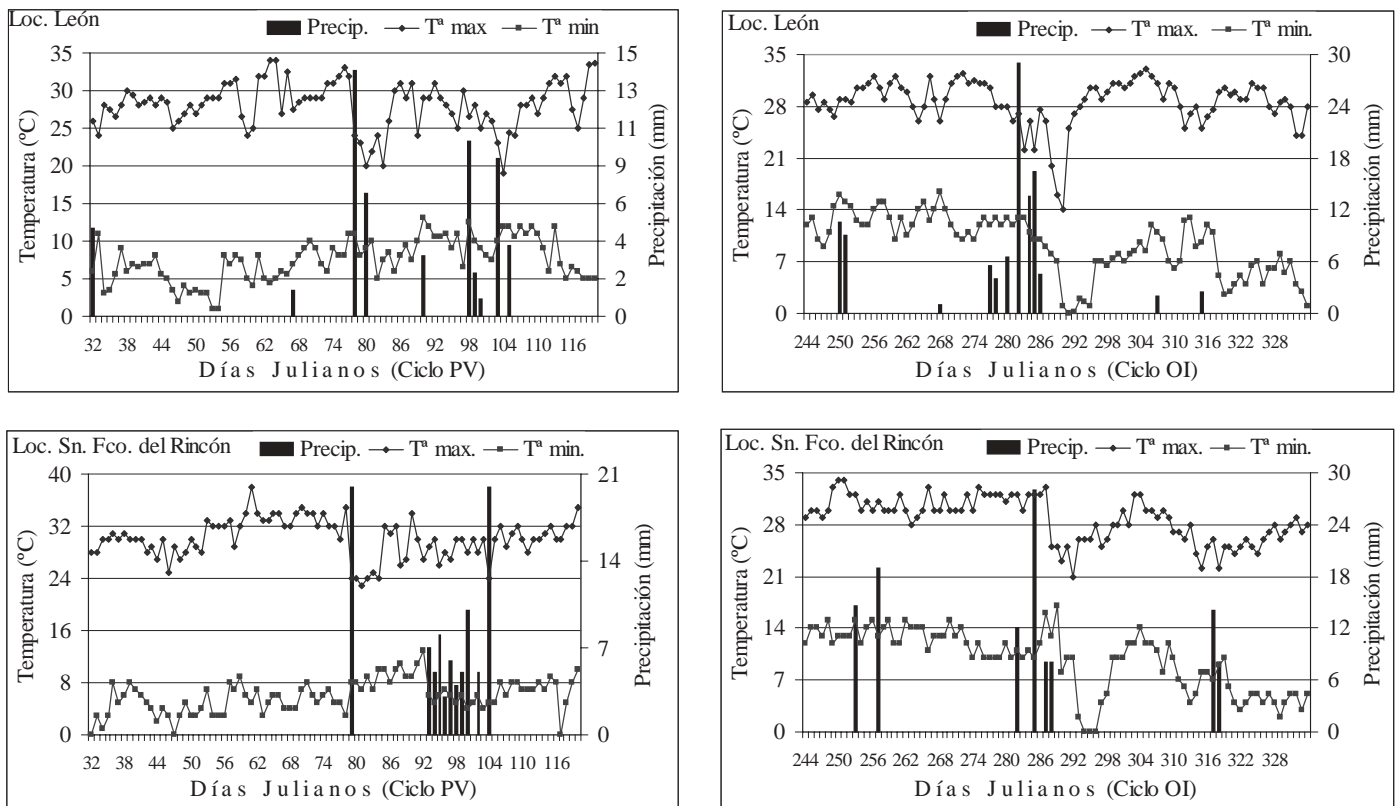


FIGURA 1. Condiciones agroclimáticas durante 1997 en dos localidades del estado de Guanajuato, México durante los ciclos de producción de papa durante los ciclos de primavera-verano y otoño invierno.

CUADRO 1. Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales y precipitación durante 1997, en dos localidades de estado de Guanajuato, México.

Localidad Ubicación	Ciclo	Mes	Tª max. °C	Tª min. °C	Precip. mm	Tª max. °C	Tª min. °C	Precip. mm
León	PV	Febrero	27.9	5.3	5.0	29.7	4.4	0
21° 08' 10" LN		Marzo	28.4	7.8	26.0	31.0	6.7	20
101° 42'32" LW		Abril	27.9	9.2	26.5	29.7	6.7	73
Sn. Fco. del Rincón	OI	Septiembre	29.5	12.8	20.5	30.7	13.4	33.5
20° 52'55" LN		Octubre	27.5	8.1	79.5	29.0	9.7	56
101° 51'25" LW		Noviembre	28.7	7.0	4.5	26.5	6.4	22

PV: primavera-verano; OI: otoño-invierno.

CUADRO 2. Características químicas de los suelos estudiados en la región de El Bajío, México

Localidad	Ciclo/ Siembra	pH	M.O. (%)	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg
				----- (mg·kg ⁻¹) -----				
León	P-V/ Enero 28	6.3	1.42	18	36.6	720	4524	891
Sn. Fco. del Rincón	P-V/ Febrero 02	7.0	1.66	14	28.2	988	6055	589
Sn. Fco. del Rincón	O-I/ Agosto 28	6.9	2.4	16	30.0	1157	4684	478

M.O.: materia orgánica; P-V: primavera-verano; O-I: otoño-invierno.

La fertilización nitrogenada aplicada fue de 180 y 250 kg·ha⁻¹ de N en PV y OI, respectivamente, utilizando como fuente de N, nitrato de amonio, fosfato monoamónico (MAP), nitrato de calcio y sulfato de magnesio. El 40 % del N se aplicó a la siembra y 60 % a los 22 días después de la emergencia (dde). La cantidad de 250 kg·ha⁻¹ de N en el ciclo de OI fue para asegurar un adecuado abastecimiento del mismo. Se complementó con P, K, Ca y Mg a cantidad de 200, 300, 50 y 22 kg·ha⁻¹ de P₂O₅, K₂O, Ca y Mg, utilizando como fuentes: superfosfato de calcio triple, sulfato de potasio, nitrato de calcio, MAP y sulfato de magnesio. La aplicación de potasio fue fraccionada, 40 % como fertilización de fondo y 60 % a los 22 dde; en cambio todo el fósforo, calcio y magnesio y al momento de la siembra.

Se colectaron muestras de planta completa en un área de 4 m² por cuadruplicado en PV y por quintuplicado en OI, a los 7, 22, 31, 42 y 56 dde y a los 8, 21, 35, 49 y 63 dde, respectivamente. La biomasa fue fraccionada en sus componentes: tallos, hojas, tubérculo y raíz, las cuales fueron lavadas para eliminar partículas de suelo, posteriormente se secaron a 70 °C hasta peso constante, la molienda se realizó haciendo pasar la muestra por un tamiz de 0.5 mm de diámetro (malla 35).

El contenido de N total se determinó por el método micro-Kjeldhal (Bremner y Mulvaney, 1982). El K se analizó por extracción acuosa para evitar precipitaciones del mismo en forma de cristales de perclorato de potasio y se cuantificó mediante absorción atómica. El P fue evaluado por el método de azul de molibdeno (Burriel y Hernando, 1947). Para el cálculo de los grados días desarrollo (GDD) se usó como base el promedio diario de temperatura mínima y máxima del aire (Figura 1), considerando una temperatura base (T_b) de 7.2 °C. Los GDD se relacionaron con las etapas de desarrollo del cultivo. La parte estadística del estudio se realizó mediante modelos de regresión polinomial, utilizando el paquete informático SAS Versión 6.12 (SAS Institute Inc., 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo del Cultivo

La Etapa I o crecimiento vegetativo, requirió de los primeros 15 días después de emergida la planta (dde); es decir, desde el desarrollo inicial hasta el inicio de formación de estolones (Cuadro 3). La Etapa II o tuberización, comprendió desde los 16 a los 30 dde, y finalizó con la aparición de flores (Cuadro 3). La Etapa III o llenado de tubérculo, ocurrió desde 30 a 54 dde, y se caracteriza por el crecimiento lineal de tubérculo. Finalmente la Etapa IV, que correspondió la maduración y crecimiento final de tubérculo, se identificó por el color amarillento del follaje y pérdida de hojas; esta etapa viene siendo la de llenado de tubérculos (Cuadro 3).

CUADRO 3. Etapas de desarrollo, días después de emergida la planta y grados días de desarrollo (GDD) requeridos por plantas de papa cv Alpha en dos ciclos de cultivo.

Etapa fenológica	Periodo	GDD por Ciclo de Cultivo	
	dde	PV	OI
I Crecimiento vegetativo	0 a 15	0 a 145	0 a 193
II Tuberización	16 a 30	156 a 279	207 a 395
III Llenado de tubérculos	31 a 54	290 a 529	409 a 663
IV Maduración	55 a 75	538 a 779	670 a 879

Dde: días después de la emergencia; PV: primavera-verano; OI: otoño-invierno; GDD: grados días desarrollo.

Para todas las variables estudiadas, no hubo diferencias entre las dos localidades del ciclo PV, por lo que los datos se integraron y se reportan en conjunto como ciclo PV.

Crecimiento y rendimiento del cultivo

En ambos ciclos se obtuvo un comportamiento similar en la acumulación de materia seca (MS) (Figura 2), así como la partición de la misma en vástago, tubérculo y raíz. En los ciclos de PV y OI, se obtuvo un rendimiento total en fresco de 48 y 32 t·ha⁻¹ y la correspondiente MS total acumulada al final del ciclo fue de 12.9 y 8.3 t·ha⁻¹, resultados similares de 9 a 12 t·ha⁻¹ de MS con el cv. Danshakuimo fueron informados por Osaki *et al.* (1993). La MS correspondiente representó un 26.9 y 25.9 %, valores ligeramente superiores a los reportados por el IPI (1993) de un 22.8 % de MS. Un mayor contenido de MS en la papa, favorece la industrialización de la misma (Pritchard y Scanlon, 1997).

Aunque hubo mayor rendimiento de biomasa en PV, relativamente la acumulación de MS a los 21 dde fue mayor en el ciclo de OI ya que representó un 26 % de la MS total, en cambio en PV fue de sólo un 16 %, lo anterior esta justificado por diferencias en el régimen térmico (Figura 1 y Cuadro 1). Lo anterior guarda relación con los GDD, siendo de 274 y 208 para OI y PV, respectivamente; es decir, que a mayor GDD, el porcentaje de incremento relativo de MS aumentó.

A mediados de ciclo de cultivo la MS representó el 34 % en PV (335 GDD) y el 49 % en OI (462 GDD). La proporción de MS obtenida en PV no corresponde a la encontrada por Gmelig y Bodlaender (1981), quienes indicaron que la mayor acumulación de materia seca ocurrió en la primera parte del ciclo. En este estudio se encontró que durante la “tuberización” y en la mayor parte de la etapa “llenado de tubérculo”, fue cuando se alcanzaron las mayores tasas de incremento de MS. Durante este periodo, es evidente que el incremento en MS fue más influenciado por el crecimiento del tubérculo que por la biomasa del vástago. Lo anterior se debe a que el

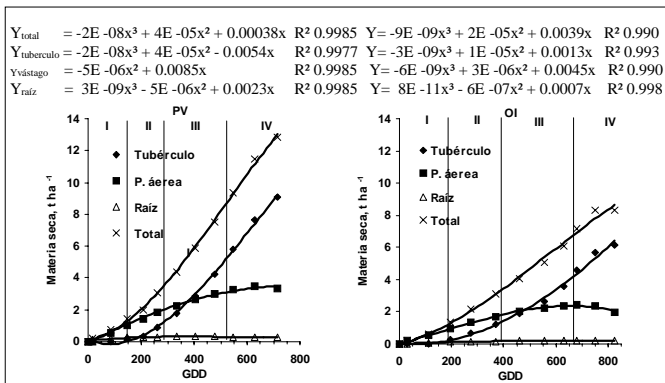


FIGURA 2. Dinámica de la acumulación y partición de materia seca en plantas de papa cv. Alpha durante dos ciclos de crecimiento. PV: primavera-verano; OI: otoño-invierno; GDD: grados días desarrollo.

tubérculo es influenciado principalmente por condiciones frescas de temperatura nocturna entre 12 a 16 °C. Por su parte, la biomasa radical, después de la etapa de crecimiento vegetativo, prácticamente permanece constante y tan solo representó en torno a 1.1 % de la MS total (Figura 2).

Extracción de nutrientes totales e índices de cosecha

Se observó que la extracción de nutrientes (N, P y K) fue mayor en el ciclo de PV respecto al de OI (Figura 3), debido principalmente a que en PV, se produjo un 55 % más de materia seca, diferencia que se debió principalmente a condiciones ambientales, ya que durante el OI, hay una menor radiación y por ende menor régimen de temperatura. Las extracciones fueron: $K > N >> P$ para ambos ciclos; las proporciones fueron de 1:0.77:0.09 y 1:0.63:0.08 para PV y OI, respectivamente, lo que significa que durante OI relativamente hubo una menor proporción de extracción de N (Cuadro 4).

Durante las primeras dos etapas de desarrollo las tasas de absorción de N y K, fueron constantes; no obstante, durante el llenado del tubérculo y maduración, la tasa de extracción de K fue mucho mayor que la de N, siendo las diferencias aún más evidentes en OI (Figura 3). La fuerte demanda de K en la segunda mitad del ciclo fue requerido para favorecer el balance hídrico; además, de propiciar una mayor calidad al producto (Divis y Sterba, 1997).

El P comenzó a acumularse a partir de los 40 dde y la demanda se incrementó ligeramente, manteniéndose prácticamente constante hacia la última etapa de crecimiento. Debido a que el fósforo es responsable de catalizar las reacciones metabólicas, también es requerido en forma constante por la planta, ya que es un constituyente de la molécula del ATP y de otros compuestos de alta energía; sin embargo, debido a su baja movilidad en el

suelo, este elemento generalmente se aplica en su totalidad, desde el momento de la siembra.

Para rendimientos de 75 a 84 t·ha⁻¹ el IPI (1993) reportó una extracción de N de 4 a 5 kg·t⁻¹; en cambio, en este estudio para rendimientos mucho más bajos de 48 y 32 t·ha⁻¹ la extracción de N aumentó a 6 y 7 kg·t⁻¹ correspondiente a los ciclos de PV y OI (Cuadro 4). En la extracción de nutrientes influyen las condiciones ambientales y hasta el cultivar, así Kádár (2000) indicó que para un rendimiento de tubérculos de 13.4 a 32.6 t·ha⁻¹ con el cultivar Desiré, la extracción de N, P y K correspondiente fue de 66 a 180, 11 a 30 y 46 a 159 kg·ha⁻¹, cantidades relativamente inferiores a las encontradas en este estudio (Cuadro 4).

El índice de cosecha de N varió de 0.71 a 0.76, valores similares han sido reportados para otros cultivares y condiciones (Biernod y Vos, 1992; Osaki *et al.*, 1993). Los índices de cosecha de fósforo fueron ligeramente superiores a los de N. En cambio, los de potasio fueron más bajos y aún en menor magnitud en el ciclo de OI. Por su parte los índices de cosecha de MS fueron similares a los de N (Cuadro 4).

Tasa de acumulación diaria

La cantidad de nutrientes requeridos por la planta para su óptimo desarrollo no es constante durante el ciclo fenológico. Por ello, antes de elaborar el programa de fertilización es conveniente conocer la demanda nutricional durante todo el ciclo de crecimiento para un volumen de producción esperado. Así, para el cv Alpha se determinaron las tasas de acumulación nutricional durante su ciclo de producción. En el ciclo de PV se observó que la demanda de N y K fue creciente hasta alcanzar la extracción máxima diaria (Figura 3). En el caso de N fue de 5.8 kg·ha⁻¹·día⁻¹ la cual ocurrió cuando se acumularon de 404 a 477 GDD o bien

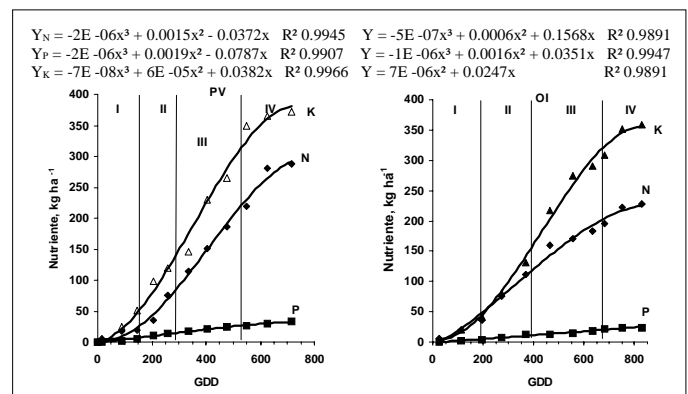


FIGURA 3. Dinámica de la extracción total de N, P y K en plantas de papa cv. Alpha durante dos ciclos de crecimiento. PV: primavera-verano; OI: otoño-invierno; GDD: grados día desarrollo.

CUADRO 4. Extracción de nutrientes totales e índices de cosecha en plantas de papa cv. Alpha en el estado de Guanajuato, México.

Nutrimiento	Extracción Total (kg·ha ⁻¹)		Extracción Unitaria (kg·t ⁻¹) ^z		Índice de Cosecha	
	PV	OI	PV	OI	PV	OI
Nitrógeno	287	227	5.98	7.09	0.71	0.76
Fósforo	33	24	0.69	0.75	0.73	0.79
Potasio	372	358	7.75	11.2	0.60	0.56
MS total	12,850	8,300			0.72	0.76

^zkg de nutrientes totales extraídos por tonelada de tubérculo producido (incluye residuo de cultivo).
PV: primavera-verano; OI: otoño-invierno; MS: materia seca.

cuando transcurrieron de 42 a 49 dde; al respecto Saffigna y Keeney (1977) para el cv. Russet Burbank reportaron una tasa promedio de extracción de 3 a 4 kg·ha⁻¹·día⁻¹ de N desde los 20 a los 70 días de emergida la planta. En el ciclo de OI, las tasas de absorción de N fueron de 4.5 kg·ha⁻¹·día⁻¹ superando a las reportadas por Greenwood *et al.* (1985) que fueron de 2.0, 2.3 y 2.8 kg·ha⁻¹·día⁻¹ a los 50, 80 y 100 días después de la siembra, respectivamente.

Por otra parte la tasa máxima de absorción de K fue de 7.5 kg·ha⁻¹·día⁻¹ superando a la de N, esto ocurrió durante los 260 a 450 GDD, es decir entre 28 a 35 dde. Posteriormente la tasa de demanda diaria decreció progresivamente hacia el final del ciclo de cultivo hasta 3.3 y 2 kg·ha⁻¹·día⁻¹ de N y K, respectivamente, en el ciclo de PV (Figura 4).

En cuanto a la tasa máxima de absorción de P, ésta escasamente llegó a superar los 0.5 kg·ha⁻¹·día⁻¹ y se mantuvo constante a través del ciclo de cultivo. En el ciclo de OI, la tasa de extracción máxima de K superó ligeramente a la del ciclo PV alcanzando los 8.5 kg·ha⁻¹·día⁻¹; casi el doble de la de N (Figura 4), para ambos elementos dicha demanda se alcanzó en torno a los 400 GDD (28-35 dde), valores ligeramente inferiores a los del ciclo de PV.

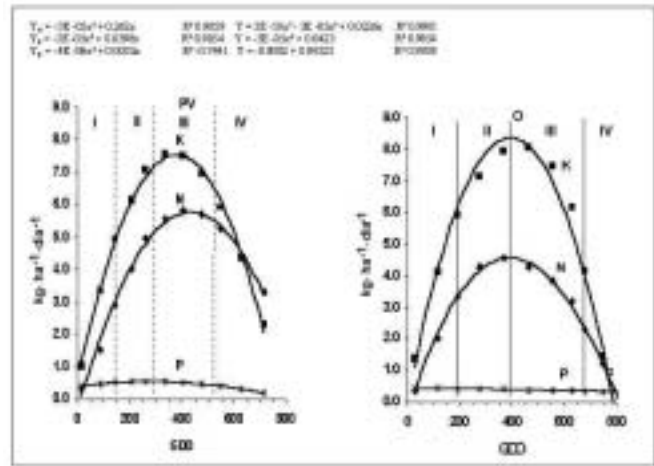


FIGURA 4. Tasa de acumulación diaria de N, P y K en la planta de papa cv. Alpha durante dos ciclos de crecimiento. PV: primavera-verano; OI: Otoño-invierno; GDD: grados día desarrollo.

Partición de la acumulación nutrimental

Nitrógeno

Independientemente del ciclo de cultivo la demanda de N se incrementó principalmente por el crecimiento de la parte aérea de la planta y no fue hasta después de los 300 GDD, cuando el tubérculo demandó el N de manera exponencial, llegando a sobrepasar a la demanda de N del vástago (tallo y hojas), lo cual ocurrió en torno a los 700 GDD (Figura 5). En cuanto a la demanda de N por la raíz, ésta fue mínima y prácticamente constante a través del ciclo de cultivo.

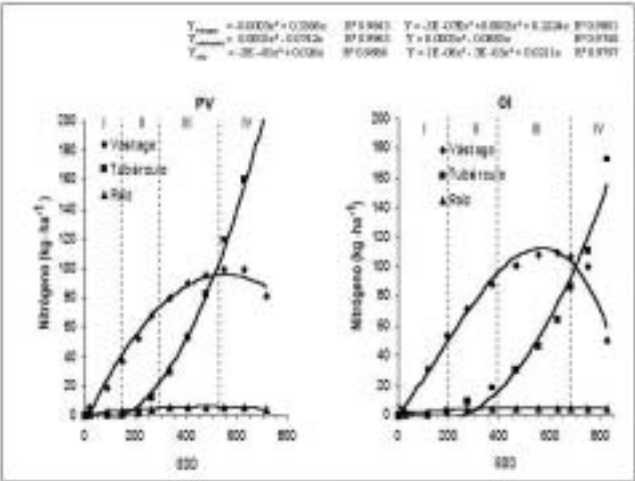


FIGURA 5. Dinámica de la extracción y partición de N en plantas de papa cv. Alpha durante dos ciclos de crecimiento. PV: primavera-verano; OI: otoño-invierno; GDD: grados día desarrollo.

Fósforo

Antes de los 435 GDD (45 dde) en PV y 581 GDD (44 dde) en OI la acumulación de P fue menor en el tubérculo que en la parte aérea y en fechas posteriores ocurrió lo contrario (Figura 6). En sí las raíces demandan relativamente pequeñas cantidades de P y prácticamente son constantes durante el ciclo de cultivo, como consecuencia de una relativamente escasa biomasa radical como lo señaló Mahammad *et al.* (1999). No obstante, el índice de cosecha promedio de P fue de 0.76 (Cuadro 4).

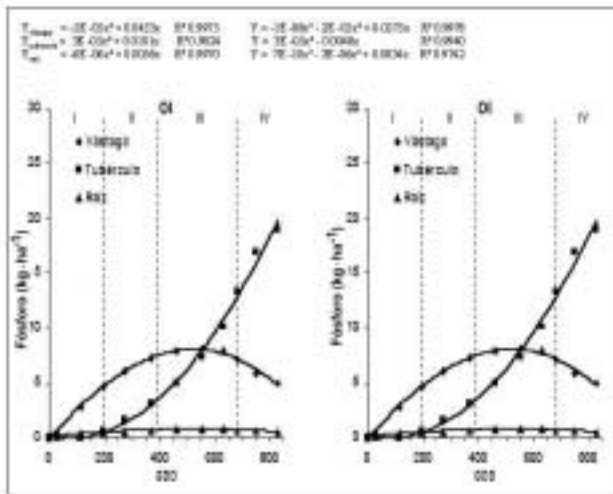


FIGURA 6. Dinámica de la extracción y partición de P en plantas de papa cv. Alpha durante dos ciclos de crecimiento. PV: primavera-verano; OI: otoño invierno; GDD: grados día desarrollo.

Potasio

A los 510 GDD (52 dde) en el ciclo de PV y un poco más tarde a los 772 GDD (65 dde) en el ciclo de OI, la acumulación de K en la parte aérea superó a la del tubérculo (Figura 7). A partir de entonces, la acumulación de K en tubérculo fue mayor con respecto al vástago, lo cual indica una removilización de fotoasimilados de los órganos fuente (vástago) al órgano de reserva (tubérculo). En el ciclo de PV, la acumulación de K en el tubérculo fue mucho más gradual durante el ciclo de cultivo habiendo poca diferencia con respecto a la acumulación de K en el vástago, lo cual permitió un índice de cosecha de K de 0.60 (Cuadro 4).

En cambio, durante el ciclo de OI, la acumulación de K ocurrió en mayor medida en el vástago y posteriormente

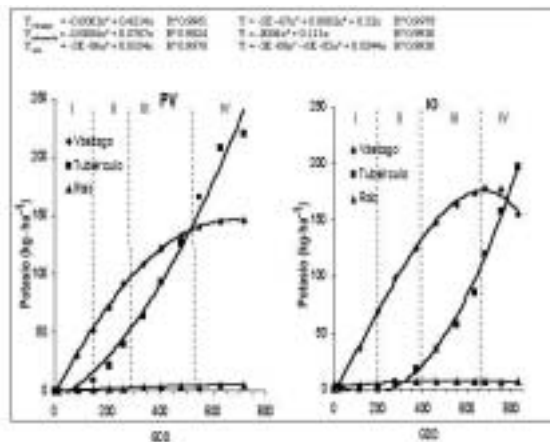


FIGURA 7. Dinámica de la extracción y partición de K en plantas de papa cv. Alpha durante dos ciclos de crecimiento. PV: primavera-verano; OI: otoño-invierno; DGG: grados día desarrollo.

después de los 400 GDD su incremento en el tubérculo fue considerable (Figura 7); no obstante, la eficiencia de absorción de K en este ciclo fue el más bajo de los tres nutrientes estudiados (N, P y K) ya que el índice de cosecha de K, tan solo fue de 0.58 (Cuadro 4).

CONCLUSIONES

El cultivo de papa en el ciclo de primavera-verano produjo 12.9 t·ha⁻¹ de materia seca, mientras que en el ciclo de otoño-invierno la producción de materia seca fue menor en un 35.6 %. Las mayores tasas de incremento de MS ocurrieron durante la "tuberización" y la mayor parte se ocupó en el "llenado del tubérculo".

La proporción de extracciones de potasio : nitrógeno : fósforo fueron de 1:0.77:0.09 y 1:0.63:0.08 para los ciclos de PV y OI, respectivamente.

Las tasas máximas de absorción de N fueron de 5.8 y 4.5 kg·ha⁻¹·día⁻¹ para los correspondientes ciclos de PV y OI, lo cual ocurrió cuando se acumularon en torno a 400 grados día de desarrollo (GDD). En cambio la tasa de absorción de K fue de 7.5 y 8.5 kg·ha⁻¹·día⁻¹ y las de P, fueron de tan solo 0.5 kg·ha⁻¹·día⁻¹.

La demanda de N se incrementó por el crecimiento del vástago de la planta y después de los 300 GDD, el tubérculo surge con una gran demanda de N. Los requerimientos de K por la parte aérea de la planta de papa fue mayor antes de los 510 GDD y posteriormente fueron sobrepasados por la demanda del tubérculo.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, E.; ETCHEVERS, D.; ORTIZ, J.; NÚÑEZ, R.; VOLKE, V.; TIJERINA, L.; MARTÍNEZ, A. 1999. Biomass production and phosphorus accumulation of potato as affected by phosphorus nutrition. *Journal of Plant Nutrition* 22(1): 205-217.
- BIEMOND, H.; VOS, J. 1992. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 2. The partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate. *Annals of Botany* 70: 37-47.
- BOSNJAK D.; PEJIC, B. 1997. Potato water requirement in the Chernozem zone of Yugoslavia. *Acta Horticulturae* 449(1): 211-215.
- BOUJELBEL A.; BAREK, K. M. 1997. Potato crop response to drip irrigation system. *Acta Horticulturae* 449(1): 241-243.
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. 1982. Nitrogen-total, pp. 495-624. In: *Methods of Soil Analysis*. PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (eds.). Agronomy No. 9, part 2, 2nd edition. ASA, Soil Sencie Society of American Books. Madison, WI., USA.
- BURRIEL, F.; HERNANDO, V. 1947. El fósforo en los suelos. Contribución a la determinación colorimétrica del fósforo. *Anal. Edaf. Eco. Fis. Veg.* 6: 546-582.
- DIVIS J.; STERBA, Z. 1997. Relationship of fertilization and mechanical damage to potato tubers in Krása cultivar. *Rostlinna Vyroba*

43(4): 199-204.

- ERREBHI, M.; ROSEN, C. J.; GUPTA, S. C.; BIRONG, D. E. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal* 90: 10-15.
- GREENWOOD, D. J.; NEETESON, J. J.; DRAYCOTT, A. 1985. Response of potatoes to N fertilizer: quantitative relations for components of growth. *Plant and Soil* 85: 163-183.
- GMELIG M., H. D.; BODLAENDER, K. B. A. 1981. Varietal differences in growth, development and tuber production of potatoes. *Neth. J. Agric. Sci.* 29: 113-127.
- HEGNEY, M. A.; MCPHARLIN, I. R.; JEFFERY, R. C. 1997. Response of winter-grown potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to applied and residual phosphorus on a Karrakatta sand. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37: 131-139.
- IPI. 1993. Fertilizing for high yield potato. International Potash Institute. Basel, Switzerland. Bulletin No. 8. 94 p.
- JENKINS P. D.; HAKOOMAT, A. 1999. Growth of potato cultivars in response to application of phosphate fertilizer. *Ann. Appl. Biol.* 135: 431-438.
- KÁDÁR, I. 2000. Nutrient uptake of potato (*Solanum tuberosum* L.) on calcareous Chernozem soil. *Növénytermelés* 49(5): 533-545.
- LAUER, D. A. 1986. Russet Burbank yield response to sprinkler-applied nitrogen fertilizer. *American Potato Journal* 63: 61-69.
- MAMAD, M. J.; ZURAIQI, S.; QUASMEH, W.; PAPADOPOULOS, I. 1999. Yield response and nitrogen utilization efficiency by drip-irrigated potato. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 54: 243-249.
- OSAKI, M.; YOSHIDA, M.; NAKAMURA, T.; TADANO, T. 1993. Production efficiency of nitrogen absorbed by potato plant at various growth stages. *Soil Sci. Plant Nutr.* 39: 583-593.
- PAPADOPOULOS, I. 1992. Phosphorus fertigation of trickle-irrigated potato. *Fertilizer Research* 31: 9-13.
- PARENT, L. H.; TREMBLAY, C.; KARAM, A. 1999. Potato response to crop sequence and nitrogen fertilization following sod breakup in a Gleyed Humo-Ferric Podzol. *Canadian Journal of Plant Science* 79: 439-446.
- PRITCHARD, M. K.; SCANLON, M. G. 1997. Mapping dry matter and sugars in potato tubers for prediction of whole tuber process quality. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 461-467.
- SAFFIGNA, P. G.; KEENEY, D. R. 1977. Nitrogen and chlorine uptake by irrigated Russet Burbank potatoes. *Agronomy Journal* 69: 258-264.
- SAS.1995. ANOVA and GLM. SAS user guide statistics. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA.
- SUMNER, M. E.; MILLER, W. P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *In: Methods of Soil Analysis. SPARKS, D. L.; (ed.), Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Books. Madison, WI., USA.*
- WESTERMANN, D. T.; KLEINKOPF, G. E. 1985. Nitrogen requirements of potatoes. *Agronomy Journal* 77: 616-621.
- WESTERMANN, D. T.; SOJKA, R. E. 1996. Tillage and nitrogen placement effects on nutrient uptake by potato. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 60: 1448-1453.