

ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN EL CULTIVAR DE PAPA MNF-80^{1/}

Gilberto Cabalceta^{2/*}, Miren Saldias^{**}, Alfredo Alvarado*

Palabras clave: Curvas de absorción, papa, *Solanum tuberosum*, Andisoles, nutrición.

Keywords: Absorption curves, potato, *Solanum tuberosum*, Andisols, nutrition.

Recibido: 03/10/05

Aceptado: 20/03/06

RESUMEN

Se determinaron las curvas de crecimiento y absorción de nutrientes de la variedad de papa MNF-80 en 2 zonas en las laderas del volcán Irazú, una situada a 3000 msnm (Irazú) y otra a 1500 msnm (Juan Viñas), en Andisoles de fertilidad moderada. Cada 15 días después de la siembra (DDS) se tomaron muestras, las cuales se dividieron en parte aérea, tubérculo y raíz, para medir su peso fresco y seco y la concentración de nutrientes. La tasa de crecimiento fue mayor en Juan Viñas (80-90 días a madurez) que en Irazú (135 días), debido a que a mayor altitud, la temperatura, la luminosidad y la velocidad de desarrollo disminuyen. Los nutrientes absorbidos en mayor cantidad en ambas fincas fueron K y N (>100 kg ha⁻¹), seguidos por P, Ca, Mg y S (8-20 kg ha⁻¹). En la finca Irazú, para un rendimiento de 36 t ha⁻¹, se absorbió 110, 15, 166, 12, 10, y 11 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente. También, 904, 68, 162, 317, y 42 g ha⁻¹ de Fe, Cu, Zn, Mn y B, respectivamente. En la finca Juan Viñas, para un rendimiento de 28 t ha⁻¹, se absorbió 133, 8, 173, 22, 10, y 10 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente. También, 1097, 68, 181, 651, y 84 g ha⁻¹ de Fe, Cu, Zn, Mn, y B, respectivamente. En Irazú la mayor absorción de

ABSTRACT

Nutrient absorption curves of potato cv MNF-80. Absorption curves of nutrients of potato cv MNF-80 were determined at the Irazú (3000 masl) and Juan Viñas (1500 masl) sites, planted on Andisols of medium fertility status. Tissue samples were taken every 15 days after planting; separated into aerial biomass, tubers and roots, to estimate dry weight and nutrient contents. At Juan Viñas the crop matured after 80-90 days, contrasting with 135 days at Irazú, due to temperature, total radiation, and growth rate reductions at the higher elevation. Higher amounts of absorbed K and N in both farms (>100 kg ha⁻¹) were followed by smaller amounts of P, Ca, Mg y S (8-20 kg ha⁻¹). At the Irazú site, the potato yielded 36 t ha⁻¹, and absorbed 110, 15, 166, 12, 10 and 11 kg ha⁻¹ of N, P, K, Ca, Mg and S, respectively. Also, 904, 68, 162, 317 and 42 g ha⁻¹ of Fe, Cu, Zn, Mn and B, respectively. At the Juan Viñas site, the potato yielded 28 t ha⁻¹, and absorbed 133, 8, 173, 22, 10 and 10 kg ha⁻¹ of N, P, K, Ca, Mg and S, respectively. Also, 1097, 68, 181, 651 and 84 g ha⁻¹ of Fe, Cu, Zn, Mn and B, respectively. At the Irazú site most of N, P, K, Ca, Mg and S were absorbed up to 60 days after planting, and except for Ca, the other

1/ Parte de la tesis de Ing. Técnico Agrícola del segundo autor. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: gcabalceta@cia.ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
** Universidad Pública de Navarra. Navarra, España.

N, P, K, Ca, Mg y S ocurrió hasta los 60 DDS, y a excepción del Ca, los demás nutrientes presentan otro momento de absorción al final del ciclo. En la finca Juan Viñas la mayor absorción total de N, P, K, Ca, Mg y S ocurrió hasta los 45 DDS.

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, existen aproximadamente 1500 pequeños y medianos productores de papa, que cultivan entre 2500 y 2700 ha en las provincias de Cartago y Alajuela, que producen entre 80000-90000 t año⁻¹. Sin embargo, cada año el país importa alrededor de 6500 t de papa prefrita congelada y papa fresca en los meses de diciembre y enero, esto debido a que no produce lo requerido por el mercado local (Parral 2004). La poca superficie sembrada con este cultivo hace muy vulnerables a los productores cuando se trata de economía de escala y de globalización de mercados.

El Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA/UCR) trabaja con más de 10 variedades de papa, que podrán liberarse a corto plazo para su producción comercial (Parral 2004). Una de estas variedades es la MNF-80, la cual fue introducida por el Laboratorio de Biotecnología de Plantas del CIA/UCR desde Holanda. Los tubérculos ovalados de piel lisa, color ocre y carne crema presentan un período medio de latencia (aproximadamente 2,5 meses), tienen ojos casi superficiales, son de tamaño medio, presentan alto contenido de almidón y se producen en gran número. Es una variedad que se adapta bien al consumo fresco e industrial, especialmente para la preparación de papas tostadas. La variedad posee una alta resistencia a la sarna común (*Streptomyces scabies*), tizón tardío (*Phytophthora infestans*), *Rhizoctonia*, pie negro (*Erwinia carotovora* subsp. atroseptica), y al biotipo A del nematodo dorado de la papa; posee resistencia de mediana a alta a virus y mediana a la sequía.

La introducción de nuevo material genético, conlleva la necesidad de reevaluar las prácticas agronómicas asociadas, tales como los

elements showed a second peak of absorption at the end of the crop cycle. At the Juan Viñas site only one peak of absorption was observed up to 45 days after planting.

requerimientos nutricionales, ya que un manejo adecuado de la fertilización redundará en beneficios tanto económicos como edafológicos para la zona (Soto 2001). Este fue el principal motivo de la realización del presente trabajo, en el cual se determinó las curvas de absorción de nutrientes de esta variedad. Sancho (1999) y Bertsch (2003), afirman que la extracción de nutrientes depende de factores internos, como el potencial genético de la planta o la edad, y de factores externos que son los relacionados con el ambiente en que se desarrolle el cultivo, tales como la temperatura, humedad, suelo, etc. De lo anterior se deduce que cada curva es específica para cada variedad y depende de las condiciones en las que se esté desarrollando.

El sobreuso de fertilizantes es uno de los mayores problemas en el cultivo de la papa en Costa Rica. En un ensayo llevado a cabo por Jackson *et al.* (1981), se comprobó que los agricultores utilizaban dosis de fertilizante mayores a las requeridas por el cultivo, lo que provocaba una disminución en los rendimientos, además de contaminar los suelos e incurrir en gastos innecesarios. Por lo tanto, para un manejo correcto de la variedad es necesario de un estudio de absorción de nutrientes, que ayude a los productores a afinar los programas de fertilización, con el fin de optimizar la producción y reducir los excesos en el uso de fertilizantes.

Antes de hacer una curva de absorción se debe realizar la curva de crecimiento del cultivo, en términos de peso seco de la biomasa. Esto resulta de utilidad ya que así quedan establecidas las etapas fenológicas más importantes del mismo y la participación de cada tejido en ellas. En el caso de la papa, después de la siembra, el tubérculo madre produce brotes y raíces, lo que requiere de una adecuada humedad en el suelo.

Una vez que la planta emerge, el crecimiento de la parte aérea y el de las raíces es paralelo. El inicio del crecimiento de los tubérculos se produce de 2-4 semanas después de la emergencia de la planta y continúa durante un largo periodo de tiempo (Alonso 2002). Inicialmente, la planta distribuye los productos de la fotosíntesis hacia todos los tejidos y al final hacia los tubérculos (Villalobos 2001), asociándose un crecimiento tardío de los tubérculos con un crecimiento excesivo de la biomasa aérea (Alonso 2002). La velocidad y cantidad de crecimiento de ambas partes depende de factores como: la variedad utilizada; la temperatura; la humedad; la nutrición; y la altitud; factores que tienden a alargarse con la elevación.

La fertilización del cultivo debe sincronizarse para ser aplicada cuando la planta lo necesite, por esto son importantes las curvas de absorción de nutrientes (Bertsch 2003). En Costa Rica se efectúa 2 aplicaciones al suelo, una a la siembra y otra a la aporca, la primera con una fórmula alta en P_2O_5 y la segunda con una fórmula más alta en N y K_2O , dada la importancia de este último en la formación y transporte de carbohidratos hacia el tubérculo y el efecto positivo que tiene sobre la calidad de la cosecha. El resto de las aplicaciones se hacen vía foliar en etapas más avanzadas del cultivo. Se emplea fórmulas completas de fertilizantes comerciales, las más habituales son el 10-30-10, 8-32-6, 12-24-12, 12-11-18-3,8 (S), DAP, MAP, etc.

Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, se realizó la curva de absorción de nutrientes para papa *Solanum tuberosum* cv. MNF-80, con el propósito de afinar las recomendaciones de fertilización en cuanto a dosis y momento de aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en 2 fincas pertenecientes a la empresa Omega-Juan Viñas, ambas localizadas en la provincia de Cartago, una situada a 7 km del cráter del volcán Irazú

a 3000 msnm y la otra en la Hacienda Juan Viñas a 1500 msnm. Las 2 fincas se encuentran en Andisoles, en Irazú el suelo clasifica como Vitric Hapludands, llueve entre 1800 y 2300 l m⁻³ (mm) anuales, y la temperatura varía entre 9-12°C, características típicas de la zona de vida Bosque muy húmedo Montano (Tosi 1969). En Juan Viñas el suelo clasifica como Typic Hapludands, llueve entre 2000-4000 l m⁻³ (mm) al año, y la temperatura oscila entre 20-24°C, condiciones típicas de la zona de vida Bosque muy húmedo Montano Bajo (Tosi 1969).

La siembra en Irazú se realizó el 15 de agosto del 2004, y en Juan Viñas 1 mes después, empleando semilla de papa *Solanum tuberosum* cv MNF-80, proveniente de semilla categoría básica. La siembra se hizo manualmente a una distancia de 25 cm entre plantas y 35 cm entre surcos. La aporca se realizó a los 30 DDS en Juan Viñas y a los 50 DDS en Irazú. A los 80 DDS en Juan Viñas y a los 120 DDS en Irazú se quemó el cultivo. La unidad experimental consistió en 3 surcos de 2 m de largo y 0,35 m de ancho cada uno, con un área aproximada de 2,1 m², la distancia lineal útil por hectárea fue de 11100 m, en cada metro había 3 plantas para una densidad de 33300 plantas ha⁻¹.

Las principales características de fertilidad de los suelos en ambos sitios, determinados en muestras tomadas 1 mes antes de la siembra de papa se presentan en el cuadro 1. A las muestras recolectadas se les efectuó análisis de laboratorio en el CIA/UCR. A las muestras se les analizó el pH en agua, la acidez intercambiable, Ca y Mg en KCl 1N; P, K, Zn, Cu, Mn y Fe en Olsen Modificado (Díaz-Romeu y Hunter 1978).

Con base en los análisis de suelo, se determinó la fertilización para el desarrollo del cultivo. Se hizo una aplicación de 2,0 t ha⁻¹ de cal dolomítica en la finca Irazú y en Juan Viñas de 1,5 t ha⁻¹. La fertilización con N, P y K se hizo de manera fraccionada; a los 13 DDS se aplicó 25 sacos de 10-30-10, los cuales proveían

Cuadro 1. Análisis químico de los suelos de las fincas bajo estudio, previo a la siembra de papa.

Identif.	pH	Ac.Int.	Ca	Mg	K	CICE*	SA**	P	Fe	Mn	Zn	MO***
Irazú	5,5	0,58	2,85	0,82	0,18	4,43	13	59	551	12	4,9	6,19
Juan Viñas	5,6	0,47	2,86	1,36	0,08	4,77	10	5	108	6	19,3	15,35
Nivel crítico ⁺	5,5	0,50	4,00	1,00	0,10	5,00	10	50*	10	5	3,0	5

⁺ Niveles críticos considerados por Soto (2001), para papa.

* CICE: Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva (suma Ca, Mg, K)

** SA: % de Saturación de Acidez ((Ac. Int./CICE)*100)

*** MO: materia orgánica, método Walkley y Black

al suelo de 124 kg de N, 372 kg de P₂O₅ y 124 kg de K₂O. A los 42 DDS se fertilizó con 12 sacos de la fórmula 13-9-23-9,8, que aportaban al suelo, 78 kg de N, 54 kg de P₂O₅, 138 kg de K₂O, y 58,8 kg de MgO. Como abonos foliares se aplicó Ca, K, Mg, citoquininas y multiminerales y K con aminoácidos al final del ciclo. Con las aplicaciones del fungicida protector Mancozeb se aportaron cantidades de Zn y Mn suficientes para cubrir las necesidades de la planta.

En cada una de las 5 repeticiones, cada 15 días después de la siembra, se tomó de lotes seleccionados al azar y con condiciones de crecimiento óptimas, tejido de la parte aérea, tubérculo y raíz de 3 plantas del surco central, que corresponden con 1 m de parcela útil. Se realizó 5 ó 7 muestreos en el tiempo, dependiendo de la localidad, para un total de 75 muestras en Juan Viñas y de 105 muestras en Irazú, esto debido a que en Juan Viñas el ciclo vegetativo es más corto en función de su menor elevación y de su mayor temperatura ambiental. Las muestras secas de parte aérea, tubérculo y raíz se pasaron por un molino para tejido foliar donde se molieron y tamizaron. A cada fracción se le realizó el análisis químico para P, Ca, Mg, K, Mn, Zn, Cu, Fe, S y B (CIA 2006, PO1), empleando un horno de microondas para la digestión con HNO₃ (CIA 2006, PO2) y leyendo en un ICP Plasma (CIA 2006,

P10). El N se determinó en un autoanalizador de combustión de N (CIA 2006, P06).

Se estimó la absorción total de nutrimentos, la cual consiste en multiplicar la concentración de cada elemento por el peso seco (biomasa) de cada fracción estudiada de la planta.

$NUT\ kg\ ha^{-1} = [(PS\ tejido\ (kg\ ha^{-1}) \times (NUT\ \%))/100]$ (cuando las concentraciones se expresan en porcentaje).

$NUT\ kg\ ha^{-1} = [(PS\ tejido\ (kg\ ha^{-1}) \times (NUT\ mg\ kg^{-1}))/1000]$ (cuando las concentraciones se expresan en mg kg⁻¹).

Además, se estimó el incremento porcentual de la cantidad promedio de nutrimentos absorbidos por período de muestreo; este valor se obtiene a partir de la cantidad total del nutrimento absorbido en cada edad, al cual se le resta la cantidad obtenida en el período de evaluación anterior.

Para determinar la representatividad de las muestras, se realizaron promedios, desviaciones estándar (D.E.) y coeficientes de variación (C.V.) de los datos, considerando muestras representativas aquellas $\leq 20\%$ de C.V.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cuadros 2 y 3 se presenta los datos de crecimiento y absorción de nutrimentos de la variedad de papa MNF-80, expresados en kg ha⁻¹ y referidos a los rendimientos de tubérculos, en Irazú y Juan Viñas, respectivamente.

Cuadro 2. Peso seco, concentración y cantidad de nutrientes absorbidos por los diferentes tejidos de papa MNF-80, durante su ciclo de vida, en Irazú.

		IRAZÚ																								
Tejido	Días	PESO SECO					CONCENTRACIÓN					CANTIDAD ABSORBIDA														
		g pl ⁻¹	kg ha ⁻¹	%					mg kg ⁻¹					kg ha ⁻¹												
				N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
	30																									
Tubérculo	60	20,4	678	1,75	0,25	2,88	0,05	0,12	0,15	0,15	62	10	20	9	4,6	12	2	20	0,34	0,8	1,0	4,2	7	14	6	3,1
	75	53,2	1771	1,74	0,28	2,81	0,03	0,12	0,16	53	7	19	10	6,6	31	5	50	0,53	2,1	2,8	94	12	34	18	11,7	
	90	106,9	3559	1,22	0,21	2,2	0,06	0,12	0,14	56	14	16	10	5,8	43	7	78	2,14	4,3	5,0	199	50	57	36	20,6	
	110	155,4	5175	1,03	0,18	2,06	0,06	0,12	0,13	58	6	13	8	5,0	53	9	107	3,10	6,2	6,7	300	31	67	41	25,9	
	135	216,3	7203	1,53	0,21	2,3	0,05	0,14	0,15	62	9	18	7	4,0	110	15	166	3,60	10,1	10,8	447	65	130	50	28,8	
	30																									
Parte aérea	60	33,3	1107	6,07	0,42	8,98	0,7	0,58	0,44	237	19	75	151	18,0	67	5	99	7,75	6,4	4,9	262	21	83	167	19,9	
	75	35,8	1192	5,09	0,37	8,42	0,93	0,61	0,43	269	14	71	214	21,4	61	4	100	11,09	7,3	5,1	321	17	85	255	25,5	
	90	32,3	1074	3,34	0,24	6,87	0,89	0,45	0,34	337	15	84	249	18,2	36	3	74	9,56	4,8	3,7	362	16	90	267	19,5	
	110	17,7	588	2,56	0,17	5,09	1,1	0,39	0,24	559	12	82	299	21,1	15	1	30	6,47	2,3	1,4	329	7	48	176	12,4	
	135																									
	30																									
Raíz	60	3,7	124	3,45	0,23	4,65	0,51	0,34	0,29	695	19	94	93	15,4	4	0,29	6	0,63	0,4	0,4	86	2	12	12	1,9	
	75	3,8	128	2,72	0,22	3,8	0,47	0,32	0,22	409	14	91	81	14,7	3	0,28	5	0,60	0,4	0,3	52	2	12	10	1,9	
	90	3,9	130	2,34	0,19	2,86	0,54	0,35	0,19	774	16	112	107	16,1	3	0,25	4	0,70	0,5	0,2	100	2	15	14	2,1	
	110	3,4	115	1,86	0,16	2,07	0,73	0,39	0,17	2390	22	129	149	17,4	2	0,18	2	0,84	0,4	0,2	274	3	15	17	2,0	
	135																									
	30																									
Total	60	1910		83	7	125	9	8	6,3	391	30	108	185	25,0												
	75	3091		95	10	155	12	10	8,2	467	31	130	283	39,1												
	90	4763		82	10	156	12	10	8,9	662	68	162	317	42,3												
	110	5878		71	10	139	10	9	8,3	904	41	130	234	40,3												
	135	7203		110	15	166	4	10	10,8	447	65	130	50	28,8												
TOTAL	7203		110	15	166	12	10	10,8	904	68	162	317	42,3													
COSECHA			110	15	166	4	10	10,8	447	65	130	50	28,8													
% del total			100%	101%	100%	29%	100%	100%	100	49%	95%	80%	16%													

La densidad de siembra fue de 33300 plantas ha⁻¹

Cuadro 3. Peso seco, concentración y cantidad de nutrimentos absorbidos por los diferentes tejidos de papa MNF-80, durante su ciclo de vida, en Juan Viñas.

		JUAN VIÑAS																							
Tejido	Días	PESO SECO		CONCENTRACIÓN										CANTIDAD ABSORBIDA											
		g pl ⁻¹	kg ha ⁻¹	%										kg ha ⁻¹											
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B		
		g ha ⁻¹																							
Tubérculo	30	7	218	2,3	0,27	2,9	0,11	0,14	0,18	1,28	10	28	15	9	5	1	6	0,2	0	0,4	28	2	6	3	2,0
	45	60	1986	1,94	0,19	2,57	0,03	0,12	0,15	49	7	20	8	6,6	39	4	51	1	2	3,0	97	14	40	16	13,1
	60	105	3497	1,68	0,18	2,23	0,04	0,13	0,15	89	8	18	12	6,9	59	6	78	1	5	5,2	311	28	63	42	24,1
	80	152	5071	1,41	0,16	2,17	0,05	0,12	0,14	62	13	13	10	6,2	72	8	110	3	6	7,1	314	66	66	51	31,4
Parte aérea	30	29,9	997	5,7	0,34	7,46	0,82	0,41	0,35	156	16	69	181	22,2	57	3	74	8	4	3,5	156	16	69	180	22,1
	45	50,9	1696	5,19	0,24	6,88	1,17	0,42	0,36	218	31	69	364	40,4	88	4	117	20	7	6,1	370	53	117	617	68,5
	60	23,9	797	3,79	0,18	5,76	1,16	0,3	0,26	638	12	78	345	33,7	30	1	46	9	2	2,1	508	10	62	275	26,9
Raíz	30	4,1	136	3,41	0,2	3,6	0,68	0,29	0,23	457	16	114	106	18,6	5	0,3	5	1	0	0,3	62	2	15	14	2,5
	45	6,0	199	3,38	0,15	2,83	0,56	0,26	0,21	295	9	120	88	12,9	7	0,3	6	1	1	0,4	59	2	24	18	2,6
	60	4,4	148	2,48	0,17	2,25	0,78	0,3	0,21	1880	19	119	193	17,2	4	0,3	3	1	0	0,3	278	3	18	29	2,5
Total	30		1351												66	4	86	9	5	4,2	246	20	90	198	26,6
	45		3880												133	8	173	22	10	9,5	526	68	181	651	84,2
	60		4442												93	8	127	12	7	7,6	1097	40	143	345	53,5
	80		5071												72	8	110	3	6	7,1	314	66	66	51	31,4
TOTAL		5071												133	8	173	22	10	10	1097	68	181	651	84,2	
COSECHA														72	8	110	3	6	7,1	314	66	66	51	31,4	
% del total														54%	98%	63%	14%	60%	75%	29%	97%	37%	8%	37%	

La densidad de siembra fue de 33300 plantas ha⁻¹

Curvas de crecimiento

En la figura 1 se presenta las curvas de crecimiento de la variedad MNF-80 en ambas zonas de estudio.

Efecto de sitio. El ciclo de la variedad MNF-80 es más prolongado en Irazú (135 días) que en Juan Viñas (80 días), debido a que a mayor altura, la temperatura y la luminosidad disminuyen y a que el ciclo se acortó debido a la incidencia de plagas y enfermedades.

Efecto de la edad del cultivo. Al inicio del ciclo, el tubérculo madre produce brotes y raíces para posteriormente iniciar la emergencia de la parte aérea de la planta; durante este periodo, el crecimiento de la parte aérea y el de

las raíces está correlacionado (Alonso 2002). A los 60 DDS en Irazú y a los 30 DDS en Juan Viñas comienza la tuberización, que continúa hasta el final del ciclo.

Efecto del tipo de tejido. Inicialmente, la planta distribuye los productos de la fotosíntesis hacia el crecimiento de la parte vegetativa y la raíz, y cuando se inicia la tuberización utiliza los asimilados de los otros tejidos para la formación del producto cosechado. Hasta los 65 DDS en Irazú y los 45 DDS en Juan Viñas se produce un desarrollo simultáneo de la parte aérea y los tubérculos y a partir de aquí son los tubérculos los que muestran un mayor crecimiento (Figura 1). Sin embargo, en Juan Viñas la disminución de la biomasa aérea fue más drástica al final

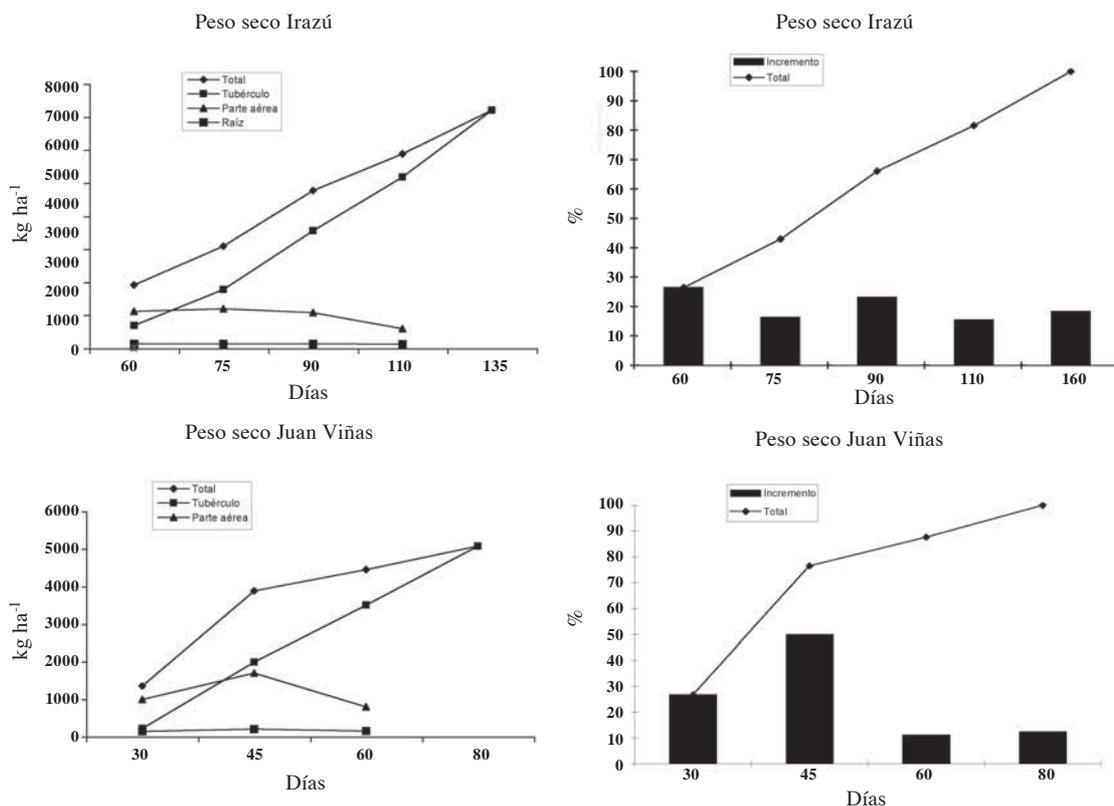


Fig. 1. Curva de crecimiento de la variedad MNF-80 en Irazú y Juan Viñas.

del ciclo debido al ataque de enfermedades al follaje. El ataque de enfermedades en Juan Viñas causó una merma importante de la parte aérea de la planta, por lo que casi el 80% del crecimiento total se produce entre los 30 y los 45 DDS. En Irazú el crecimiento de todos los tejidos es constante.

Para comparar las curvas de crecimiento de la variedad MNF-80 en ambas fincas, se porcentualizó el tiempo, de manera que las 2 curvas coincidieran y se pudieran observar las diferencias en su dinámica de crecimiento. De esta manera, en forma relativa (en porcentaje de crecimiento), esta variedad tiene un comportamiento similar en ambas fincas, aunque en Juan Viñas el peso seco total es algo mayor. Los procesos fisiológicos del cultivo ocurren en el mismo tiempo porcentual respecto a la duración del ciclo de cada una de ellas. Por ejemplo, la tuberización empieza a los 30 DDS en Juan Viñas y a los 60 DDS en el Irazú, pero los 2 momentos representan el 40 % del ciclo (Figura 2).

Las diferencias en la velocidad de desarrollo de la variedad en cada finca, se deben en gran parte a las diferentes condiciones climáticas, ya que en la parte alta de Irazú

las temperaturas fueron de 9-12°C y en Juan Viñas fueron de 17-22°C. Además, en Irazú la cantidad de luz es menor, debido a una mayor nubosidad. La papa es un cultivo de clima más bien frío (Alonso 2002) y puede desarrollarse a bajas temperaturas como las de Irazú; sin embargo, estas influyen en el ritmo de crecimiento como se pudo comprobar. Además, el ataque de plagas y enfermedades al cultivo disminuye con la temperatura. La diferencia bioclimática que favorece el mayor desarrollo del cultivo en Juan Viñas no se reflejó en un mayor rendimiento (28 vs. 36 t ha⁻¹) debido probablemente a que la planta se desarrolló rápidamente produciendo tejido succulento susceptible al ataque de enfermedades (Monge 1981, Casseres 1984). En Juan Viñas las plantas fueron afectadas por la Pulga saltona (*Epitrix bastatrix*) y en menor magnitud por el Tizón tardío (*Phytophthora infestans*), que provocaron una pérdida de biomasa aérea y en consecuencia una reducción del rendimiento. También, las prácticas culturales realizadas al cultivo no fueron las adecuadas y produjeron un estrés en la planta que influyó en el rendimiento final.

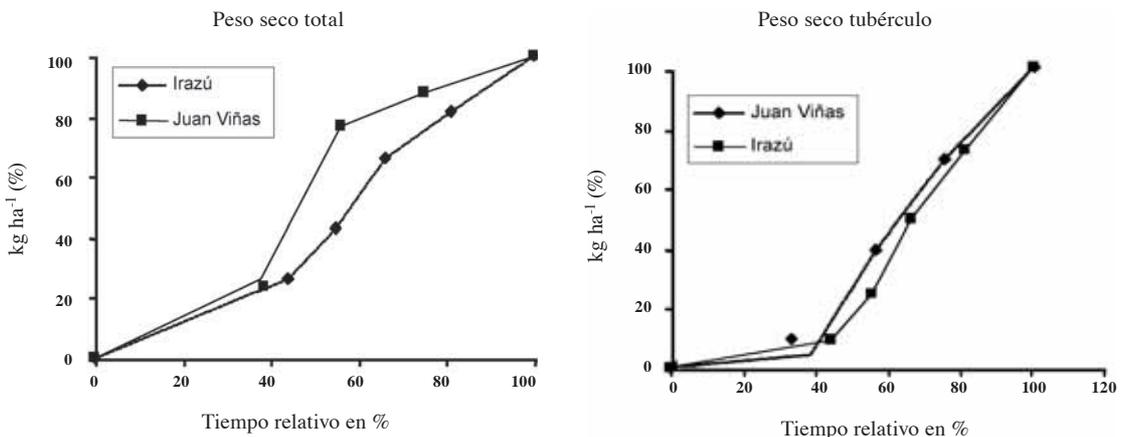


Fig. 2. Comparación del ciclo de crecimiento de la variedad MNF-80 y de formación de los tubérculos en las 2 fincas estudiadas (relativizando el tiempo y los kg ha⁻¹).

Curvas de absorción de nutrientes

Absorción de macroelementos. La absorción total de un nutriente es el producto de la concentración de ese elemento en los diferentes tejidos multiplicada por la biomasa seca de cada uno de los tejidos de la planta. En el presente estudio,

la cantidad de biomasa de la parte aérea disminuye en un 50% a partir de los 90 y 45 DDS en Irazú y Juan Viñas, respectivamente.

Las cantidades absorbidas de macronutrientes en Irazú, para un rendimiento de 36 t ha⁻¹, rondan los 110 kg ha⁻¹ de N, los 15 kg ha⁻¹ de P, y sobrepasan los 166 kg ha⁻¹ de K. En la figura 3

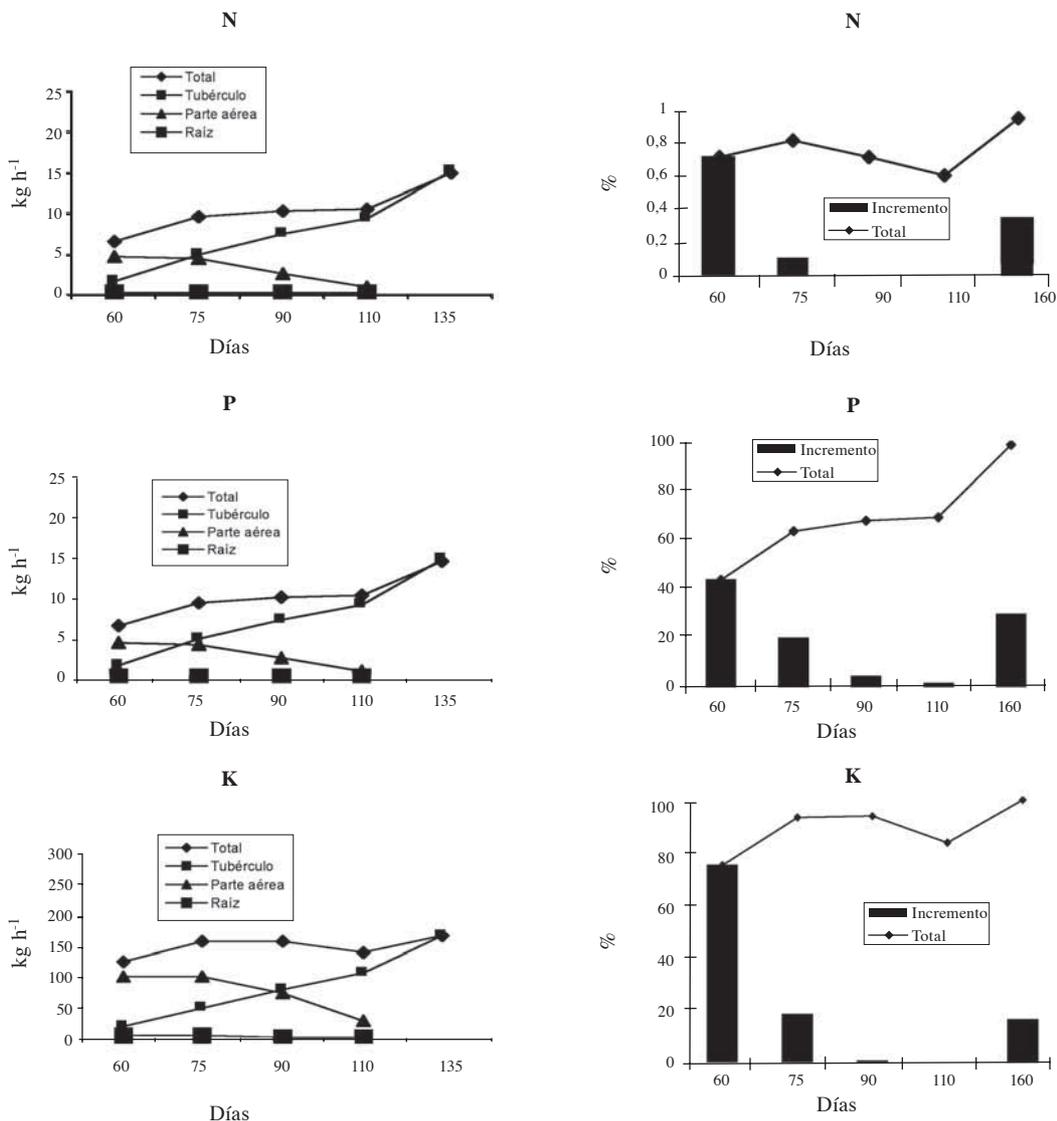


Fig. 3. Absorción de N, P y K por la variedad MNF-80 de papa en Irazú.

se observa el comportamiento de la absorción de los macronutrientes durante el ciclo de cultivo de la papa en Irazú, el cual tiene un patrón de absorción similar para los 3 elementos en consideración, aunque no en cantidades absolutas. Se observa que el K es el nutriente absorbido en mayor cantidad por el cultivo, seguido por el N y el P que se requieren en cantidades menores. La mayor absorción de N y K ocurre hasta los 60 DDS, coincidiendo con el inicio del proceso de tuberización y el máximo desarrollo de la parte aérea, después se producen otros 2 momentos de absorción a los 75 y 135 DDS.

Desde el principio del ciclo hasta los 75 DDS, la mayor absorción de N ocurre en la parte vegetativa, ya que el N es el componente fundamental de todas las moléculas orgánicas involucradas en procesos de crecimiento y desarrollo vegetal, aminoácidos (proteínas y enzimas), ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, hormonas y otros compuestos. Así, favorece el desarrollo del follaje, lo que afecta positivamente la cantidad de radiación interceptada, y por lo tanto la cantidad de materia seca producida y la acumulación de la misma en el tubérculo (Kass 1996, Alonso 2002, Medina 2003). A partir de este momento, la planta solo absorbe un 20 % más del total del N absorbido y ocurre una fuerte traslocación del N en la biomasa aérea hacia los tubérculos. Aunque el K se absorbe en cantidades mayores que el N, su mecanismo de absorción y traslocación es muy similar al del N, incrementando la eficacia en la elaboración y movilización de azúcares y almidones hasta el tubérculo. Contribuye a mejorar la calidad de la producción, disminuye la susceptibilidad a daños por golpes y enfermedades, proporciona a las plantas una mayor resistencia a las heladas, a la sequía y hace que su conservación sea más fácil. Mejora la eficiencia en el consumo de agua al aumentar la presión osmótica de las células, volviéndolas más turgentes (Bertsch 1998, Alonso 2002, Molina y Meléndez 2003).

Se puede deducir una traslocación de estos elementos desde la parte aérea hacia el tubérculo, ya que se observa un aumento de la cantidad de N y K en el mismo y una disminución en la

parte aérea, sin que se produzca un aumento en la absorción total por la planta. La disminución de N y K de la parte aérea y por ende del total, también pueden atribuirse a que a los 110 DDS, se dio una defoliación de las plantas que ocasionó una pérdida de materia seca y de los elementos. Sin embargo, el descenso en el contenido total de N a los 75 DDS y a los 90 DDS en el de K, puede deberse a una dilución de estos elementos en la planta.

La dinámica de absorción del P implica un aumento en la absorción del elemento hasta los 75 DDS, seguido por un período de absorción de poca magnitud, con otro aumento de absorción hacia el final del ciclo de crecimiento. Durante todo el ciclo, las raíces experimentan una absorción de P que representa un porcentaje muy bajo del total. El P se trasloca hacia los tubérculos antes que el N y el K, y a los 60 DDS las cantidades de P en la parte aérea y los tubérculos es la misma. Al principio la acumulación de P ocurre en las raíces y la parte aérea; a partir del inicio de la tuberización y hasta los 75 DDS, el elemento se acumula también en el tubérculo, después se da una fuerte traslocación desde la parte aérea, en la que casi el total del P pasa a formar parte del tubérculo. Durante la última etapa del ciclo de crecimiento la papa absorbe el 40% del P requerido por el cultivo.

Las cantidades de N, P y K absorbidas por la papa en Juan Viñas fueron de 133, 8 y 173 kg ha⁻¹, respectivamente. Así como el crecimiento de la variedad en esta localidad es más rápido que en Irazú, lo mismo ocurre con la absorción de nutrientes (Figura 4). La absorción de N y K es muy parecida a lo largo del ciclo y ambos elementos se absorben entre los 0 y 45 DDS, coincidiendo con el inicio del proceso de tuberización y el máximo desarrollo de la parte aérea. Desde este momento hasta el final del ciclo los tubérculos adquieren el N y el K por traslocación desde la parte aérea hacia el tubérculo y al igual que en Irazú, aquí también se produce un descenso en la curva de las cantidades totales de N y K, debido a una dilución de los elementos en la planta y a una pérdida de materia seca. En relación con las diferentes partes

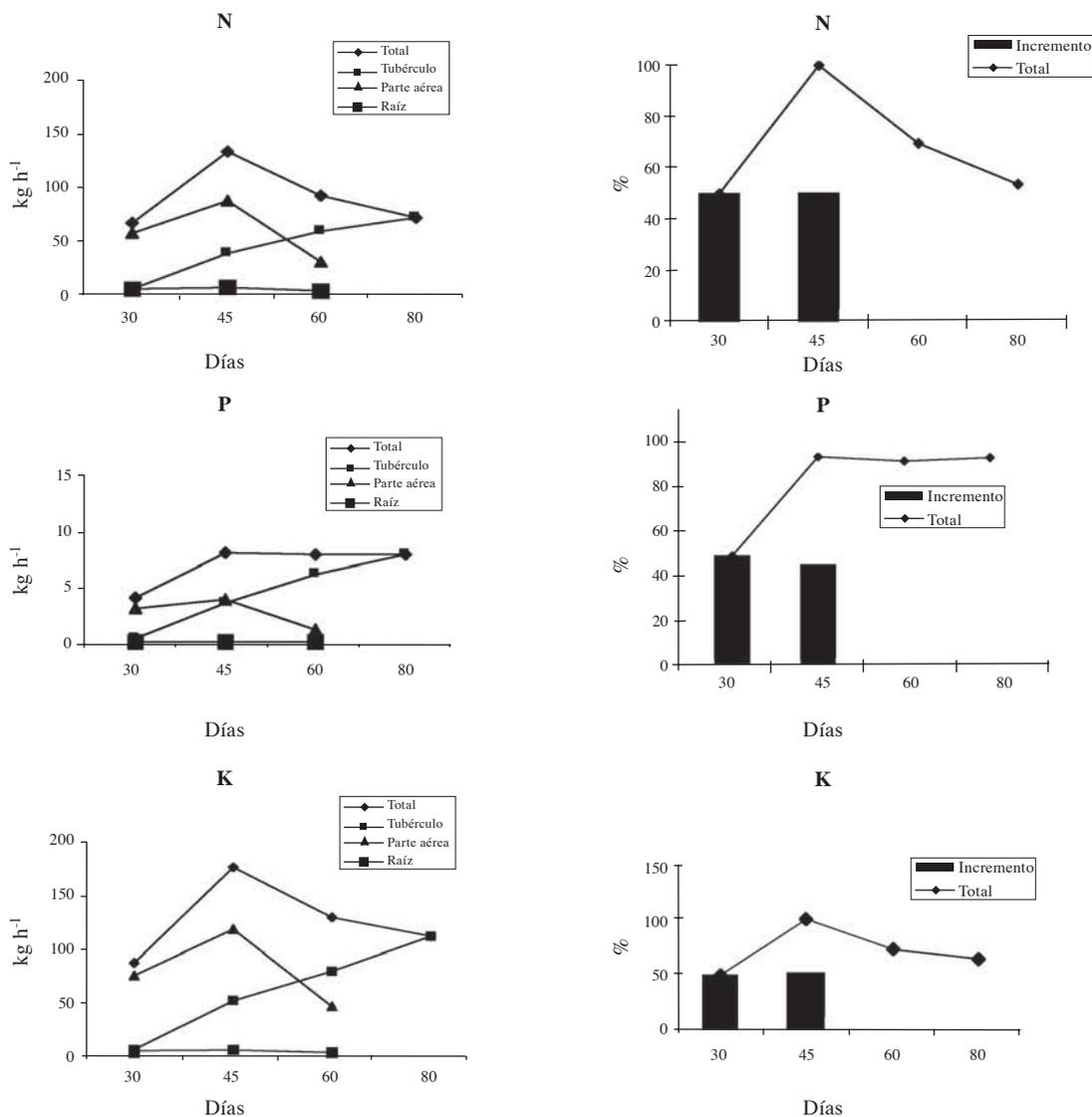


Fig. 4. Absorción de N, P y K por la variedad MNF-80 de papa en Juan Viñas.

de la planta, el N y K son absorbidos en un primer momento por la parte aérea; a partir de los 30 DDS y hasta los 45 DDS se absorben también por el tubérculo, y en la última fase de llenado del tubérculo, se produce traslocación desde la parte aérea hacia el tubérculo. La absorción de P también se da en su totalidad entre los 0 y 45 DDS, después las cantidades se mantienen

constantes hasta el final del ciclo, lo que sugiere que la mayor parte del P de la parte aérea se trasloca al tubérculo y casi nada se pierde.

En términos de relación porcentual, la absorción de N, P, y K en las 2 fincas en el tiempo (Figura 5), se observa que para N y K la absorción es uniforme hasta el 60% del ciclo. En este momento, en Juan Viñas se llega al máximo de la

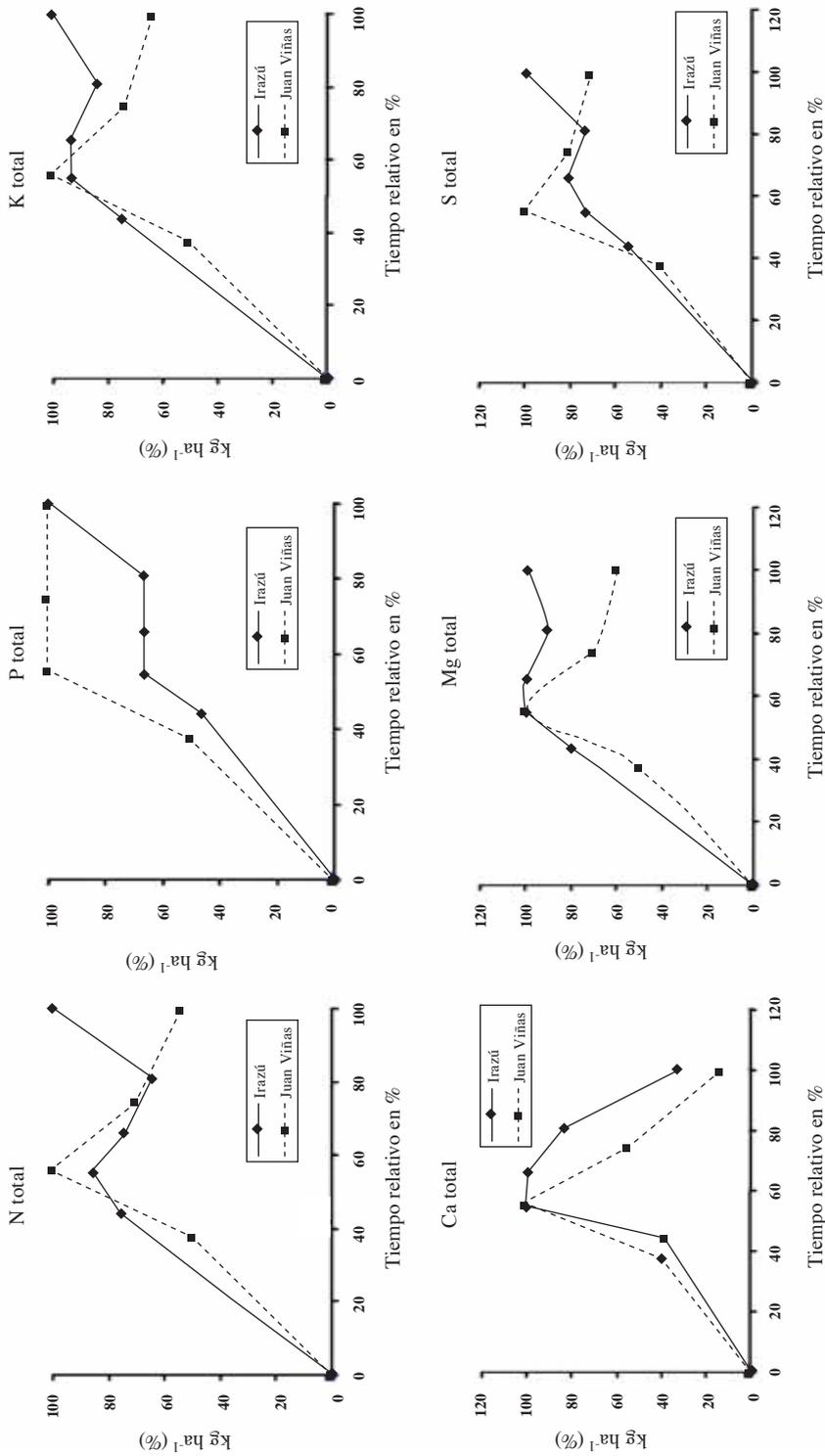


Fig. 5. Absorción relativa de N, P, K, Ca, Mg y S por la variedad de papa MNF-80 de papa en las fincas de Irazú y Juan Viñas (relativizando las variables tiempo y los kg ha⁻¹).

absorción y no se absorbe más. En Irazú también, a partir del 60% del ciclo se produjo una reducción en las cantidades totales de los elementos debido a una dilución de los elementos en la planta y a la pérdida de materia seca; aunque al final del ciclo se da un incremento en la absorción llegando su máximo. Con respecto al P, este también se absorbe de manera similar al principio del ciclo, pero al 60% del mismo, en Juan Viñas se alcanza el total de absorción mientras que en Irazú en este momento solo se ha absorbido el 60% del total, y el 40% restante se toma al final del ciclo. Estas diferencias son debidas a que en Juan Viñas el ciclo de crecimiento de la papa se vio afectado por los ataques de *E. bastatrix* y *P. infestans* ya mencionados, que obligaron a cosechar a los 80 días, antes de

que se completara el ciclo normal de crecimiento de la variedad MNF-80, que en estas condiciones es de 100 días.

A diferencia con Irazú para las curvas de absorción de macroelementos, en Juan Viñas, el primer muestreo se hizo a los 30 DDS. Por esto, en Irazú el valor acumulado de los 3 elementos a los 60 DDS podría entenderse como un período de absorción alta, que se inició antes de los 60 DDS.

El nutriente que más demanda la papa es el K, seguido del N y el P que se requiere en cantidades bastante menores. Sin embargo, las cantidades absorbidas difieren en las 2 parcelas (Figura 6) debido posiblemente al mismo problema de enfermedades reportado en Juan Viñas.

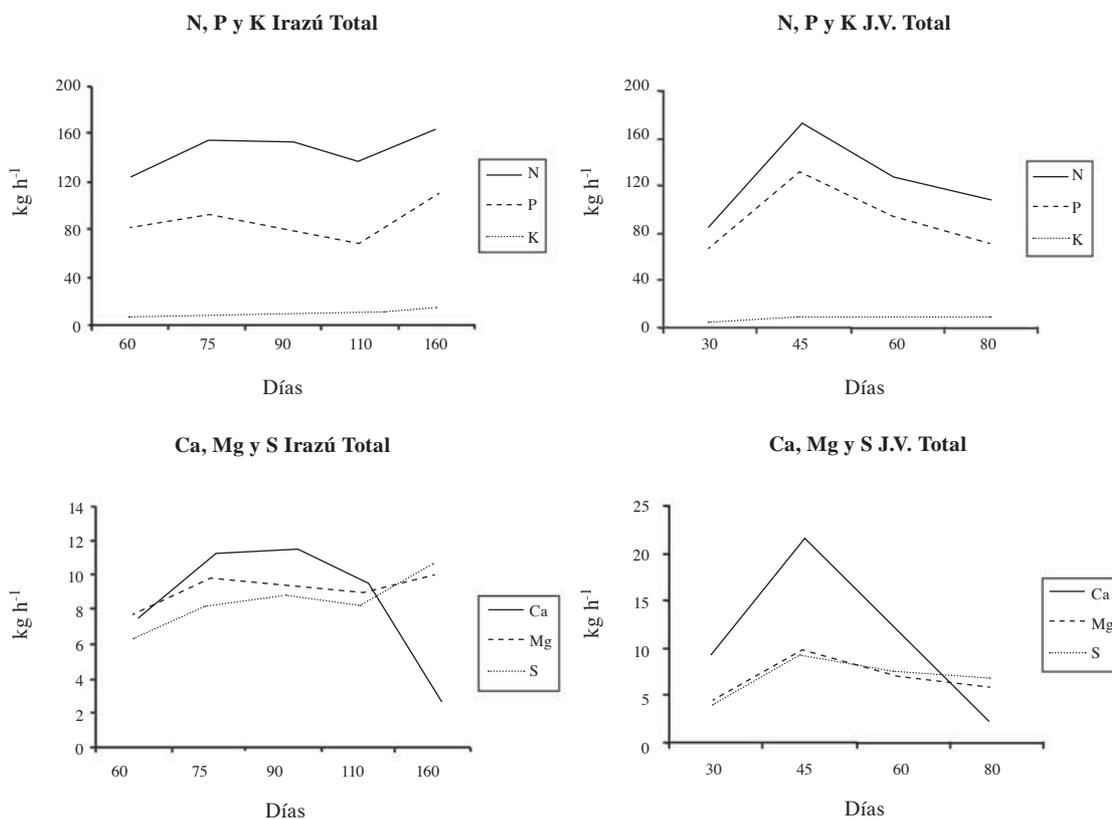


Fig. 6. Curvas de absorción total de N, P, K, Ca, Mg y S en Irazú y Juan Viñas.

En Irazú, para un rendimiento de 36 t se absorbieron en total 110 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P y 166 kg ha⁻¹ de K, y en Juan Viñas para producir 28 t se tomaron 133 kg ha⁻¹ de N, 8 kg ha⁻¹ de P y 173 kg ha⁻¹ de K (Cuadros 2 y 3). Para producir 1 t de tubérculos de papa MNF-80, se requirió cantidades diferentes de N, P y K en cada finca, como se muestra en el cuadro 4, pero absorbe cantidades similares de P y algo menores de N y K que las otras variedades cultivadas en el país.

El hecho de que la diferencia en la absorción de P sea tan marcada entre una y otra condición, con relación a la de N y K, puede explicarse por que el P se absorbe hasta el final del ciclo, mientras que los otros elementos se absorben casi en su totalidad al principio del ciclo de crecimiento (Bertsch 2003).

En Irazú para N y K hubo 3 momentos de máxima absorción, a los 60, 75 y 135 DDS, siendo el primero el más fuerte. Para P la absorción es progresiva en el tiempo, ya que la planta lo absorbe durante todo el ciclo, pero también aquí los momentos de máxima absorción ocurrieron

a los 60, 75 y 160 DDS. En Juan Viñas, para los 3 nutrimentos, el total de la absorción ocurrió entre los 0 y 45 DDS y a partir de este momento todo el N, P y K que utiliza la papa lo obtiene por traslocación.

Las cantidades absorbidas de Ca, Mg y S en Irazú, para un rendimiento de 36 t, fueron 12, 10 y 11 kg ha⁻¹, respectivamente. El comportamiento en la absorción de los nutrimentos secundarios Ca, Mg y S en esta finca, es similar al principio del ciclo (Cuadro 2), pero a partir de los 110 DDS la absorción es diferencial. Hasta los 75 DDS, los 3 nutrimentos, son absorbidos en mayor cantidad por la parte aérea, pero después, el Ca experimenta un descenso brusco en la absorción, mientras que el Mg y el S siguen siendo absorbidos por la planta hasta el final del ciclo.

Se observa que el Ca se acumuló mayoritariamente en la parte aérea de la planta de papa, lo cual es debido a que se trata de un elemento inmóvil, difícil de traslocar hacia los tubérculos. Además, el Ca sólo se absorbe vía xilema, lo que no permite la traslocación desde partes altas de la planta a los tubérculos. Su papel principal es

Cuadro 4. Cantidad de N, P, K, Ca, Mg, S y de micronutrimentos absorbidos por la variedad de papa MNF-80 para producir 1 t de tubérculos.

Variedad	Absorción 1 t tubérculo										
	(kg ha ⁻¹)						(g ha ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
MNF-80 (Irazú)	3,0	0,42	4,6	0,11	0,27	0,35	12,0	1,8	3,6	1,4	0,8
MNF-80 (Juan Viñas)	2,6	0,28	4,0	0,11	0,22	0,25	11,0	2,3	1,8	1,1	1,1
Atzimba*	4,0	0,6	6,0	0,10	0,26	-	9,9	1,45	2,2	2,2	-
Floresta*	5,0	0,4	4,5	0,10	0,25	-	15,8	0,9	1,8	2,1	-
Granola*	4,5	0,4	4,0	0,10	0,29	-	6,6	0,6	2,8	1,9	-

* tomados de Bertsch 2003

estructural, ya que constituye los pectatos de calcio de las paredes celulares y participa en la división celular en las zonas meristemáticas. Por lo tanto, es de gran importancia en toda la estructura de la parte aérea (Bertsch 1998, Villalobos 2001, Kass 1996). La absorción casi total del Ca se produce desde el principio del ciclo hasta los 75 DDS, después se da un descenso brusco en la curva de absorción del elemento hasta el final del ciclo.

Las curvas de absorción, entre otros aspectos, permiten determinar los tejidos en los que se acumula nutrientes con el fin de poder reciclarlos, volviéndolos a incorporar al suelo (Bertsch 2003).

El Mg y el S se utilizan al principio del ciclo para formar la parte aérea y después se produce una traslocación parcial de estos a los tubérculos donde hay otro momento de absorción al final del ciclo. El Mg forma parte de la molécula de clorofila, por lo que es imprescindible en el proceso de fotosíntesis (Monge 1981), de ahí que sea necesario en la parte aérea desde el principio del ciclo; además, participa en gran medida en el balance electrolítico dentro de la planta. Por su parte el S participa junto con el N en el crecimiento vegetativo y después en el engrosamiento del tubérculo (Monge 1981).

En Juan Viñas la variedad absorbió, 22, 10 y 10 kg ha⁻¹ de Ca, Mg y S, y de la misma manera que ocurre en Irazú, al inicio del ciclo los 3 nutrientes son requeridos en cantidades mayores por la parte aérea. Después se experimenta un descenso en los requerimientos de Ca, mientras que el Mg y el S se traslocan hacia el tubérculo (Cuadro 3). El total de la absorción de Ca ocurre entre los 0 y 45 DDS. El tubérculo acumula cantidades muy bajas de Ca en comparación con las de los demás nutrientes debido a la difícil traslocación, por la baja movilidad del elemento.

El Mg y el S se utilizan al principio del ciclo por la parte aérea, que absorbe el 40% del total a los 30 DDS, después se produce una absorción conjunta de la parte aérea y del tubérculo del 60% restante a los 45 DDS. A partir de este momento, el incremento en la cantidad de Mg y S

en los tubérculos se produce por traslocación de la parte aérea hacia estos.

En términos relativos, la absorción de Ca, Mg y S en las 2 fincas en el tiempo (Figura 5), se nota que las diferencias en absorción entre las 2 fincas se produjo al final del ciclo, ya que en Juan Viñas el ciclo no se completó. De los nutrientes secundarios el más absorbido por la variedad fue el Ca; sin embargo, es el menos requerido por el tubérculo. El Mg y el S se absorben en los mismos momentos y en cantidades muy parecidas, como se puede observar en la figura 6.

Las cantidades absorbidas en Irazú para un rendimiento de 36 t fueron de 12 kg ha⁻¹ de Ca, 10 kg ha⁻¹ de Mg y 11 kg ha⁻¹ de S; y en Juan Viñas para producir 28 t, 22 kg ha⁻¹ de Ca, 10 kg ha⁻¹ de Mg, 10 kg ha⁻¹ de S (Cuadros 2 y 3). Para producir 1 t de tubérculos, la cosecha requiere las cantidades indicadas en el cuadro 4. Estas cantidades son similares en las 2 fincas para Ca y para Mg, y con el S se observa una diferencia que corresponde con lo absorbido en Irazú al final del ciclo. Las cantidades son muy similares a las absorbidas por las demás variedades de papa cultivadas en el país.

En Irazú la absorción máxima de Mg y S ocurre desde el principio del ciclo hasta los 60 DDS. A los 75 DDS y al final del ciclo se dan otros 2 momentos de absorción. En Juan Viñas, los elementos secundarios son absorbidos desde el principio hasta los 45 DDS. A partir de ese momento, el Mg y el S pasan al tubérculo por traslocación y una pequeña parte del Ca se trasloca y el resto se queda en la planta.

Absorción de micronutrientes. Los micronutrientes son absorbidos en cantidades muy pequeñas por la planta de papa, y del total absorbido la mayoría se encuentra en la biomasa aérea. En las curvas de absorción se refleja que el comportamiento de los elementos menores en el tiempo, es variable y mientras que en los elementos inmóviles aumenta al final del ciclo, en otros no varía o disminuye en forma errática en el tiempo. Debido a que el comportamiento de la absorción de micronutrientes en papa es similar

en las 2 localidades, la discusión de este tema se hace en forma conjunta.

En Irazú la variedad absorbió 900 g ha^{-1} de Fe mientras que en Juan Viñas absorbe 1100 g ha^{-1} . De los micronutrientes, el Fe es el que se absorbe en mayor cantidad y en forma más progresiva por el cultivo, como se aprecia en los cuadros 2 y 3. Actúa como activador enzimático en la síntesis de la clorofila (Bertsch 1998), participa en la fotosíntesis y la respiración, y en la síntesis y desarrollo de los cloroplastos (Villalobos 2001, Medina 2003), por eso es empleado principalmente por la parte aérea. La cantidad total de Fe absorbida por el cultivo de la papa se acumula en mayor cantidad en el follaje, y en menor proporción en los tubérculos y en las raíces. En el caso de la raíz, esta presentó una cantidad de Fe alta, en comparación con el resto de los nutrientes, lo que puede ser debido a que el suelo adherido a la misma contenga suficiente Fe y esa cantidad se refleje en el análisis de nutrientes efectuado a la raíz.

Las cantidades absorbidas del Cu en las 2 fincas no superaron los 70 g ha^{-1} . Al inicio, la planta absorbe Cu para formar biomasa aérea y posteriormente para la formación de tubérculos, con un requerimiento mínimo para la formación de raíces. La absorción máxima de Cu presentó 2 picos, uno a los 30 y 60 DDS y otro a los 45 y 90 DDS dependiendo de la finca en estudio. El Cu es el componente de diversas enzimas, así como de ciertas proteínas presentes en el cloroplasto (Bertsch 1998), de aquí que participe en la fotosíntesis.

Las cantidades absorbidas del Zn por la papa en las 2 fincas oscilan entre 150 y 200 g ha^{-1} . Al inicio, la planta absorbe Zn para formar biomasa aérea y posteriormente para la formación de tubérculos, con un requerimiento mínimo para la formación de raíces (Cuadros 2 y 3). La absorción máxima de Zn presenta 2 picos uno al inicio y otro a los 45 y 90 DDS, dependiendo del sitio. El Zn tiene un papel muy importante en el metabolismo de hormonas del crecimiento y su actividad se da principalmente en las zonas meristemáticas, por lo tanto es de esperar que se encuentre principalmente en tejidos jóvenes en

crecimiento (Kass 1996, Medina 2003). A los 110 DDS se produce una traslocación desde la parte aérea hasta el tubérculo.

La planta de papa absorbe de 300 a 650 g ha^{-1} de Mn, el cual se acumula en su mayoría en la parte aérea de la papa, donde actúa como activador enzimático en la respiración, participa en la fase oscura de la fotosíntesis (Medina 2003) y toma parte en la formación de azúcares (Fertiberia 2000); los contenidos de Mn en las raíces y los tubérculos son insignificantes con relación al total absorbido. Además, al ser un elemento inmóvil en la planta su traslocación resulta muy difícil. El incremento más fuerte en la absorción se produce a los 45 y 60 DDS dependiendo del sitio.

Esta variedad de papa absorbe de 43 a 80 g ha^{-1} de B, elemento importante para este cultivo ya que participa en el crecimiento y la división celular de los tejidos meristemáticos, en la formación de paredes celulares y en la traslocación de almidones desde la parte aérea hasta el tubérculo; por esto es habitual encontrar el B en tejidos jóvenes en desarrollo y en el tubérculo en formación (Molina 2003, Medina 2003, Kass 1996, Bertsch 1998).

En los cuadros 2 y 3 se observa que al principio del ciclo el B es utilizado por la parte aérea; a partir de los 45 y 60 DDS, dependiendo del sitio, es absorbido también por el tubérculo y hasta este momento se produce la absorción más fuerte. Las cantidades de B absorbidas se concentran por partes iguales en el follaje y los tubérculos. A partir de los 90 y 45 DDS ocurrió una traslocación desde la parte aérea hasta el tubérculo que requiere el B hasta el final del ciclo, pero no ocurre absorción.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Omega-Juan Viñas por su colaboración financiera y de trabajo de campo. Al personal de Biotecnología de Plantas del CIA/UCR por su colaboración en la consecución del material genético empleado en este trabajo. A la Universidad Pública de Navarra, España, por el financiamiento de la estadía en Costa Rica del segundo autor.

LITERATURA CITADA

- ALONSO F. 2002. El cultivo de la patata. Mundi-Prensa. Madrid, España. 495 p.
- ALVARADO A., HENRIQUEZ C., BERTSCH F., BORNEMISZA E., CABALCETA G., MATA R., MOLINA E., SALAS E. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas. Andisoles de Costa Rica. ACCS. San José, Costa Rica. 112 p.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. ACCS. San José, Costa Rica. 307 p.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS. San José. Costa Rica. 157 p.
- CASSERES E. 1984. Producción de hortalizas. IICA. San José, Costa Rica. 387 p.
- FERTIBERIA. 2000. Los micronutrientes y su utilización en la agricultura. España. (Consultada en enero 2005)
http://www.fertiberia.com/servicios_on_line/cursos/micronutrientes/indexmicro.html
- JACKSON M., CARTÍN L., AGUILAR J. 1981. Uso y manejo de fertilizantes en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Costa Rica. San José, Costa Rica. Agronomía Costarricense 5(1/2): 15-19.
- KASS D. 1996. Fertilidad de suelos. EUNED. San José, Costa Rica. 233 p.
- MEDINA A. 2003. Síntomas de deficiencias minerales en las plantas. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. D.C. Colombia. 224: 23-30.
- MOLINA E., MELÉNDEZ, G. 2003. Fertilizantes. Características y manejo. ACCS. San José, Costa Rica. 139 p. (Consultada en abril 2005)
<http://www.cia.ucr.ac.cr/docs/CIA-Fertilizantes.pdf>
- MONGE L. 1981. Cultivo de la papa. EUNED. Costa Rica. 58 p.
- MURATA K.L., DÓNDOLI C., SÁENZ R. 1966. The 1963-65 eruption of Irazú volcano, Costa Rica. Bull. Volcanologique 29:766-796.
- PARRAL A.C. 2004. CIA con nuevas variedades de papas. Boletín Girasol digital. N° 24. San José, Costa Rica. 5 p.
<http://www.vinv.ucr.ac.cr/girasol/archivo/girasol24/ciapa-pa.html>.
- SANCHO H. 1999. Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. Informaciones Agronómicas N° 36 (INPOFOS). San José, Costa Rica. 36:11-13.
- SOTO J.A. 2001. Valores críticos de fósforo, potasio y azufre, y respuesta al nitrógeno para papa en la zona norte de Cartago. Resultados de investigación 1999-2000; difusión para agricultores. MAG, San José, Costa Rica. Plegable. 2 p.
- TOSI J.A. 1969. Mapa ecológico según la clasificación de zonas de vida del mundo de L. R. Holdridge. Centro Científico tropical. San José, Costa Rica.
- VILLALOBOS E. 2001. Fisiología de la producción de los productos tropicales. EUCCR. San José, Costa Rica. 228 p.

