

UTILIDAD DE LOS ESTUDIOS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN EL AFINAMIENTO DE LAS RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN

Floria Bertsch¹

*Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica
Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo
fbertsch@cariari.ucr.ac.cr*

INTRODUCCION

Con el término “...estudios de absorción...” se pretende hacer referencia a todos aquellos estudios que tratan de contabilizar en alguna forma los REQUISITOS, la EXTRACCIÓN o el CONSUMO de nutrientes que efectúa un cultivo para completar su ciclo de producción.

Estos estudios no constituyen una herramienta de diagnóstico como lo es el análisis foliar, sino más bien, contribuyen en forma cuantitativa a dar solidez a los programas de fertilización a recomendar, pues concretamente, permiten conocer la cantidad de nutriente, en kg/ha, que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado en un tiempo definido.

Datos provenientes de estos estudios son importantes pues constituyen una medida real, quizá la más real posible de lo que consume un cultivo de la siembra a la cosecha, y por lo tanto, representan las cantidades mínimas a las que debe tener acceso un cultivo para producir un determinado rendimiento.

Estos estudios pueden ser puntuales, como son los que se refieren a requisitos totales y de cosecha, o contemplar todo el ciclo de vida del cultivo, que constituirían las llamadas curvas de absorción.

El objetivo de este trabajo consiste en recopilar en un solo documento diferentes ejemplos de la realización y uso de estos estudios de absorción de nutrientes en el afinamiento práctico de programas reales de fertilización en diferentes cultivos.

CONDICIONES PARA EFECTUAR ESTUDIOS DE ABSORCIÓN

Los datos de los estudios de absorción son valiosos en el tanto en que se refieran a un RENDIMIENTO DADO, pues las necesidades de nutrientes, por ejemplo se doblan, si se produce el doble.

Por otro lado, la capacidad de absorción de un cultivo bajo condiciones nutricionales limitantes, se verá obviamente disminuida. De ahí la importancia que los estudios de absorción se lleven a cabo bajo condiciones nutricionales óptimas.

También, en el tanto en que cada variedad de una misma especie presente características particulares de comportamiento y producción, puede expresar diferencias en su capacidad de absorber nutrientes.

Por lo tanto, para que los resultados de un estudio de absorción resulten extrapolables a otras situaciones más allá de la circunstancia particular en la que se efectuaron, es necesario que se realicen bajo condiciones nutricionales óptimas y con variedades definidas.

PROCEDIMIENTO BASICO PARA EFECTUAR ESTUDIOS DE ABSORCIÓN

La cantidad consumida, absorbida o requerida por una planta se obtiene del asocio de el peso seco de los tejidos, con las concentraciones de nutrientes totales presentes en esos tejidos (Figura 1).

¹ Este documento es producto de la recopilación de diferentes experiencias de investigación efectuadas a lo largo de varios años y que por diversas razones no han sido publicadas formalmente, entre las cuales, las más relevantes son las aportadas por el Programa de Manejo Integrado de la Nutrición de Cultivos-MINC, al que pertenecieron también como investigadores principales los Ing. Agr. Carlos Henríquez y Floria Ramírez.. El soporte del INPOFOS a lo largo de todos estos años ha sido también pilar fundamental de estos resultados.

Como ya se mencionó, estos estudios pueden ser hechos una única vez en el ciclo, preferiblemente al final del mismo cuando la absorción ha llegado a su nivel máximo, como son los que se refieren a requisitos totales y/o de cosecha, o contemplar varias etapas, preferiblemente asociadas a cambios fenológicos importantes, durante el ciclo de vida del cultivo, con lo que se pueden elaborar las curvas de absorción. También pueden hacerse contemplando la planta entera como un todo, o subdividiendo por tejidos. En cualquiera de los casos, lo que siempre es indispensable, es contar con el rendimiento comercial obtenido para ese cultivo que pueda ser asociado a ese consumo en concreto.

Cantidad consumida, absorbida o requerida se obtiene del asocio de:

concentración de nutrimentos en el tejido \longleftrightarrow peso seco de una planta o tejido
 (expresada como % en base seca) (expresado en g ó kg)

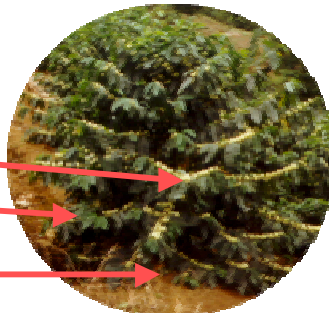
2% N 1 g 50 g/planta
 2 g de N..... en 100 g
 X cantidad de N..... en 50 g/planta

TOTAL

Parte reproductiva 

Parte vegetativa 

Parte radical 



DE COSECHA



Parte cosechable

Figura 1. Procedimiento básico de los estudios de absorción (Ramírez y Bertsch 1998).

PROCESAMIENTO DE INFORMACION RECOPIADA EN LA LITERATURA

A pesar de las consideraciones establecidas anteriormente, y con la certeza de que contar con los datos propios para una situación específica es la alternativa que resulta más útil para afinar las dosificaciones particulares, las aproximaciones obtenidas a través del procesamiento de información proveniente de la literatura resultan de gran valor.

Entre la opción de no contar con información alguna sobre las cantidades consumidas por un cultivo, o tener aproximaciones de otros sitios, condiciones o variedades sugeridas en la literatura, es preferible esta segunda opción.

Ejemplos de cómo recopilar, procesar y sacarle provecho a esta información, se presentan a continuación. En primera instancia es importante recuperar la mayor cantidad posible de referencias que suministren información sobre absorción de nutrimentos asociada a un rendimiento dado sobre el cultivo que se tiene interés, y luego transformar los datos tanto de consumo como de rendimiento a las mismas unidades, por ejemplo, kg/ha. El otro detalle importante al recuperar información de literatura es tener claro si esas cantidades se refieren al consumo total, o al consumo estrictamente hecho por la cosecha o parte productiva.

En el caso de cultivos anuales es común encontrarse el dato de consumo total (el efectuado por todas las partes) o ambos datos, el de consumo total y el efectuado específicamente por la cosecha, mientras que en cultivos perennes lo frecuente es contar con los datos de la extracción hecha particularmente por la parte comercial (frutos, granos, etc).

Con datos de consumo total efectuados por la planta de arroz para una gama de rendimientos, como los recopilados en la Tabla 1, es posible generar ecuaciones que asocien el rendimiento con la cantidad absorbida de cada elemento, de modo que con ellas podrán estimarse las necesidades de N, P y K, para cualquier rendimiento con un grado de confiabilidad respetable (Figura 2).

Tabla 1. Datos de consumo total de N, P y K, por la planta de arroz, para diferentes rendimientos.

T grano/ha	Kg/ha			Referencia
	N	P	K	
0.6	11	2	17	<i>Kanapathy, 1976</i>
1.1	45	8	67	<i>Kanapathy, 1976</i>
1.5	42	8	28	<i>Sánchez, 1978</i>
3.0	50	11	66	<i>FIAC-FAO, 1980</i>
3.0	84	14	89	<i>Malavolta, 1979</i>
3.2	91	10	59	<i>FAO, 1970</i>
4.5	75	15	88	<i>BASF, 198?</i>
6.0	100	22	133	<i>FIAC-FAO, 1980</i>
6.0	100	22	150	<i>BASF, 1982</i>
7.8	125	30	137	<i>Malavolta, 1979</i>
8.0	141	37	90	<i>Sánchez, 1978</i>

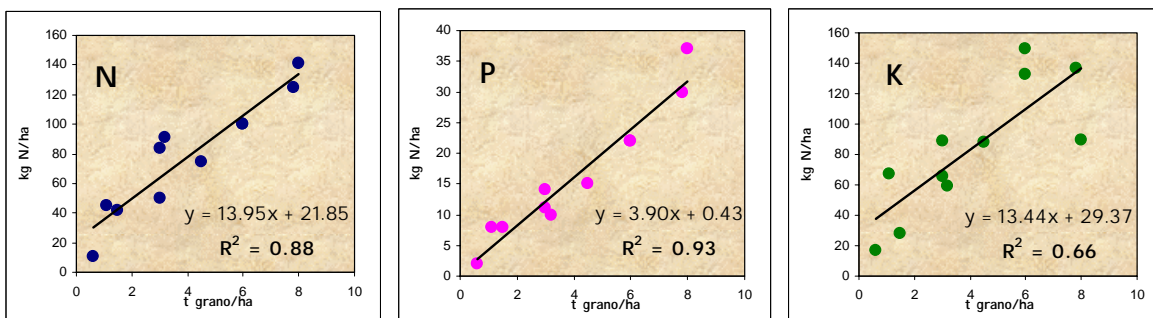


Figura 2. Ecuaciones de consumo total de N, P y K en relación a rendimientos de arroz.

De acuerdo a esta información, para producir 5 t/ha de arroz, la plantación consumirá aproximadamente 92, 20 y 97 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Otra opción más sencilla y suficientemente aproximada consiste en llevar todos los datos recopilados a 1 t/ha de grano, y calcular un promedio (Tabla 2). Mediante este proceso, la estimación de requisitos para las mismas 5 t/ha de arroz, corresponde a 97, 19 y 102 kg/ha de N, P y K, respectivamente, que como se puede observar resulta bastante semejante a los estimados realizados a través de las ecuaciones, y mediante un proceso mucho más sencillo.

Tabla 2. Promedio de consumo total de 1 t/ha de grano de arroz provenientes de diferentes referencias recopiladas en la literatura.

	Kg/ha			Referencia
	N	P	K	
	16	4	18	Malavolta, 1979
	17	4	22	FIAC-FAO, 1980
	17	3	20	BASF, 198?
	17	4	22	FIAC-FAO, 1980
	17	4	25	BASF, 1982
	18	5	11	Sánchez, 1978
	18	3	28	Kanapathy, 1976
	28	5	19	Sánchez, 1978
	28	3	18	FAO, 1970
Promedio	19	4	20	
DE	5	1	5	
% CV	26%	18%	24%	

En forma semejante se podría proceder con datos de cosecha de cualquier cultivo. A través del ejemplo siguiente que cuantifica los requisitos nutricionales de una fanega de café, tanto por medio de la información recopilada de la literatura (Tabla 3) como por determinación experimental a partir del análisis de los frutos (Tabla 4), es posible constatar en el Tabla 5, que si el número de referencias es respetable, y todas ellas se transforman a las mismas unidades, pueden obtenerse promedios de requisitos bastante aproximados a los obtenidos empíricamente.

Tabla 3. Extracción de nutrimentos por la cosecha de café a partir de referencias.

A. Datos originales según los aporta la literatura.

Detalle reportado		N	P	P2O5	K	K2O	Ca	CaO	Mg	MgO	S	Referencia
1 t café verde	kg	34		6,4		50						Bravo Suelos Ecuat
1000 kg café Robusta	kg	32		6		36						Bravo Suelos Ecuat
1255 kg café limpio (1345 pl/ha)	kg	37	3,3		43,3		4,1		4,2		3,1	Carvajal 1984a
30 fan fruto maduro (1 fan = 46 kg oro)	kg	43,3		8,4		48,1		11,2		4,7	2,3	Carvajal 1984b
1000 kg café de mercadeo C. canephora	kg	33,4		6,1		44		6,4		4,2		Carvajal 1984c
1 t café limpio	kg	33,4	2,7		36,5		3,9		2,5			Carvajal 1985a
1 t cereza (1 fan = 250 kg) = 4 fan (1 fan=46 kg oro) = 184 kg	kg	6,1	0,5		5,6		1,1		0,2		0,3	Carvajal 1985b
1000 kg café limpio (5000 kg grano fresco)	kg	34		5,1		48						Catani y Moraes 1958
2 t cereza seca	kg	30		5		48						I laco 1981
1000 kg café en coco (11% H)	kg	22,2		3,2		28,8		3,5		3,3	1,2	IPF/IIP 1982
1000 frutos de café = 350 g PS	g	6	0,5		9		1,5		0,3		0,3	IPF/IIP 1982
1 kg café beneficiado	g	23,5		3,8		26,5						Jacob y Uexkull
1000 lbs café oro ó 5000 lbs café cereza	lbs	34		5,1		48						Kanapathy 1976
2 t coco	kg	33	3		52							Malavolta 1977
60 kg café limpio (grano + cáscara)	g	1481	103		2041		294		92		126	Malavolta 1980
350 g de PS de frutos (1000 frutos)	g	5	0,5		9		1,5		0,3		0,3	Malavolta 1982
Total absorbido para producir 60 kg limpios	g	2094	144		3168		408		168		162	Malavolta 1993
600 kg café beneficiado (10 sacas)	kg	30	3		47		6		3		3	Quimbrasil 1980
10 kg café limpio	g	166	11		153		28		16		13	Quimbrasil 1980
1000 kg grano verde café C. arabica	kg	40		5		52	3,9		2,3		1,8	Rao 1993
1 fan	kg	900	60		1300		200		100			Segura 1991
1000 kg café limpio (5000 kg cereza)	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Uexkull 1968

B. Datos transformados a kg/ha y referidos a 1 fanega de café.
(1 t café limpio = 21.75 sacos de 46 kg = 21.75 fan café cereza)

N	P	K	Ca	Mg	S	Referencia
1,6	0,13	1,9				Bravo Suelos Ecuat
1,5	0,12	1,4				Bravo Suelos Ecuat
1,5	0,12	1,7	0,21	0,12		Carvajal 1984
1,4	0,12	1,3	0,27	0,09	0,08	Carvajal 1984
1,4	0,12	1,6	0,15	0,15	0,11	Carvajal 1984
1,5	0,12	1,7	0,18	0,11		Carvajal 1985
1,5	0,12	1,4	0,27	0,05	0,07	Carvajal 1985
1,6	0,10	1,8				Catani y Moraes 1958
0,7	0,05	0,9				I laco 1981
1,0	0,06	1,1		0,09	0,06	IPF/IIP 1982
0,8	0,07	1,2	0,20	0,03	0,03	IPF/IIP 1982
1,1	0,08	1,0				Jacob y Uexkull
1,6	0,10	1,8				Kanaphaty 1976
0,8	0,07	1,2				Malavolta 1977
1,1	0,08	1,6	0,23	0,07	0,10	Malavolta 1980
0,7	0,07	1,2	0,20	0,03	0,03	Malavolta 1982
1,6	0,11	2,4	0,31	0,13	0,12	Malavolta 1993
2,3	0,23	3,6	0,46	0,23	0,23	Quimbrasil 1980
0,8	0,05	0,7	0,13	0,07	0,06	Quimbrasil 1980
1,8	0,10	2,0	0,18	0,11	0,08	Rao 1993
0,9	0,06	1,3	0,20	0,10		Segura 1991
1,5	0,12	1,7				Uexkull 1968
1,3	0,10	1,6	0,23	0,10	0,09	Promedio general

Tabla 4. Determinación experimental de los requisitos nutricionales de una fanega de café (Bertsch y Ramírez 1999).

Concentración de nutrimentos en el grano maduro de café

N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
%						mg/kg				
1,68	0,14	2,22	0,16	0,24	0,11	31	13	5	38	42

Cantidad absorbida por 1 fanega (75.5 kg de Peso Seco) de grano de café maduro

Peso seco	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
kg/fan	kg/fan						g/fan				
74,5	1,26	0,11	1,65	0,12	0,18	0,08	2,32	0,95	0,36	2,83	3,11

Tabla 5. Comparación entre promedios obtenidos experimentalmente y recopilados en la literatura.

Promedio	kg consumidos por 1 fan de café maduro					
	N	P	K	Mg	Ca	S
Experimental	1.26	0.11	1.65	0.12	0.18	0.08
De la literatura	1.30	0.10	1.60	0.23	0.10	0.09

Difícilmente podría lograrse mayor consistencia entre datos obtenidos por métodos tan diferentes.

EJEMPLOS PRACTICOS DEL USO DE LOS ESTUDIOS DE ABSORCION PARA AFINAR RECOMENDACIONES

Siguiendo la clasificación de estudios de absorción de nutrientes establecida anteriormente, que señala tres tipos de estudios:

Extracción total
Requisitos de cosecha
Curvas de absorción

a continuación con esa misma secuencia, se presentan situaciones reales en las que dichos estudios sirvieron de base para tomar decisiones importantes al momento de recomendar un programa de fertilización.

Extracción Total

1. Estimación de dosis

Al conocer el consumo total que hace un cultivo lo primero que es factible de hacer es estimar la dosis pertinente para el mismo. Esto se logra efectuando el enfrentamiento de este consumo total, con las cantidades presentes en el suelo (expresadas en kg/ha), y asignarle al sistema un determinado % de eficiencia de la fertilización (Tabla 6).

De esta manera se puede obtener una dosis apoyada en los requisitos del cultivo.

Tabla 6. Estimación de dosis a partir de los requisitos de un cultivo.

Unidades: kg/ha		CAFÉ en un ANDI SOL Juan Viñas, Cartago			CAFÉ en un ULTI SOL Pérez Zeledón, San José		
REND: 60 fan/ha		N	P	K	N	P	K
A	REQUISITO PARA 1 fan REQUISITO DE COSECHA REQUISITO VEGETATIVO REQUISITO TOTAL	1.3 78 56 134	0.11 7 3 10	1.65 99 42 141			
B	Cantidad presente en el suelo según el análisis		44	468		16	156
C	Mínimo a aplicar para llenar necesidades de planta y suelo	134	7	50	134	10 + 4 14	99
D	% Eficiencia	0.50	0.30	0.80	0.50	0.40	0.75
E	Dosis de elemento puro (C/D*100)	268	22	63	268	35	132
F	Factor de conversión		2.29	1.20		2.29	1.20
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
G	DOSIS DE ELEMENTO COMERCIAL	268	50	75	268	80	158

En este ejemplo, los requisitos determinados para producir 60 fan/ha de café son los mismos pues provienen de las necesidades de 1 fanega, sin embargo, según la condición nutricional del suelo y el clima en que está ubicada cada plantación, la primera en un Andisol de Juan Viñas, fertilizado durante muchos años, y la segunda en un Ultisol de Pérez Zeledón, suelo mucho más pobre de menor calidad nutricional, a partir de ese requisito se generan dos recomendaciones comerciales diferentes, adaptadas a las situaciones particulares. Los % de eficiencia se definen según el elemento, el tipo de suelo y el clima del lugar. En la Tabla 7 resume los ámbitos comunes usados para los 3 elementos en los principales órdenes de suelos presentes en Costa Rica.

Tabla 7. Ambitos de % de eficiencia de la fertilización utilizados en Costa Rica para N, P y K en los grupos de suelos dominantes en el país.

	Vertisoles	Volcánicos	Rojos	Inceptisoles
N	50-65%	55-65%	50-55%	50-70%
P	45-50%	30-35%	35-40%	40-50%
K	60-65%	70-80%	60-70%	60-80%

2. Maximización de la eficiencia de la fertilización

También, si se determinan las cantidades totales requeridas por un cultivo, por ejemplo sandía (Tabla 8) y se conoce el programa de fertilización de rutina que se le hace a ese cultivo en una finca específica, es posible maximizar la eficiencia de la fertilización para esa condición en concreto (Tabla 9), y definir una dosis total más acertada.

Cuadro 8. Consumo de nutrimentos total y por la cosecha de sandía, variedad Crimson Jewel, en Parrita, Puntarenas (Bertsch y Ramírez, 1997).

	44.4 t fruta/ha			1 t fruta fresca
	Total Kg/ha	Fruta Kg/ha	Porcentaje del total	
N	57	18	32%	1.28
P	8	4	50%	0.18
K	89	50	56%	2.0
Ca	108	6	6%	2.43
Mg	23	3	13%	0.52

En este caso de sandía, el K es el elemento fundamental que se extrae en grandes cantidades y sale con la fruta. Al comparar el consumo con la aplicación, resultó claro que el programa estaba sufriendo niveles muy por debajo de las necesidades reales, o sea, le estaba dejando excesiva responsabilidad al suelo. En sistemas de fertirriego semanal como este, no parece conveniente que prevalezca esta situación aunque el suelo tenga el nutrimento, pues si todos los nutrimentos le están siendo suplidos en buenas cantidades a la planta excepto uno, probablemente éste se vea en desventaja de ser absorbido por la raíz. Al subir a 72 kg/ha el nivel de aplicación de K, al menos hay certeza que con una eficiencia de fertilización del 70%, se están llenando las necesidades de K de la fruta (50 kg/ha).

Tabla 9. Maximización de la eficiencia de fertilización en el programa de K de la finca de sandía con base en los resultados del estudio de absorción.

Ajuste de Fertilización	Consumo	Programa de aplicación (total)	%Eficiencia (cons/aplic)*100
ANTES	89 kg/ha	45 kg/ha	198%
DESPUÉS	89 kg/ha	72 kg/ha	124%

3. Aumento de eficiencia y disminución de dosis al usar líquidos en helecho

En un ejemplo en helecho hoja de cuero en Sarchí, Alajuela, en el que se cuantificó con el mayor detalle posible los requisitos totales del cultivo (Cuadro 10), considerando todos los rubros que representan consumo para ese cultivo (rizoma, residual de campo, fronda de exportación) se partió de esos datos para establecer dos programas de fertilización, uno sólido granular para las épocas de invierno, y otro líquido, aplicable durante la época de verano, la de mayor crecimiento y producción.

Como se puede observar en la Tabla 11, si se cuenta con los requisitos nutricionales de un cultivo pueden diseñarse programas alternativos de fertilización con criterio técnico.

Tabla 10. Extracción total de nutrimentos en kg/ha/año efectuada por helecho hoja de cuero (*Rumohra adinatiformis*). Sarchí, Alajuela (Adaptado de Ramírez 1997, Informe Anual 1999).

Sección	PS	Concentración										
	kg/ha/año	N	P	% Ca	Mg	K	Fe	mg/kg				% S
Rizoma	14236	1.15	0.15	0.40	0.32	1.72	216	12	81	20	15	0.10
Residual de campo	6183	1.45	0.25	0.69	0.30	2.40	172	13	37	87	27	0.20
Fronda de exportación	7668	2.22	0.24	0.45	0.26	2.33	122	13	38	67	29	0.20
Sección	kg/ha/año											
		N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn	B	S
Rizoma		164	21	56	45	244	3.1	0.2	1.2	0.3	0.2	14
Residual de campo		90	15	43	18	148	1.1	0.1	0.2	0.5	0.2	13
Fronda de exportación		170	18	34	20	178	0.9	0.1	0.3	0.5	0.2	16
Total PROMEDIO		423	54	134	83	571	5	0.4	1.7	1.3	0.6	42
Límite superior		544	71	177	107	733	8	0.5	2.4	1.8	0.9	58
Límite inferior		313	39	95	62	424	3	0.3	1.1	0.9	0.4	28

Tabla 11. Diseño de alternativas de fertilización con diferentes % de eficiencia en helecho hoja de cuero.

HELECHO	kg/ha/año		
	N	P	K
Cantidad absorbida	423	54	571
	N	P2O5	K2O
	423	124	685
Dosis granular aplicada	604	190	685
% de eficiencia	70%	65%	100%
Dosis líquida aplicada	470	137	623
% de eficiencia	90%	90%	110%

En este caso, al usar fertilizantes granulares, se utilizaron % de eficiencia de fertilización dependientes del tipo de suelo y el elemento. En el caso de la opción líquida se estimó que este sistema podría garantizar una eficiencia mucho más cercana al 100%, por lo tanto de esa manera fue que se estimaron las dosis.

Requisitos de Cosecha

1. Restitución de cantidades exportadas

Para un exportador de plantas ornamentales como la *Dracaena marginata*, contar con el dato bastante aproximado de la cantidad de nutrimentos que se extraen por año de una ha de plantación, al multiplicar lo que extrae una caña por el número de cañas que produjo en ese año, es un buen punto de partida para estimar la cantidad de nutrimentos que debe reponer. Según cuente con los datos de producción por semana, por mes o por año, así podrá planificar la forma de efectuar las restituciones. Lo que es claro es que si pretende mantener la sostenibilidad de su sistema debe cuidarse de no poner menos fertilizante de lo que directamente exporta de su parcela (Tabla 12).

Estimaciones semejantes podrían hacerse a partir de la extracción que hace una unidad de exportación de Ginger (Tabla 13), flor tropical de gran relevancia en el país.

Tabla 12. Estimación de los requisitos nutricionales que se exportan de una ha de Dracaena de 30 pulgadas (Bertsch et al 2000).

Caracterización del peso de las cañas

		peso máx de 1 caña (g)					
pl/ha	cañ/pl	cañ/ha	PF total	PS total	% H	PS/planta	PS/ha
22000	5	110000	669	129	81%	644	14

ANALISIS QUIMICO (caña de 30")

	%N	%P	%K
TIP	2,44	0,16	2,42
CAÑA	0,98	0,10	2,61
RAÍZ	1,06	0,12	1,87

Cantidad de nutrimentos EXPORTADOS por cañas de 30"

		gramos			
		PS	N	P	K
TIP	46 g		1,12	0,07	1,11
CAÑA	65 g		0,64	0,06	1,70
RAÍZ	18 g		0,19	0,02	0,33
Caña (g)	1 caña	129 g	1,94	0,16	3,14
Planta (g)	5 cañas	644 g	9,7	0,8	15,7
Ha útil (kg)	22000 plantas	14 t	214	17	346

Tabla 13. Extracción de nutrimentos efectuados por una flor de cosecha de Ginger. Río Frío, Heredia (Informe Anual 1998).

Concentración		%							ppm				
Sección	PS	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
Desecho	156	1.6	0.22	1.56	0.41	2.52	0.16	109	10	33	680	13.6	
Exportable	42	0.78	0.23	1.35	0.34	1.85	0.11	80	7	38	271	20.4	
Flor	7	1.22	0.18	1.79	0.52	3.1	0.13	57	9	48	430	17	

Consumo (mg/flor)		PS	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Desecho	156	2497	343	2435	640	3933	250	17.0	1.6	5.2	106.1	2.1	
Exportable	42	331	98	572	144	784	47	3.4	0.3	1.6	11.5	0.9	
Flor	7	91	13	133	39	231	10	0.4	0.1	0.4	3.2	0.1	
Flor exportable	49	422	111	706	183	1015	56	3.8	0.4	2.0	14.7	1.0	

% invertido en flor	15	22	12	19	21	23	17	11	18	18	22	13
---------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

2. Estimación de la cantidad que se recicla con los residuos

En un cultivo como el palmito, del que se cosecha todo el hijo para extraer una pequeña fracción que es la comercialmente útil, después de una estimación del consumo de nutrimentos de esa parte cosechable segregándola en partes según su destino final (palmito consumible, desecho en la planta de empaque y residuo de campo) queda claramente demostrada la importancia de hacer esa primera limpieza de cáscaras del hijo en un lugar muy cercano al sitio de cosecha para garantizar un reciclaje adecuado de los nutrimentos en el mismo sistema (Tabla4), dada la alta proporción de nutrimentos que quedan en ese residuo de campo.

Tabla 14. Consumo de nutrimentos por las diferentes secciones del palmito (*Bactris gasipaes*) cosechado.

Tejido	Peso		%	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
	fresco	seco		ANÁLISIS FOLIAR											
	g/unidad			Hum	%							mg/kg			
Palmito comercial	215	16	92%	5.21	0.62	3.52	0.65	0.45	0.24	79	20	83	61	24	
Desecho en empacadora	906	49	95%	1.71	0.23	2.81	0.41	0.22	0.24	1230	12	35	54	17	
Residuo en campo	4559	639	86%	2.00	0.21	2.08	0.40	0.20	0.30	2100	12	38	97	23	
TOTAL	5680	704													

Tejido	CANTIDAD ABSORBIDA													
	g/unidad							mg/unidad						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B			
Palmito comercial	0.9	0.1	0.6	0.1	0.1	0.0	1	0	1	1	0			
Desecho en empacadora	0.8	0.1	1.4	0.2	0.1	0.1	60	1	2	3	1			
Residuo en campo	12.8	1.3	13.3	2.6	1.3	1.9	1341	8	24	62	14			
TOTAL	14.5	1.6	15.2	2.9	1.5	2.1	1403	9	27	66	16			

Tejido	PORCENTAJE EN CADA TEJIDO											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
	Hum											
Palmito comercial	6%	7%	4%	4%	5%	2%	0%	4%	5%	2%	2%	
Desecho en empacadora	6%	7%	9%	7%	7%	6%	4%	7%	6%	4%	5%	
Residuo en campo	88%	86%	87%	89%	88%	92%	96%	89%	89%	94%	92%	

3. Justificación de aplicaciones mínimas

En el caso de pequeños agricultores de frijol, la elaboración de un estudio de absorción de nutrimentos sirvió para respaldar numéricamente la importancia de mantener la práctica usual de la zona, la cual, antes de contar con este estudio, se creía que podría ser prescindible. Con un mínimo de 3 sacos de 10-30-10, para los niveles de producción de la zona de Pejibaye de Pérez Zeledón, y tomando en cuenta la posible eficiencia

de la fertilización bajo esas condiciones, se logra satisfacer prácticamente el 100% de las necesidades de P del grano de frijol, elemento que es el que impone las limitaciones en ese sitio. Con estas dosis no se aportan cantidades significativas de N y K, pero en el caso del N, para frijol, la nodulación se encarga de este suplemento y el K es un elemento abundante en la zona. De este ejemplo es importante la forma en que esta información técnica puede ser difundida a agricultores por medio de una secuencia simple de figuras (Figura 3).

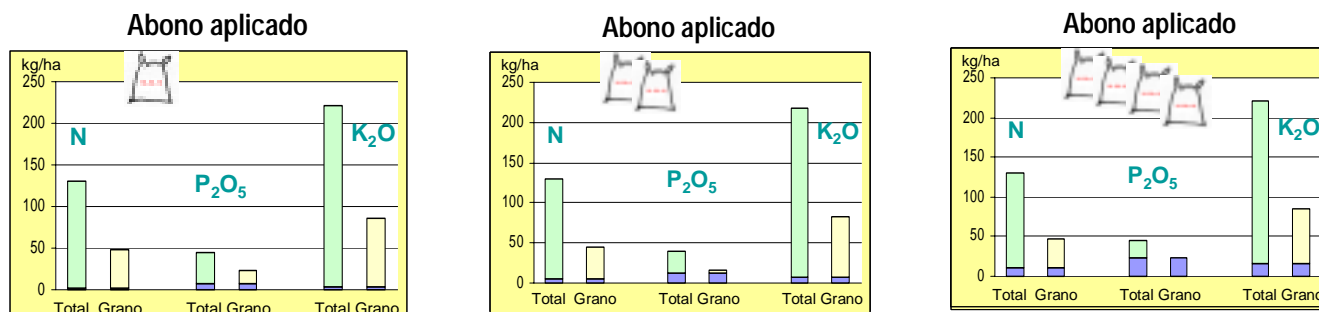


Figura 3. Efecto de la aplicación de 1, 2 y 4 sacos de 10-30-10 sobre la satisfacción de las necesidades de P en frijol rojo. Pejibaye, Pérez Zeledón (Arguedas et al 2002).

4. Restitución en sistemas orgánicos

En sistemas de producción orgánica de banano en la zona Atlántica de Costa Rica también ha sido validada la utilidad de los estudios de absorción como un medio de estimar los complementos mínimos que deben ser aportados con abonos orgánicos u otros productos minerales permitidos para garantizar la sostenibilidad del sistema.

Asumiendo que en el caso del banano toda la estructura de la planta excepto el racimo permanece dentro de la plantación y llegará tarde o temprano a reciclarse en el sistema, lo que efectivamente habría que estimar como una salida que debe reponerse periódicamente, es la cantidad de nutrientes consumidos por los racimos de las 600 plantas de banano sembradas/ha. Uno de estos racimos de la variedad Gross Michel de aproximadamente 13.5 kg de peso fresco (2.7 kg de peso seco) consume en promedio 20 g de N, 4 g de P y 85 g de K. Con base en estos criterios técnicos, recomendaciones prácticas anuales por planta de dos aplicaciones de 1 kg de gallinaza cada una (al 3% de N y con una descomposición del 40%) cada 6 meses, una sola aplicación de 85 g de Roca Fosfórica (al 30% de eficiencia) y 6 aplicaciones de 85 g de K-Mag (al 60-65% de eficiencia) cada dos meses están siendo divulgadas en la principal zona productora de banano orgánico del país a través de manuales producidos por uno de los programas del Convenio Bilateral para el Desarrollo Sostenible Costa Rica-Holanda (Umaña 2002).

Curvas de Absorción

Este tipo de estudio de absorción es por supuesto el más completo y mediante el cual se puede efectuar un afinamiento más preciso de los programas de fertilización.

Aunque es un procedimiento más caro, puede simplificarse bastante y lograr aún así, informaciones valiosas.

Procedimiento:

Los pasos que hay que seguir para construir una curva de absorción son los siguientes:

1. Seleccionar una sola variedad del cultivo
2. Escoger lotes con plantas en excelentes condiciones (IDEAL) y con rendimientos potenciales altos
3. Se pueden utilizar lotes diferentes para las distintas edades siempre y cuando las condiciones de suelo, manejo y rendimiento sean semejantes
4. Definir las etapas fenológicas más importantes del ciclo de cultivo (no necesariamente basándose en DDS o días después de la siembra)
5. Dividir la planta en los tejidos de importancia (vegetativo, frutos, raíz, etc)
6. Tomar mínimo 3 repeticiones por etapa y tejido; y medir:
 - Peso fresco, peso seco y concentración de nutrientes en los tejidos

7. Calcular el peso seco acumulado (kg/ha) para cada etapa fenológica
 - Usar el mayor número de repeticiones posibles (mínimo 3)
 - Si los cálculos se hacen por planta, multiplicar cada repetición por el número de plantas/ha que haya y luego sacar un promedio
 - Si los cálculos se hacen por área, transformar dicho valor a kg/ha con base en el área útil real que el cultivo ocupe en la ha (excluir caminos, pasillos, canales, etc).
8. Graficar la curva de crecimiento en kg/ha, poniendo el tiempo en el eje x y los kg/ha en el eje y, para los diferentes tejidos y el total.
9. Calcular la cantidad de nutrientes absorbida
 - Las muestras de peso seco se pueden fundir en una sola para cada uno de los tejidos
 - El coeficiente de variación entre las repeticiones de concentración experimentalmente ha dado valores menores a 15%
 - Efectuar los análisis individuales para cada repetición y tejido encarece drásticamente la elaboración de la curva
 - Si las concentraciones se expresan en %, el cálculo se hace con la siguiente fórmula: $\text{kg NUT por tejido/ha} = \text{PS (kg/ha) del tejido} \times [\text{NUT \%}] / 100$
 - Si las concentraciones se expresa en ppm, la fórmula es:
 $\text{kg NUT por tejido/ha} = \text{PS (kg/ha) del tejido} \times [\text{NUT mg/kg}] / 1000$

Utilidades concretas:

De las curvas de absorción se pueden extraer las siguientes utilidades concretas:

1. Para poder hacer las curvas de absorción de nutrimentos hay que generar en forma previa, la curva de crecimiento del cultivo, en términos de peso seco, información que, pese a ser tan básica, muchas veces no se tiene disponible para los cultivos.
2. Permiten conocer la acumulación de nutrientes en el tiempo en los diferentes tejidos.
3. Permiten establecer, durante el ciclo, los MOMENTOS DE MÁXIMA ABSORCIÓN que tiene el cultivo.
4. A través de ellas se puede establecer el grado de RECICLAJE o retorno al sistema que tiene cada nutrimento.
5. Con ellas es posible establecer la presencia o no de TRANSLOCACIÓN de nutrientes de algunos tejidos a otros durante el ciclo.
6. Y finalmente si la curva de aplicación se diseña en función de la absorción, permiten establecer un programa gradual a lo largo del ciclo que MAXIMIZA LA EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN EN EL TIEMPO.

CURVA DE CRECIMIENTO

Lo importante con esta curva es que queden establecidas las principales etapas fenológicas del cultivo y la participación de cada tejido en ellas (Figura 4) (Ramírez et al 2000b).

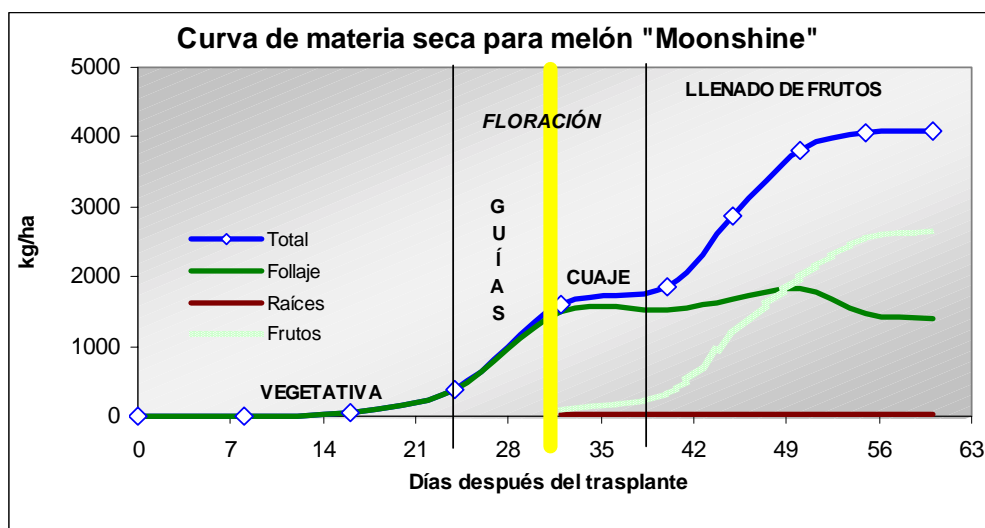


Figura 4. Curva de crecimiento de melón “Moonshine”, en Nicoya, Guanacaste.

CURVAS DE ABSORCION

Con estas curvas es fácil comparar las distintas tendencias en el curso de absorción total y de cada tejido que siguen los diferentes elementos en cada cultivo (Figura 5).

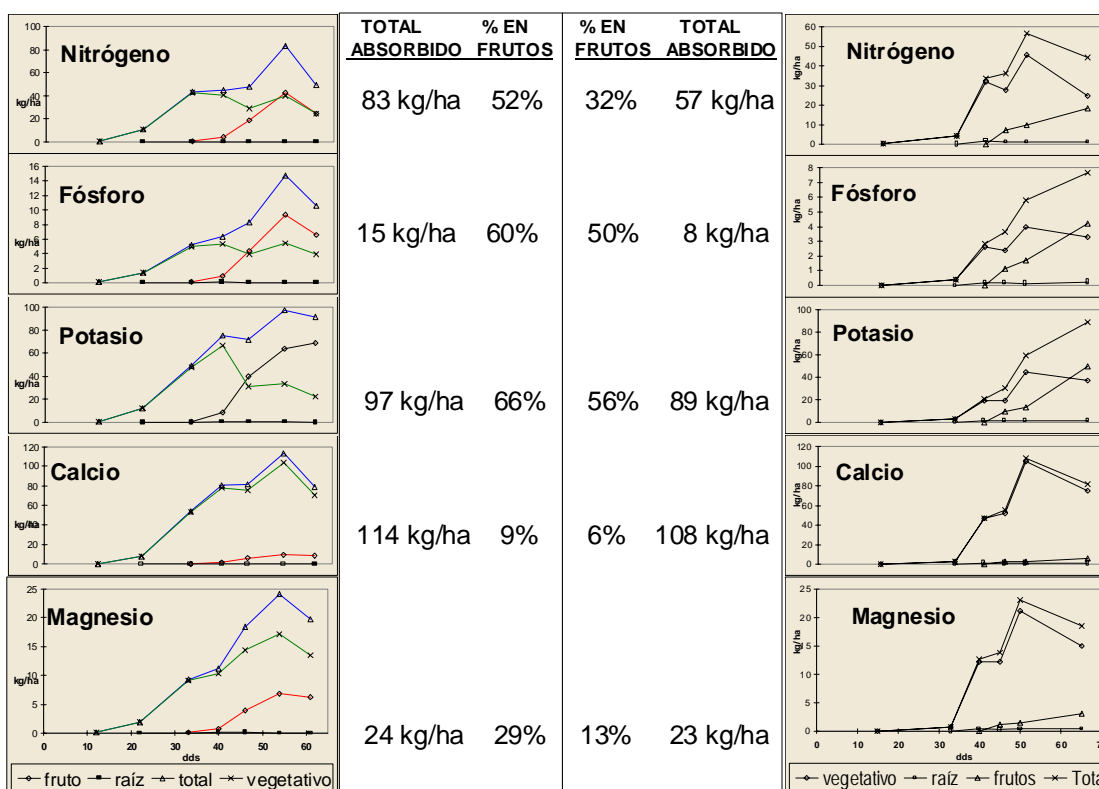


Figura 5. Curvas de absorción de N, P, K, Ca y Mg para melón “Honey Dew” y sandía “Crimson Jewel” (Bertsch y Ramírez 1998).

MOMENTOS DE MAXIMA ABSORCION

Al expresar las curvas de absorción en términos porcentuales utilizando el consumo máximo como el 100% y subdividiendo la curva por etapas, quedan completamente explícitos los momentos de máxima absorción, y por lo tanto, establecidas previo a ellos las épocas pertinentes de aplicación de fertilizantes (Figura 6).

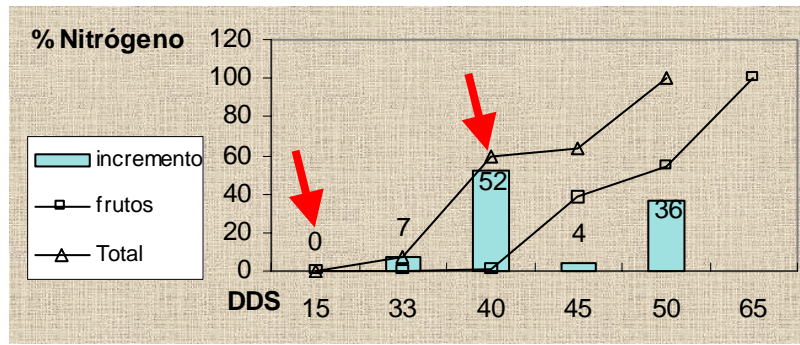


Figura 6. Momentos de máxima absorción y épocas oportunas de aplicación de N en sandía (Bertsch y Ramírez 1998).

RECICLAJE

Con las curvas es posible detectar el tejido en el que preferencialmente se acumula un nutriente y por lo tanto, si éste saldrá del sistema con el producto cosechado o tendrá posibilidades de ser reciclado (Figura 7). En este caso de sandía, la gran mayoría del Ca consumido se queda en el follaje, por lo tanto es posible que se reintegre al suelo.

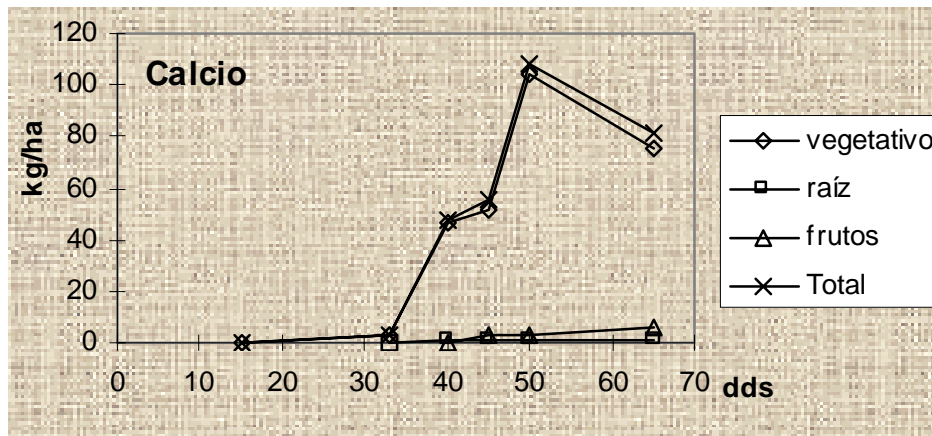


Figura 7. Acumulación de Ca en el tejido vegetativo de la sandía (Bertsch y Ramírez 1998).

TRANSLOCACIÓN

Este efecto es posible identificarlo cuando la curva de consumo de algún tejido decrece, mientras que la de otro continúa ascendiendo. En este caso de sandía, por ejemplo (Figura 8) el tanto en el que la de consumo vegetativo decrece implica una translocación al fruto.

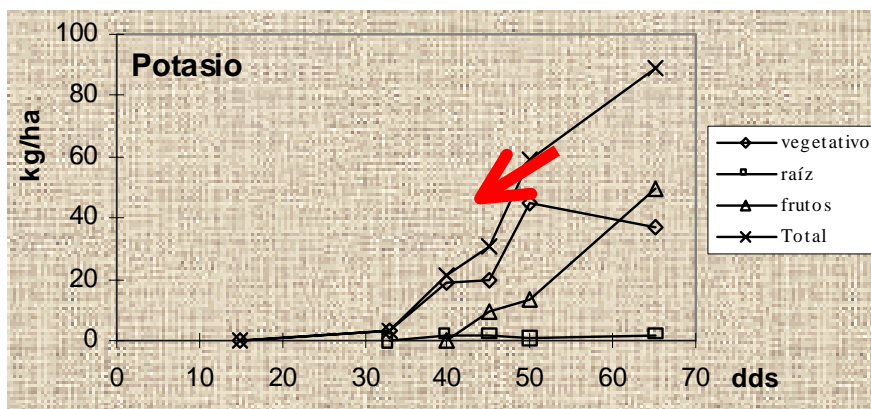


Figura 8. Curva de absorción de K en sandía "Crimson Jewel" (Bertsch y Ramírez 1998).

MAXIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE FERTILIZACIÓN EN EL TIEMPO

Especialmente en cultivos de ciclo corto y de fertilización intensiva (semanal por ejemplo) las curvas de absorción permiten hacer un ajuste muy preciso entre lo consumido y lo aplicado. Las Figuras 9, 10 y 11 describen tres formas gráficas de efectuar estos ajustes del programa para diferentes elementos y diferentes cultivos anuales.

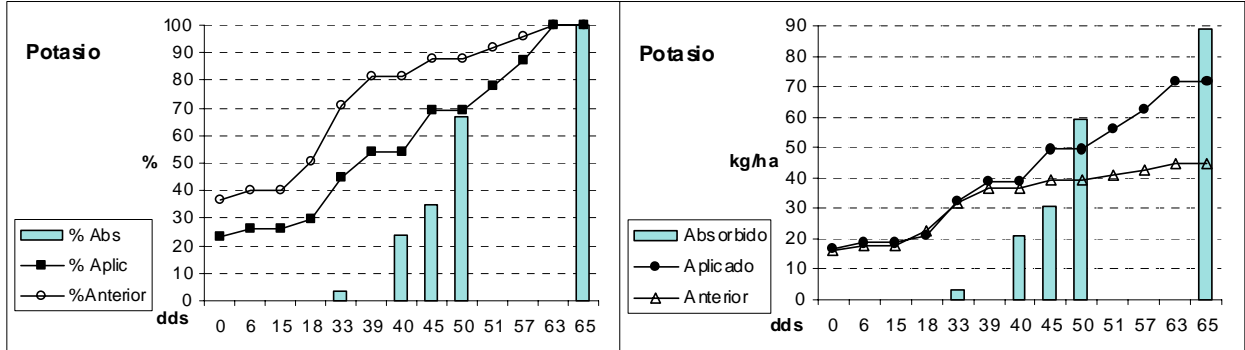


Figura 9. Ajuste del programa de fertirriego de K para sandía "Crimson Jewel". Parrita, Puntarenas (Bertsch y Ramírez 1997).

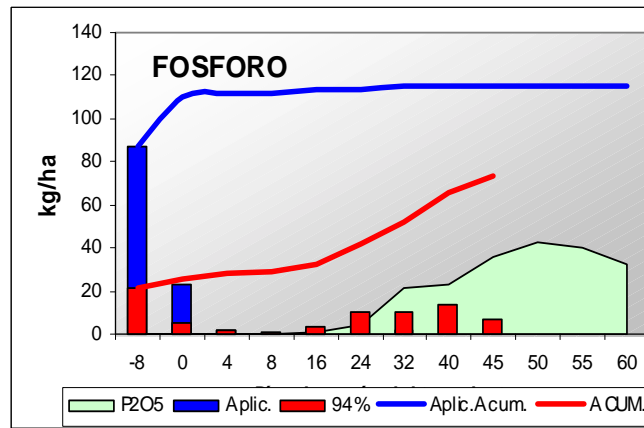
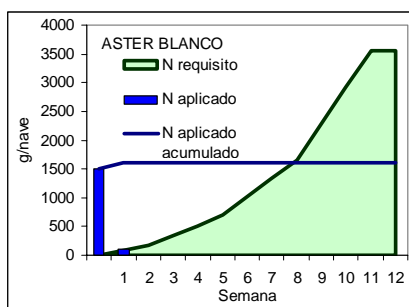
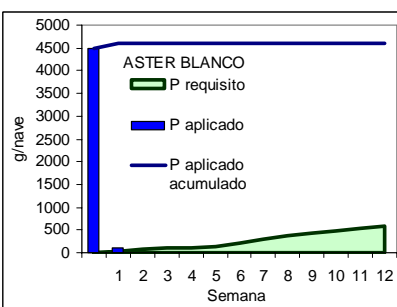


Figura 10. Ajuste del programa de fertilización de P para melón "Moonshine". Nicoya, Guanacaste (MINC 2000).

N
FERTILIZACIÓN ORIGINAL DE LA FINCA

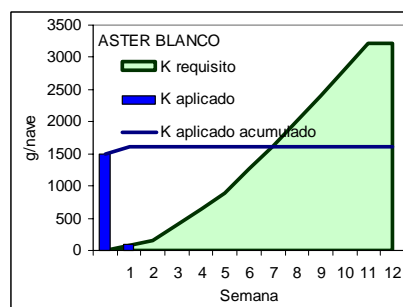


P

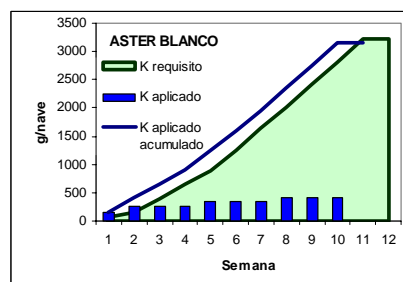
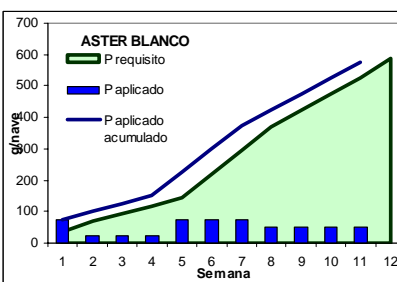
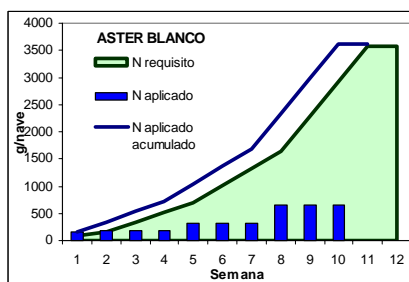


K

Aster Blanco

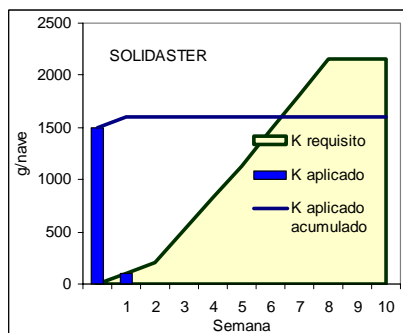
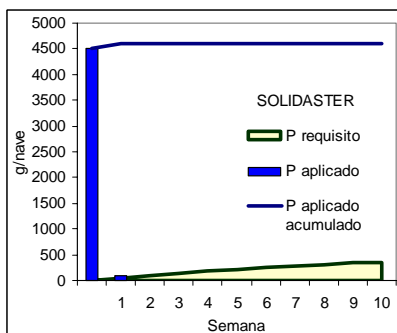
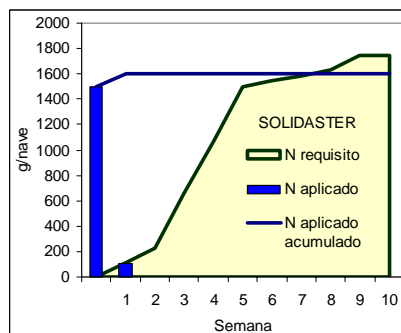


FERTILIZACIÓN PROPUESTA CON LA CURVA



FERTILIZACIÓN ORIGINAL DE LA FINCA

Solidaster



FERTILIZACIÓN PROPUESTA CON LA CURVA

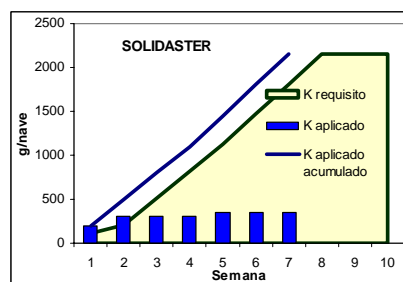
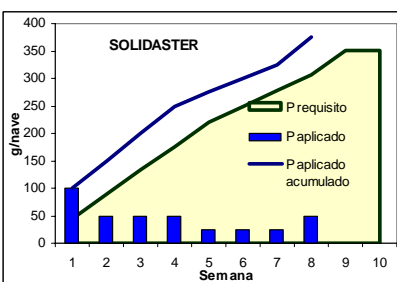
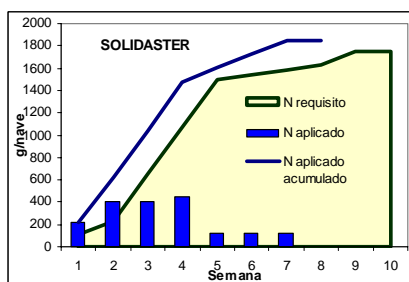


Figura 11. Comparación entre el programa de fertilización que se aplicaba en la finca antes de elaborar la curva de absorción y una opción que podría ser implementada con la información adquirida, para dos flores de corta de acompañamiento, Aster Blanco y Solidaster (Ramírez et al 2000a).

Otros Ejemplos

Otros ejemplos prácticos de la forma en que los estudios de absorción han resultado útiles para tomar decisiones de fertilización se presentan a continuación.

1. Caña de Azúcar

En el caso del cultivo de caña de azúcar en la Hacienda Juan Viñas, Cartago, la elaboración de curvas de absorción en dos variedades, y tres edades (siembra, primera y segunda soca) a lo largo de los 24 meses que dura el ciclo del cultivo en esa zona, (Figura 12) permitió sacar ciertas conclusiones e introducir algunas recomendaciones prácticas al programa de fertilización de la finca.

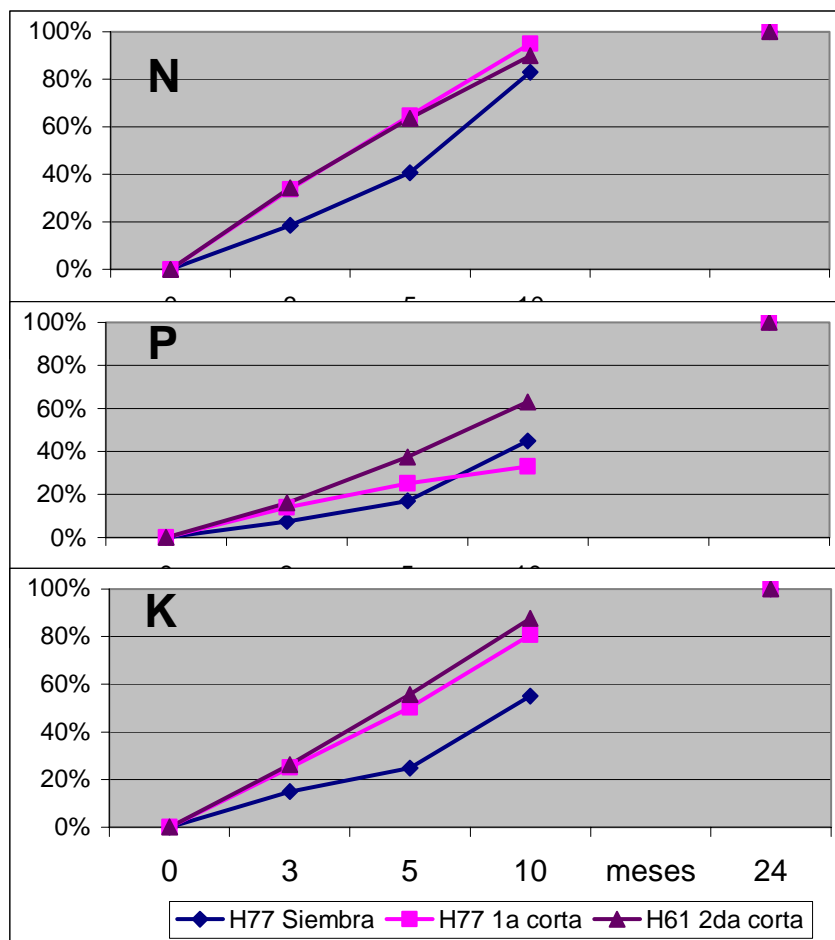


Figura 12. Curvas de absorción de dos variedades en tres estados de corta (siembra, primera y segunda corta) de caña de azúcar. Hacienda Juan Viñas, Cartago (Informe Anual 2000).

El N y el K se consumen prácticamente en su totalidad durante el primer año, y en el segundo lo que hay es retranslocación. Mientras que el P, por el contrario se sigue absorbiendo en forma parecida durante los dos años. Esta observación condujo a definir el uso de fórmulas completas a base de N-P-K en las dos épocas usuales de aplicación, 3 y 5 meses. En tiempos anteriores se acostumbraba a usar fórmula completa en solo una época y la otra se hacía solo con N o con N y K.

Por otro lado, las curvas son claras en indicar que el proceso de absorción es más retardado en la caña de siembra; esta observación ha tenido implicaciones prácticas muy definidas en la finca pues ha modificado la secuencia en que son aplicados los lotes, dejando de últimos a los que han sido sembrados ese año.

2. Comparación de Variedades

Con estudios de curvas de absorción se vuelve fácil establecer diferencias entre el comportamiento de variedades de un mismo cultivo. A continuación se presentan dos ejemplos, en papa (Figura 13, Soto 2002) y en frijol (Figura 14, Bertsch et al 2002) para P. Es claro con estos ejemplos que las variedades merecen recomendaciones diferenciadas.

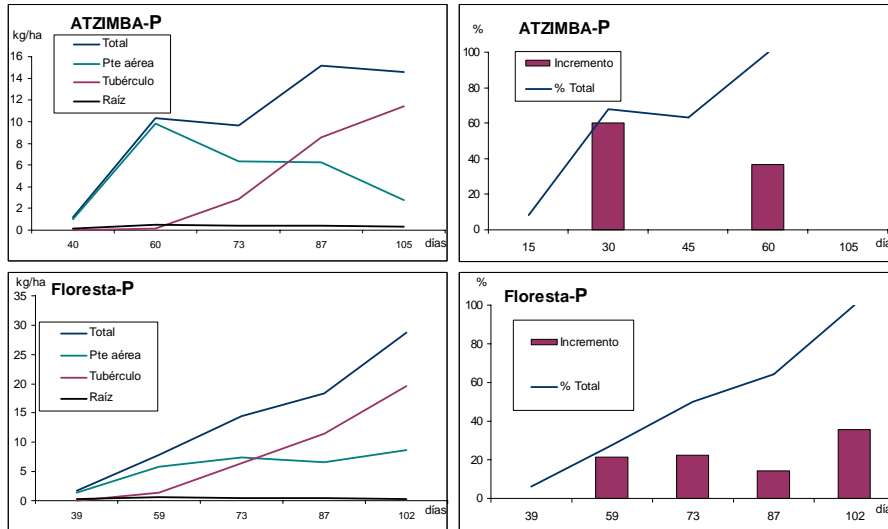


Figura 13. Comparación entre las curvas de absorción de P de dos variedades de papa, “Atzimba” y “Floresta” (Soto 2002).

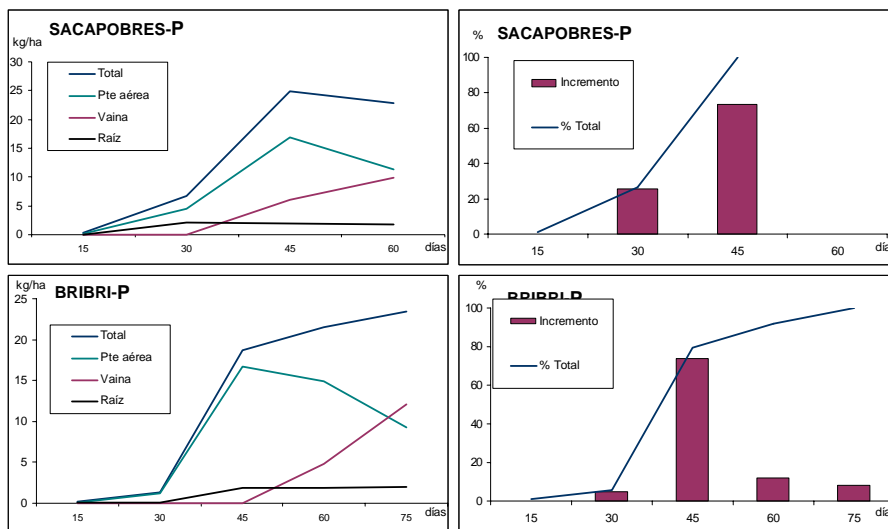


Figura 14. Comparación entre las curvas de absorción de P de dos variedades de frijol rojo, “Sacapobres” y “BriBri” (Bertsch et al 2002).

3. Frutos de Aguacate

Información sobre la acumulación de nutrientes por frutos de aguacate en la zona de Tarrazú, San José, sirvieron para diseñar un programa preliminar de fertilización en este cultivo (Figura 15).

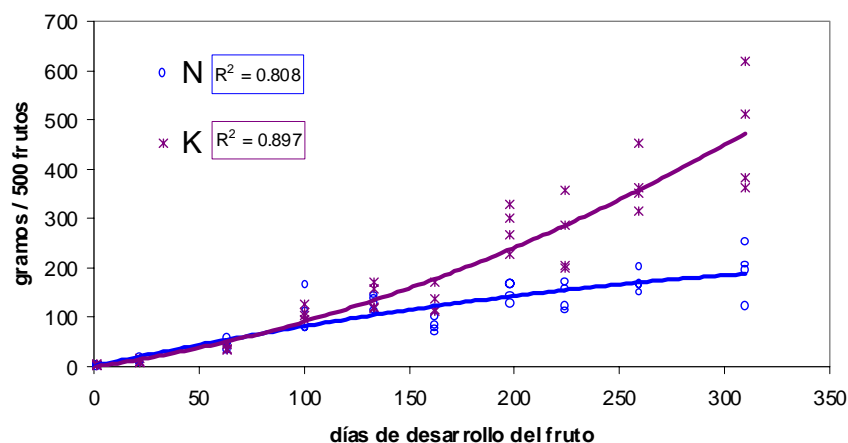


Figura 15. Acumulación de N y K por frutos de aguacate. Tarrazú, San José (Informe Anual 1998).

4. Frutos de Café

También, en el cultivo de café se efectuó una curva detallada de la absorción de nutrientes durante el proceso de desarrollo del fruto, de modo que fue posible establecer con claridad que entre los 60 y 90 días después del pico de máxima floración, es el momento en que se produce el consumo más fuerte de nutrientes. Para este momento todos los elementos, excepto el K, han sido consumidos en un 50% del requisito total.

Otra observación relevante que se desprende de este estudio es que el fruto completa el consumo de tres micronutrientes, Zn, Fe y Cu antes de empezar la maduración, por lo que resulta poco estratégico realizar aplicaciones tardías (posteriores a 6 meses después del pico de floración) de estos elementos (Figura 16).

Finalmente, en la Tabla 15 se presenta un programa de fertilización foliar dirigido a apoyar efectivamente el curso de formación, llenado y maduración de frutos, dando prioridad a la segunda y tercera aplicación.

Tabla 15. Programa de fertilización foliar para apoyar el desarrollo del fruto de café.

Fecha de aplicación			Nutrientes a aplicar		
Días	Semanas	Meses	Prioritarios	Secundarios	Terciarios
40-45	6	1.5	Ca		
60-75	11	2.5	Ca, Zn, B	Mg	N, K
100-110	15	3.5	Zn, B	Cu, Fe	Mg, S
200-210	28	6.5	K, N	B, Mg	

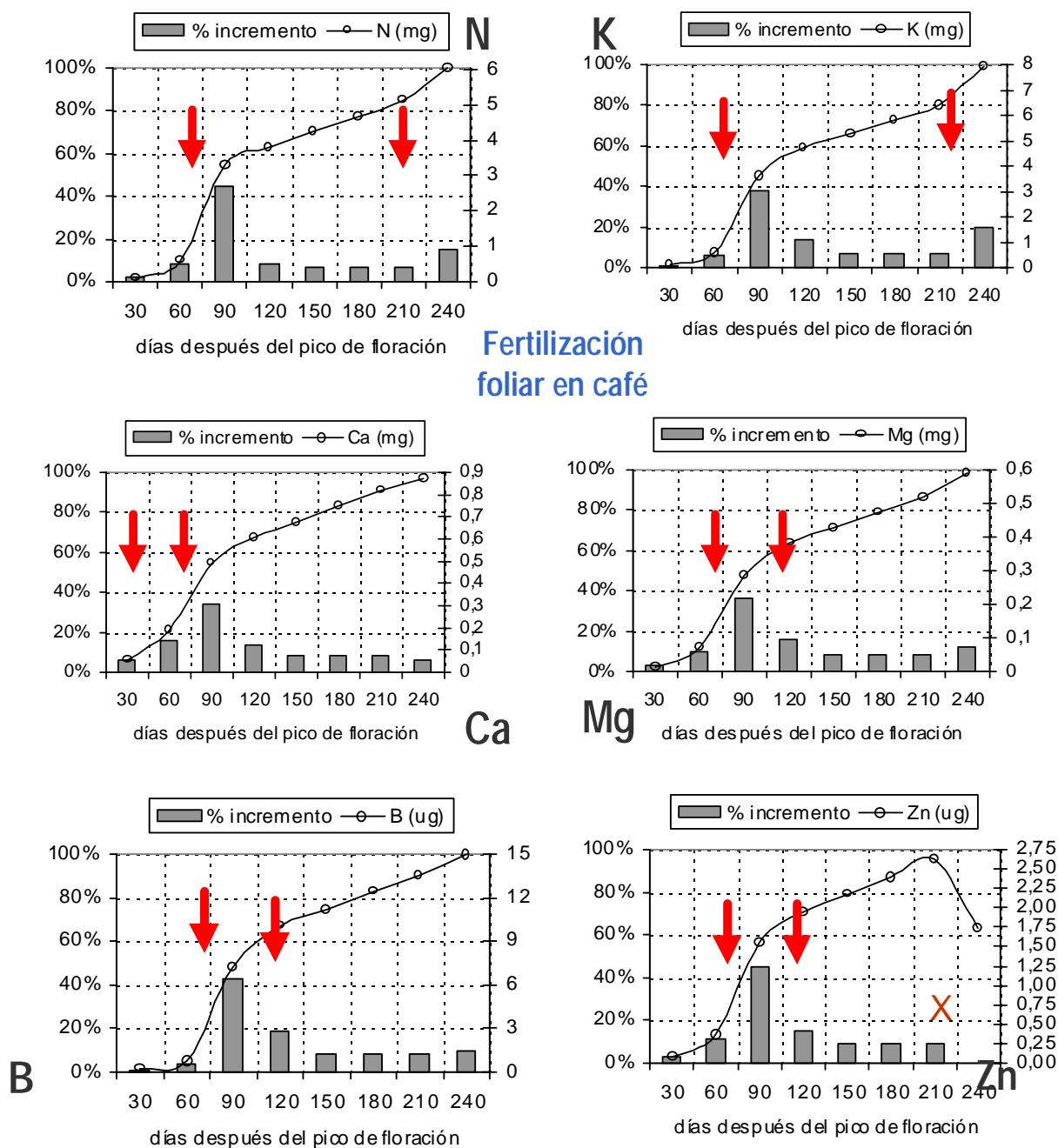


Figura 16. Curvas de absorción de nutrientes por frutos de café Caturra. Aquires, Turrialba, Cartago (MINC 1999).

CONCLUSION

Sea cual sea la circunstancia o el cultivo del que se trate, contar con información sobre el consumo real que hacen los cultivos, constituye una herramienta sólida para argumentar técnicamente las recomendaciones de fertilización que se diseñan.

AGRADECIMIENTO

La autora quiere aprovechar la oportunidad para agradecer muy especialmente al Instituto de la Potasa y el Fósforo, INPOFOS, por su apoyo constante y solidario a través de tantos años, tanto a nivel económico como técnico, en el desarrollo de su labor de investigación. Este hecho, indiscutiblemente, ha sido pilar

fundamental en la consolidación de resultados como los recopilados en este documento. Al Dr. José Espinosa, particularmente, le dedico este esfuerzo en honor a su incondicional confianza en mi persona.

REFERENCIAS

- Arguedas F, Hernandez Jc, Bertsch F, Acosta M. 2002. Abonado del frijol. San José, Proyecto de FITTACORI entre INTA-Ministerio de Agricultura y Ganadería y EEFBM-Universidad de Costa Rica. (en prensa)
- Beaton JD, Sekhon GS. 1985. Potassium nutrition of wheat and other small grains. In Potassium in Agriculture. Ed. by R.D. Munson. Madison, Wisconsin, ASA-CSSA-SSSA. 1223 p.
- Bertsch F, Ramirez F. 1997. Metodologías para afinar los programas de fertilización de los cultivos por medio del uso de curvas de absorción de nutrimentos. In Memoria Jornadas de Investigación. San José, Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica. p 183.
- Bertsch F. 1993. La estimación de los nutrimentos absorbidos por los cultivos como herramienta práctica en la dosificación de fertilizantes. In: XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo 1993, Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.
- Bertsch F, Ramírez F, Henríquez C. 2000. Vinculación entre investigación, empresas y productores: El programa de nutrición de cultivos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. In INFORME ANUAL 2000-Instituto de la Potasa y el Fósforo. Proyecto Potasio, Fósforo y Calidad: Efecto del potasio y el fósforo sobre el rendimiento y la calidad de algunos cultivos frutícolas. San José, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas.
- Bertsch F, Hernandez JC, Arguedas F, Acosta M. 2002. Curvas de absorción de nutrimentos en dos variedades, Bribri y Sacapobres, de frijol común de grano rojo. (por presentar en Agronomía Costarricense).
- Fageria NK, Baligar VCC, Jones CF. 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. New York, Marcel Dekker. 476 p.
- Henley D. 1994. Fluid fertilizers; professional dealer manual. Missouri, ARA. vol 1.
- Informe Anual 1998-Instituto de la Potasa y el Fósforo. Proyecto Potasio, Fósforo y Calidad: Efecto del potasio y el fósforo sobre el rendimiento y la calidad de algunos cultivos frutícolas. San José, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas.
- Informe Anual 1999-Instituto de la Potasa y el Fósforo. Proyecto Potasio, Fósforo y Calidad: Efecto del potasio y el fósforo sobre el rendimiento y la calidad de algunos cultivos frutícolas. San José, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas.
- Informe Anual 2000-Instituto de la Potasa y el Fósforo. Proyecto Potasio, Fósforo y Calidad: Efecto del potasio y el fósforo sobre el rendimiento y la calidad de algunos cultivos frutícolas. San José, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas.
- Kass DCL. 1996. Fertilidad de suelos. San José, EUNED. p 206-213.
- Ramírez F. 1997. Requisitos nutricionales, aprovechamiento de registros, ciclos de corta y evolución de antracnosis en helecho hoja de cuero (*Rumohra adiantiformis*) en las Fincas Follajes de Sarchí y Follajes Las Trojas. Práctica dirigida. San José, Fiitotecnia, Agronomía, Universidad de Costa Rica. p 18-23.
- Ramírez F, Bertsch F. 1997. Curvas de crecimiento y de absorción de nutrimentos en melón (*Cucumis melo*) "Honey dew" y sandía (*Citrullus lanatus*) "Crimson jewel". In Informe Anual 1997 Instituto de la Potasa y el Fósforo. Proyecto Potasio, Fósforo y Calidad: Efecto del potasio y el fósforo sobre el rendimiento y la calidad de algunos cultivos frutícolas. San José, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. Anexo 1.
- Ramírez F, Bertsch F. 1998. Metodología para generar curvas de absorción: presentación para curso. San José, CIA-UCR.
- Ramírez F, Henríquez C, Bertsch F. 2000a. Elaboración de las curvas de absorción de nutrimentos y optimización del programa de fertilización para los cultivos Aster Blanco, Spring Aster, Solidago y Solidaster. Informe Final-

Investigación Contratada por FLOREXPO S.A. San José, Programa MINC, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Ramírez F, Henríquez C, Bertsch F. 2000b. Elaboración de las curvas de absorción de nutrimentos y optimización del programa de fertilización para melón “Moonshine”. Informe Final-Investigación Contratada por Desarrollo Melonero del Golfo S.A. San José, Programa MINC, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Ramírez F, Bertsch F. 2002. Absorción de nutrimentos por los frutos y bandolas de café caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración de frutos en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* (en prensa).

Sancho H. 2000. Curvas de absorción de nutrimentos: importancia y su uso en los programas de fertilización. San José, Fertica.

Soto J.A. 2002. Patrón de crecimiento, concentración y extracción de nutrientes en seis variedades y tres clones promisorios de papa en la Región Central Oriental de Costa Rica. In Congreso Latinoamericano de Papa, Quito, Ecuador, Junio 2002. San José, MAG, FITTACORI-INPOFOS.

Umaña G. 2002. Informe Parcial: Prácticas agrícolas en campo y después de la cosecha y uso de extractos naturales para el mejoramiento de la calidad y disminución del desarrollo de pudriciones poscosecha de banano orgánico. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Convenio Bilateral para el Desarrollo Sostenible Costa Rica-Holanda, Fundecooperación.

Vieira MJ, Ochoa B, Fischler M, Marin X, Sauer E. 1998. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de ladera; manual del capacitador. El Salvador, MAG/CENTA-FAO-PASOLAC-PROCHALATE. p 96-109.