

PROCEDIMIENTO PARA PREDECIR LA NECESIDAD DE ABONOS EN CULTIVOS HORTÍCOLAS

BOUZO, C. A.¹; ASTEGIANO, E. D.¹ & FAVARO, J. C.¹

RESUMEN

Para determinar dosis de fertilizantes en abonado de cultivos hortícolas es usual la realización de experimentos con diseños estadísticos apropiados, en distintas regiones y sistemas de manejo. Otra opción es la predicción basada en atributos inherentes al cultivo y al medio agrofísico. El objetivo de este trabajo fue adaptar un procedimiento matemático, denominado racional, para estimar requerimientos de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de cultivos hortícolas. Se calcularon dosis en cada cultivo considerando: a) demanda N, P y K con relación a algunos atributos específicos; b) suministro de nutrientes proporcionado por el suelo y c) eficiencia con que los nutrientes son absorbidos por las raíces. Se evaluó el procedimiento a través de la demanda de N, P y K de algunos cultivos hortícolas mediante comparación con sus extracciones determinadas experimentalmente. El coeficiente de determinación fue mayor a 0,8 indicativo de una buena aproximación a los requerimientos reales.

Palabras clave: procedimiento matemático, demanda, nitrógeno, fósforo, potasio.

SUMMARY

Procedure to predict the necessity of fertilizer in vegetables crops.

To determine fertilizers dose in vegetables crops is common the realization of experiments with appropriate statistical designs, in different regions and production systems. Another option is the prediction based on inherent attributes of the crops and the agrophysic environment. The aim of this work was to adapt a mathematical procedure to estimate requirements of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in vegetables crops. In each crop the doses was calculated considering: a) demands of N, P and K with relationship to some specific attributes; b) nutrients provided by the soil and c) efficiency with which the nutrients are absorbed by the roots. The procedure was evaluated through the demand of N, P and K of some vegetables crops by comparison with the extractions experimentally. The determination coefficient was upper to 0,8 indicating a good approach to the experimentally requirements.

Key words: mathematical procedure, demand, nitrogen, phosphorus, potassium.

1.- Cátedras de Horticultura y Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. Kreder 2805. (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe. Telefax: (03496) 426400. E-mail: cbouzo@fca.unl.edu.ar

Manuscrito recibido el 29 de febrero de 2003 y aceptado para su publicación el 15 de abril de 2003.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la productividad de los cultivos, la nutrición mineral es uno de los principales factores que limitan el rendimiento, siendo especialmente importante en cultivos hortícolas debido a las altas producciones obtenidas por unidad de superficie de suelo en comparación a otros cultivos (Gifford *et al.*, 1984). Para la determinación de las necesidades de fertilización en estos cultivos, usualmente se recurre a la ejecución de experimentos siguiendo diseños estadísticos apropiados en diferentes agrosistemas y condiciones de manejo. Mediante estos ensayos se mide la respuesta en rendimientos de los cultivos a diferentes dosis de fertilizantes, situaciones climáticas y edafológicas (Suárez, 1990). Esta metodología exige que, para lograr un acercamiento a las dosis realmente requeridas por los cultivos en cada caso, se deba contar con una gran red de ensayos que contemple la mayoría de las situaciones posibles. Aunque esta alternativa resulta sumamente valiosa y útil en información agronómica, es asimismo onerosa y compleja en su realización. Otra opción es el uso de una ecuación matemática derivada del balance de masa entre la extracción de nutrientes que realiza el cultivo, la variación de reservas asimilables y no asimilables del suelo y las pérdidas (Saña Villaseca *et al.*, 1996). En general, la mayoría de los métodos derivados del balance de masa fueron simplificados, debido a las dificultades en determinar algunos de sus componentes, como las reservas no asimilables y las pérdidas. Con relación a este enfoque, se han propuesto diferentes procedimientos que permiten con grado variable de precisión determinar las dosis de fertilización (Pinochet, 1988; Matus and Rodriguez, 1989; Van Noordwijk *et al.*, 1990; Astegiano *et al.*, 1991; Priano *et al.*, 1992; Rodríguez, 1993; Imohff *et al.*, 1998).

El método racional de Rodríguez (1993) en particular, es un procedimiento matemático que considera principalmente la demanda de nutrientes del cultivo, el suministro de nutrientes del suelo y la eficiencia de absorción radicular. Toda vez que la demanda es superior al suministro se produce un déficit nutricional que limita la productividad a no ser que se corrija mediante la fertilización. En el presente trabajo se presenta el procedimiento matemático derivado del método racional adaptado a cultivos hortícolas.

METODOLOGÍA

El planteamiento general proviene del método racional del Rodríguez (1993) quien propone la dosis de abonado del nutriente (D_i) como resultante de la demanda del cultivo (DEM_i), el suministro del suelo ($SUMIN_i$) y la eficiencia de la fertilización (EF_i):

$$D_i = \frac{DEM_i - SUMIN_i}{EF_i} \quad (1)$$

Aunque la ecuación (1) se aplica tanto para determinar las necesidades nutricionales en general, para cada nutriente se siguen procedimientos distintos para el cálculo del suministro del suelo y la eficiencia de la fertilización. Para nitrógeno, fósforo y potasio, se adoptaron los planteos propuestos por Matus y Rodríguez (1994), Pinochet (1988) y Rodríguez (1993), respectivamente. El procedimiento está centrado en un enfoque sistémico con almacenamientos de nutrientes de naturaleza y dinámica de acumulación diferentes, clasificados como activo, inactivo o pasivo y lábil (Fig. 1). La tasa de mineralización adoptada ($K_{(16)}$) cuyo valor de 0,10 corresponde a un promedio de incubaciones mayores a un año, tanto en condiciones de campo como laboratorio, para diferentes residuos orgánicos a una temperatura de 16°

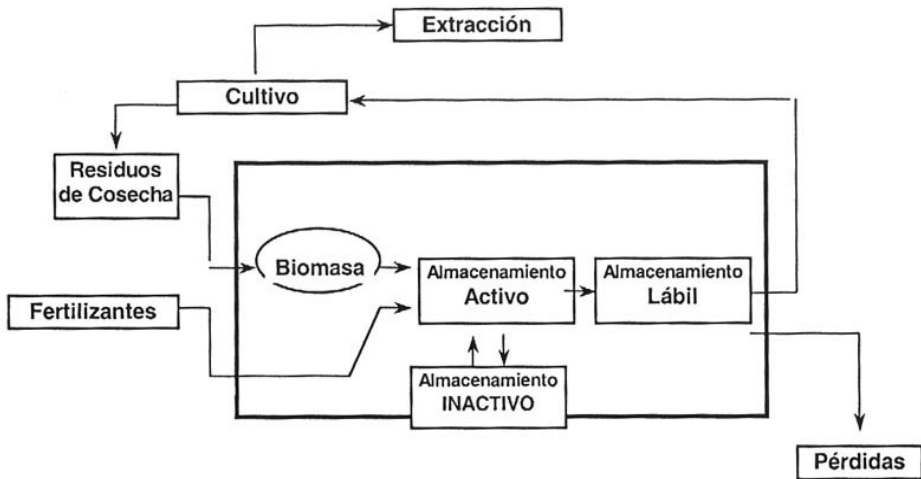


Fig 1: El subsistema de los nutrientes en el suelo (adaptado de Rodríguez, 1993).

C y humedad correspondiente a capacidad de campo (W_o) (Matus, 1997). Esta tasa puede ser corregida a la temperatura (T_a) y humedad del suelo (W_a) según las siguientes ecuaciones (Matus, 1997):

$$(2.1) \quad K(T_a) = K(16) \cdot \exp[0,0616 \cdot (T_a - 16)]$$

$$(2.2) \quad K(W_a) = K(W_o) \cdot [1,11 \cdot (\frac{W_a}{W_o}) - 0,138]$$

Donde: W_o y W_a corresponden al contenido hídrico volumétrico ($m^3 m^{-3}$) en capacidad de campo y a una situación hídrica promedio del suelo para los últimos tres meses previo al establecimiento del cultivo, respectivamente.

Los contenidos hídricos volumétricos pueden ser estimados a partir de mediciones del potencial hídrico del suelo (Campbell, 1985) de acuerdo a las curvas típicas de retención hídrica según la textura del suelo. Mediante ajustes logarítmicos se obtuvieron las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 que permiten

obtener el contenido hídrico volumétrico a partir de los valores medidos de potenciales hídricos (ψ) en bares, para suelos con textura arenosa, franco-arcillosa y arcillosa, respectivamente:

$$W_a = - \frac{\log(\psi / 136,57)}{55,98} \quad (3.1)$$

$$W_a = - \frac{\log(\psi / 578,36)}{32,05} \quad (3.2)$$

$$W_a = - \frac{\log(\psi / 19142)}{25,29} \quad (3.3)$$

NITRÓGENO

Para el cálculo del suministro de nitrógeno del suelo se necesita conocer la secuencia de cultivos habitual que se realiza y para cada uno se calcula el aporte que realiza al suelo en residuos (RO) y el contenido promedio de nitrógeno (%N) del material. El aporte de residuos al suelo se estima a partir del

rendimiento promedio alcanzado (RTO), la proporción en materia seca (MS) y el índice de cosecha (IC) (Cuadro 1, Anexo 1) según la siguiente ecuación:

$$RO = \frac{RTO \cdot MS}{IC} \cdot (1,15 - IC) \quad (4)$$

El porcentaje de nitrógeno del rastrojo varía con el cultivo, no obstante una manera aproximada de calcularlo es con relación a la biomasa final estimada del cultivo (BF) en toneladas:

$$\%N = 0,011 + [1 + 5 \cdot (\text{Exp}(-0,26 \cdot BF))] \quad (5)$$

$$BF = \frac{RTO}{IC} \cdot MS \cdot 10^{-5} \quad (6)$$

El aporte de nitrógeno (ApN) al suelo resulta:

$$ApN = \frac{\%N}{100} \cdot RO \quad (7)$$

El nitrógeno que retorna al suelo es dividido en resistente (NRo) y lábil (NL) (Fig. 2). La fracción resistente (fNRo) depende básicamente de la calidad de los residuos, medido a través de la relación de carbono/nitrógeno (C/N) indicativa de una mayor o menor facilidad de descomposición del material orgánico. La fracción lábil (fL) es el resultado de las fracciones orgánicas de fácil descomposición tanto de los residuos de cosecha como de los subproductos microbiales. El nitrógeno estabilizado (NE) es el resultante de las fracciones orgánicas resistentes de los residuos y subproductos microbiales, acumulados en la matriz arcillosa del suelo (Matus, 1997). En este procedimiento, el aporte de N por mineralización del almacenamiento de nitrógeno pasivo no es considerado como tampoco las pérdidas por lixiviación, suponiendo entre estos un efecto compensatorio.

El cálculo del almacenamiento NL y NE dependen del nitrógeno resistente (NRo), siendo éste función de la relación carbono/nitrógeno (C/N) del residuo.

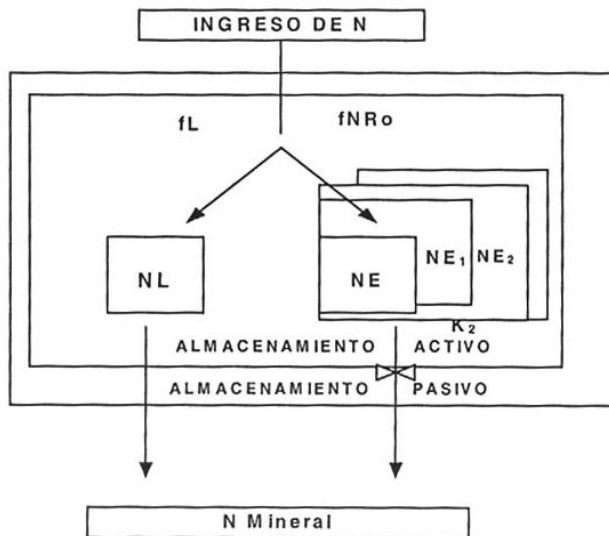


Fig. 2: Modelo simple de la mineralización del nitrógeno en el suelo. La descripción de las variables se presentan en el texto (tomado de Matus y Rodríguez, 1994).

$$NRo = 0,5408 + 0,0053 \cdot \left(\frac{C}{N}\right) \quad (8)$$

$$NL = \left(1 - \frac{NRo}{100}\right) \cdot ApN \quad (9)$$

$$NE = \left(\frac{NRo}{100}\right) \cdot ApN \quad (10)$$

La relación C/N es variable según el cultivo del que proviene el rastrojo (Cuadro 1, Anexo 1). Para agrosistemas en condiciones de equilibrio, resultantes de una misma secuencia de cultivos y manejo de residuos de varios años, se supone que las entradas al almacenamiento NE son iguales a la salida por mineralización. El aporte de N a un cultivo desde el almacenamiento NE, resulta de un promedio del aportado por la secuencia 'n' de cultivos considerados:

$$NE = \frac{NE_1 + NE_2 + \dots + NE_n}{n} \quad (11)$$

La porción de N que proviene del almacenamiento lábil, resulta del aportado por el cultivo inmediatamente anterior (NL_{i-1}) al cultivo actual (i). El suministro de nitrógeno ($SUMIN_N$) por lo tanto estará dado por la suma del nitrógeno estabilizado promedio de la secuencia de cultivos (NE) y del lábil del cultivo antecesor (NL_{n-1}):

$$SUMIN_N = NL_{(n-1)} + NE \quad (12)$$

En agrosistemas recientes y con condiciones alejadas del equilibrio, el almacenamiento de nitrógeno estabilizado actual se estima a partir de la fracción de NRo que adiciona cada cultivo. Para esto se considera la tasa de mineralización (K) corregida por temperatura y humedad. Una forma de simplificar el NE proveniente de todos los cultivos de la secuencia resulta de considerar un

promedio del aporte de nitrógeno de cada cultivo (ApN_{prom}) y del almacenamiento de nitrógeno resistente (NRo_{prom}):

$$NE = (ApN_{prom} \cdot NRo_{prom}) \cdot \frac{1 - \text{Exp}[-K \cdot (n - 1)]}{1 - \text{Exp}(-K)} \quad (13)$$

La demanda de N del cultivo de interés (DEM_N) se establece a partir del rendimiento esperado (RTO), el índice (IC), la proporción en peso de materia seca del producto a cosecha (MS) y el requerimiento interno de nitrógeno (RIN) (Cuadro 1, anexo 1):

$$DEM_N = \frac{RTO}{IC} \cdot MS \cdot RIN \quad (14)$$

De acuerdo a lo establecido en la ecuación (1) y con los datos de demanda (DEM_N) y suministro ($SUMIN_N$) se calcula la dosis de fertilización nitrogenada (D_N), adoptándose como una primera aproximación un valor de eficiencia de 0,60 (Matus, comunic. pers.).

$$D_N = \frac{DEM_N - SUMIN_N}{0,60} \quad (15)$$

FÓSFORO

A diferencia del nitrógeno, para fósforo se toma como dato de inicio el procedente de un análisis químico previo del suelo (SUMIP). El valor de P (ppm) proviene de un análisis químico del suelo según el método de Olsen (P-Olsen), si correspondiera al Kurtz-Bray N°1 se utiliza una aproximación al P-Olsen mediante la siguiente conversión (Pinochet, 1988):

$$SUMIN_p = 0,7752 \cdot P_{Kurtz-BrayN^{\circ}1} + 2,2325 \quad (16)$$

Cuadro 1: Parámetros de los cultivos hortícolas utilizados en el procedimiento para el cálculo de la demanda y la eficiencia de absorción de nutrientes (Modificado de Suárez, 1990).

Cultivo	IC	MS	RIN	RIP	RIK	C/N (adim.)	Dr (cm.cm ⁻³)
Acelga	0,90	0,07	0,025	0,005	0,037	16	3.5
Ajo	0,82	0,35	0,010	0,003	0,015	40	0.9
Alcaucil	0,15	0,16	0,020	0,003	0,050	20	1.5
Apio	0,90	0,07	0,023	0,011	0,056	17	2.0
Arveja	0,33	0,22	0,025	0,004	0,016	16	2.0
Berenjena	0,45	0,07	0,022	0,003	0,030	18	1.8
Brócoli	0,25	0,10	0,030	0,003	0,042	13	3.5
Cebolla	0,85	0,10	0,012	0,002	0,016	33	0.9
Chaucha	0,33	0,10	0,025	0,002	0,016	16	1.0
Choclo	0,32	0,27	0,014	0,004	0,018	28	3.5
Coliflor	0,22	0,09	0,030	0,003	0,039	13	3.5
Espárrago	0,19	0,07	0,020	0,004	0,020	20	1.2
Espinaca	0,90	0,10	0,041	0,011	0,056	10	3.5
Lechuga	0,90	0,05	0,025	0,004	0,035	16	1.3
Melón	0,75	0,12	0,018	0,004	0,024	22	2.5
Papa	0,80	0,20	0,015	0,002	0,025	27	1.2
Pepino	0,40	0,05	0,020	0,003	0,021	20	2.5
Pimiento	0,46	0,07	0,022	0,003	0,036	18	2.5
Remolacha	0,62	0,14	0,017	0,007	0,027	23	3.0
Repollo	0,60	0,08	0,028	0,004	0,028	14	3.0
Sandía	0,67	0,07	0,018	0,004	0,011	22	2.5
Tomate	0,64	0,06	0,022	0,003	0,045	18	2.5
Zanahoria	0,56	0,12	0,019	0,002	0,026	21	2.0
Zapallito	0,48	0,05	0,020	0,003	0,023	20	3.5
Zapallo	0,36	0,09	0,018	0,002	0,041	25	3.5

Cuadro 2: Factor de Conversión (FC) para estimar el incremento de fósforo Olsen resultante de la adición de fósforo al suelo, según su capacidad fijación (Pinochet, 1988).

Capacidad de fijación del suelo	FC (kg P/ppm Olsen)
Muy alta	10 - 12
Alta	7 - 10
Media	5 - 7
Baja	3 - 5
Muy baja	2 - 3

Cuadro 3: Agrupación de algunos cultivos hortícolas según la eficiencia de absorción radical (EAR) del fósforo edáfico (Adaptado de Pinochet, 1988).

Cultivos	EAR (kg P absorbibles/ppm P)
Ajo, Cebolla, Apio, Lechuga	0,7
Espinaca, Pimiento, Tomate	1,0
Acelga, Alcaucil, Remolacha, Brócoli, Bruselas, Coliflor, Espárragos, Melón, Repollo, Sandía, Zanahoria, Zapallos	1,5
Maíz dulce	1,7

El modelo general para tratar con la dinámica del fósforo en el suelo es similar al presentado para nitrógeno, aunque su comportamiento es diferente. La aplicación de fosfatos al suelo es seguida por una rápida desaparición de la solución del suelo (Barrow, 1983). Debido a este comportamiento, Pinochet (1988) propuso un factor de conversión (FC) que representa la adición de fósforo necesaria para elevar en una parte por millón el contenido de fósforo Olsen (P-Olsen) del suelo. Cuanto mayor sea la capacidad de fijación del suelo, mayor será la cantidad a adicionar (Cuadro 2, anexo 1). El suministro de fósforo ($SUMIN_p$) se puede expresar en unidades de $kg \cdot ha^{-1}$ multiplicando la expresión en ppm por el factor de conversión (FC) en $kg P \cdot ppm^{-1}$:

$$SUMIN_p = SUMIN_{P(ppm)} \cdot FC_{(kgP / ppm)} \quad (17)$$

La eficiencia de recuperación del fósforo disponible en la solución del suelo, es la proporción que es capaz de absorber un cultivo durante su estación de crecimiento. Como el fósforo es absorbido principalmente por contacto debido a su escasa movilidad en el suelo (Marschner, 1986) se cuantifica la longitud de raíces (cm) por volumen de suelo (cm^3) para establecer un factor de densidad de raíces (Dr) que permite estimar la eficiencia de absorción radical (EAR) (Pinochet, 1988) (Cuadro 1, anexo 1):

$$EAR = Dr^{0,34} \quad (18)$$

De no conocer la densidad radical (Dr) pueden utilizarse algunos valores propuestos de EAR según el tipo de cultivo (Cuadro 3, anexo 1). La demanda se calcula al igual que para nitrógeno, considerando ahora

el requerimiento interno de fósforo (RIP) (Cuadro 1, anexo 1):

$$DEM_p = \frac{RTO}{IC} \cdot MS \cdot RIP \quad (19)$$

El requerimiento interno (RIP) también puede ser calculado considerando la biomasa final del cultivo (BF) en el momento de cosecha en $t \cdot ha^{-1}$ con la siguiente ecuación (Pinochet, 1997; comunic. pers.):

$$RIP = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot [1 + 2 \cdot \exp(-0,021 \cdot BF)] \quad (20)$$

Con la demanda (DEM_p), el suministro del suelo ($SUMIN_p$) y la eficiencia (EAR) se calcula la dosis de fertilización fosforada (D_p):

$$D_p = \frac{DEM_p - SUMIN_p}{EAR} \quad (21)$$

POTASIO

El procedimiento considera para los cálculos el potasio intercambiable (K_i). La adición de potasio a los suelos mediante fertilización no representa un incremento igual en la concentración de K_i . Esto es debido al poder amortiguador o 'buffer' que tiene cada suelo en particular para el potasio (Prabhakaran Nair, 1996). El poder amortiguador del suelo de la fracción de potasio intercambiable depende principalmente del contenido y características estructurales de la arcilla. Las arcillas con estructura del tipo 2:1 presentan mayores cargas específicas en comparación con las del tipo 1:1 y eventualmente mayor capacidad amortiguadora (Rodríguez, 1993). Esta capacidad simbolizada en este trabajo

como bK , puede ser determinada experimentalmente considerando los incrementos de K_i (ppm) de una muestra de suelo a adiciones de una solución de potasio conocida con concentración conocida:

$$bk = \frac{\Delta Ki}{\Delta K}$$

Si no se conoce la capacidad amortiguadora del suelo respecto al potasio, puede utilizarse una aproximación práctica de diferentes valores de bK con relación a una escala discreta de capacidad amortiguadora (Bonomelli, comunic. pers.) (Cuadro 4, anexo 1). Los valores más bajos comúnmente están asociados con una capacidad de intercambio catiónico mayor a 45 meq/100 g de suelo (Rodríguez, 1993). Para conocer el suministro real de potasio debe estimarse la eficiencia de absorción del cultivo (EC) (kg K.ppm⁻¹ K) deduciéndose así la eficiencia de la fertilización potásica según la siguiente ecuación:

$$EF_K = EC \cdot bK \quad (22)$$

En la eficiencia de absorción del potasio (EC) se conjugan tanto la capacidad de extracción según el cultivo como el poder amortiguador del suelo. Una aproximación al valor de EC según tipos de cultivos y características texturales del suelo se resume en el Cuadro 5, anexo1. Para el cálculo del suministro de potasio del suelo ($SUMIN_K$) se considera el dato de potasio (K_i) proveniente del análisis del suelo (ppm) y la eficiencia de absorción del cultivo (EC) (kg K.ppm⁻¹):

$$(23) \quad SUMIN_K = K_i \cdot EC$$

La demanda del cultivo (DEM_K), al igual que para nitrógeno y fósforo se calcula considerando el peso de la materia seca total del cultivo a madurez de cosecha y el requerimiento interno de potasio (RIK):

$$(24) \quad DEM_K = \frac{RTO}{IC} \cdot MS \cdot RIK$$

Cuadro 4: Escala discreta de valores de bK en función del comportamiento amortiguador de un suelo al potasio (Bonomelli, comunic. pers.).

Poder tampón del suelo	b_K (ppm K_i / kg K)
Muy alto	0,30
Alto	0,45
Medio	0,65
Bajo	0,80
Muy bajo	1,00

Cuadro 5: Valores propuestos para la eficiencia de absorción de potasio (EC) en cuatro grupos de cultivos (Modificado de Rodríguez, 1993).

		Grupos de Cultivos ^(*)			
		I	II	III	IV
Tipo Textural	Arenoso	1,50	1,30	0,90	0,80
	Franco	1,40	1,20	0,85	0,70
	Arcilloso	1,30	1,10	0,80	0,60

^(*)I: Maíz; II: Espárrago, quenopodiáceas, leguminosas, crucíferas; III: Solanáceas; IV: Alliáceas, compuestas, umbelíferas.

La dosis de fertilización potásica necesaria en función de la demanda del cultivo (DEM_K), el suministro del suelo ($SUMIN_K$) y la eficiencia de recuperación (EF_K) resulta:

$$D_K = \frac{DEM_K - SUMIN_K}{EF_K} \quad (25)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este primer trabajo se efectuó la comprobación del procedimiento con extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio documentadas para algunos cultivos hortícolas y determinadas experimentalmente (Finck, 1985; Malavolta, 1987; Bravo, 1986, 1987; Vivancos, 1997; Lipinski, 1997; Lipinski y Ga-viola, 1997).

En la Fig. (a) se presenta la relación entre las demandas calculadas por el modelo para nitrógeno (Nitrógeno (SIM)) y las determinadas experimentalmente (Nitrógeno

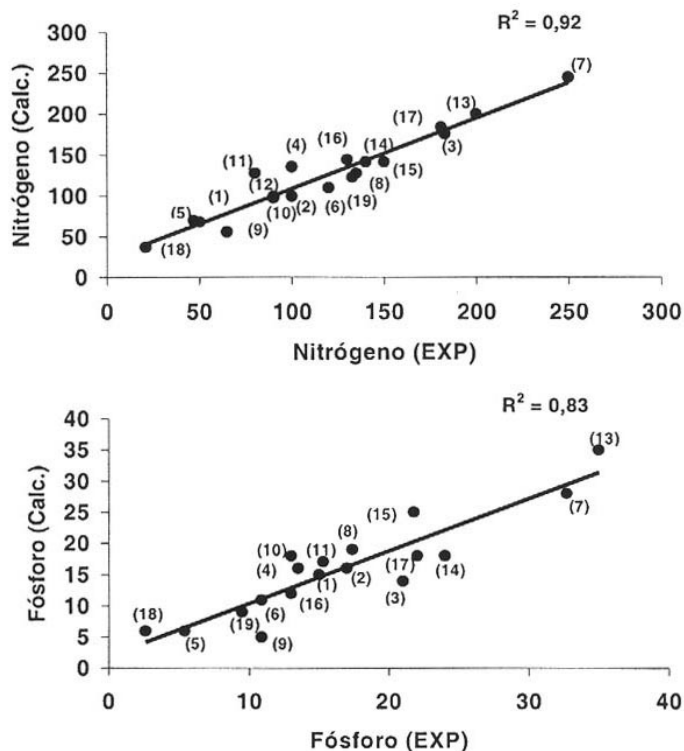
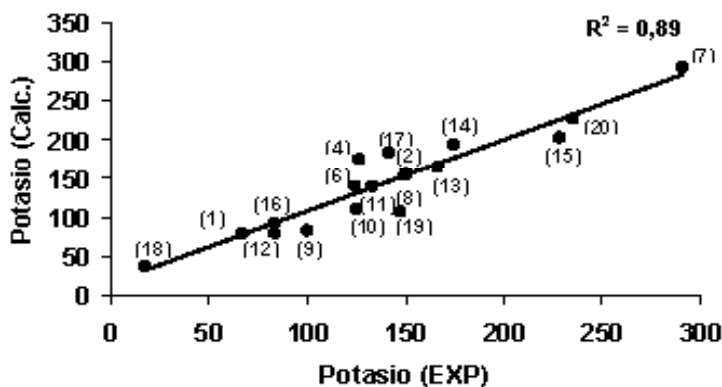


Fig. 3: Comprobación entre las extracciones determinadas por el modelo y las determinadas experimentalmente (a) **Nitrógeno**; (b) **Fósforo**; (c) **Potasio**. (1) Pepino 30000 kg.ha⁻¹; (7) Pimiento 70000 kg.ha⁻¹; (8) Melón 40000 kg.ha⁻¹; (9) Lechuga 25000 kg.ha⁻¹; (10) Espinaca 22000 kg.ha⁻¹; (11) Alcaucil 10000 kg.ha⁻¹; (12) Cebolla 30000 kg.ha⁻¹; (13) Ajo 30000 kg.ha⁻¹; (14) Zanahoria 35000 kg.ha⁻¹; (15) Remolacha 30000 kg.ha⁻¹; (16) Chaucha 12000 kg.ha⁻¹ (Vivancos, 1997); (2) Apio 25000 kg.ha⁻¹ (Finck, 1985); (3) Ajo colorado 10300 kg.ha⁻¹ (Lipinski, 1997); (4) Tomate industria 50000 kg.ha⁻¹; (5) Pimiento 20000 kg.ha⁻¹ (Lipinski y Gaviola, 1997); (17) Repollo 70000 kg.ha⁻¹ (Malavolta, 1987); (18) Espárrago 5000 kg.ha⁻¹ (Bravo, 1986); (19) Cebolla 37000 kg.ha⁻¹ (Bravo, 1987).



(EXP)). De igual modo aparecen en las Fig. (b) y (c) las relaciones para fósforo y potasio, respectivamente.

Los coeficientes de determinación para los tres elementos indican un buen ajuste entre los resultados experimentales y los calculados, permitiendo predecir más del 83 % en la variación para los casos seleccionados (Fig. 1). Estos resultados preliminares indicarían el grado de confiabilidad de los parámetros utilizados para la determinación de la demanda. La comprobación integral del procedimiento resultará al efectuar su comparación con las dosis de fertilización normalmente utilizadas en cada agrosistema y los rendimientos promedios característicos de cada cultivo de una secuencia dada. Para el caso del nitrógeno, la tasa de mineralización de los residuos orgánicos presenta una variabilidad que oscila entre valores de 0,08 para rastrojos de maíz (Sorensen, 1983) y 0,14 para rye grass (Jenkinson, 1977). Sin embargo, mediante la utilización de una tasa promedio ajustada por temperatura y humedad edáfica (ecuación 2.1 y 2.2, respectivamente). Matus (1997) obtuvo un aceptable ajuste para suelos del sur de Chile, aunque con valores ligeramente por

defecto, comparados con la mineralización potencial estimada por el método de Stanford y Smith (1972). Para el caso de fósforo debe aún comprobarse la conversión propuesta en la ecuación (16) del fósforo medido según el método de Olsen y el Kurtz Bray N° 1 utilizado en nuestro país. Esto es debido a que esta ecuación provino de un ajuste realizado en Chile para suelos rojos arcillosos (Bonomelli, comunic. pers.). Los datos de densidad radical contenidos en el Cuadro 1 del anexo 1, resultaron de agrupar los cultivos de acuerdo a un patrón similar de enraizamiento, según los datos aportados por Pinochet (1988) para maíz, cebolla, lechuga, nabo y papa. Para cuantificar adecuadamente la densidad radical, sería preciso realizar análisis de cada cultivo hortícola. Para potasio, la capacidad amortiguadora de cada suelo (bK) debe ser conocida mediante análisis de laboratorio como el comentado en el texto, dada su importancia en el cálculo de la dosis de abonado. Los datos de eficiencia de absorción de fósforo (Cuadro 3, anexo 1) y potasio (Cuadro 5, anexo 1) deberían ser mejorados debido a que en este procedimiento se siguió un criterio similar al descripto para la densidad de enraizamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTEGIANO, E. D.; J. C. FAVARO & M. A. PILATTI.** 1991. «SimNut: Modelo de simulación de productividad y balance de nitrógeno para tomate tutorado». Actas XIV Congreso Argentino de Horticultura. Mar del Plata. p. 51.
- BARROW, N. J.** 1983. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. *J. Soil. Sci.* 34: 733-750.
- BRAVO, A. M.** 1986. Producción de espárrago verde para la exportación. *El Campesino* (dic.86): 22-38. Santiago de Chile.
- BRAVO, A. M.** 1987. El cultivo de la cebolla. *El Campesino* (May.87): 25-48. Santiago de Chile.
- CAMPBELL, G. S.** 1985. *Soil physics with basic.* Elsevier Science Publishing. Netherlands. pp. 150.
- FINCK, A.** 1985. Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Ed. Reverté S.A. Barcelona. pp. 439
- GIFFORD, R. M.; J. H. THORNE; W. D. HITZ & R. T. GIAQUINTA.** 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science* 225: 801-808.
- IMHOFF, S.; M.A. PILATTI & C. PALETTO.** 1998. Tomate bajo cubierta: un procedimiento para estimar el requerimiento de nitrógeno. *Revista FAVE* 12 (1): 59-71.
- JENKINSON, D. S.** 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ^{14}C labelled ryegrass decomposing under field conditions. *J. Soil Sci.* 28: 424-434.
- LIPINSKI, V. M.** 1997. Cebolla y Ajo. En: *La fertilización de cultivos y pasturas.* Lipinsky, V.M. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. p. 213-220.
- LIPINSKI, V. M. & S. GAVIOLA.** 1997. Tomate y pimiento En: *La fertilización de cultivos y pasturas.* Lipinski, V.M. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. p. 221-226.
- MALAVOLTA, E.** 1987. *Manual de calagem e adubacao das principais culturas.* Ed. Agronómica Cere. Sao Paulo. pp. 496.
- MARSCHNER, H.** 1986. *Mineral nutrition of higher plants.* Academic Press, San Diego, EUA. 674 pp.
- MATUS, F. J. & J. RODRIGUEZ.** 1989. Modelo simple para estimar el suministro de nitrógeno en el suelo. *Ciencia e Investigación Agraria* (16) 1-2: 23-45.
- MATUS, F. J. & J. RODRIGUEZ.** 1994. A simple model for estimating the contribution of nitrogen mineralization to the nitrogen supply of crops from a stabilized pool of soil organic matter and recent organic input. *Plant and Soil* 162: 259-271.
- MATUS, F. J.** 1997. Mineralización de nitrógeno en suelos agrícolas: predicción, medición y recomendaciones de fertilización. *Ciencia e Investigación Agraria*, Vol. 24 (1): 59-72.
- PINOCHET, D. E.** 1988. Modelo simple para la estimación de la fertilización fosforada de los cultivos. Tesis M. Sc. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 129 p.
- PRABHAKARAN NAIR, K. P.** 1996. The buffering power of plant nutrient and effects on availability. *Advances in Agronomy*, 57: 237-287.
- PRIANO, L. J. J.; J. C. FAVARO & M. A. PILATTI.** 1992. Requerimientos nutricionales del tomate en suelos del cinturón hortícola santafesino: I) Diagnóstico de la necesidad de potasio y nitrógeno en suelos Udipsament. *Revista FAVE* 6 (2): 1-14.
- RODRIGUEZ, J.** 1993. *La fertilización de los cultivos: Un método racional.* Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. pp. 291.
- SAÑA VILLASECA, J.; C. MORE RAMOS & A. C. RAMON.** 1996. La gestión de la

fertilidad de los suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Centro de Publicaciones. Madrid. pp. 277.

SORENSEN, L. H. 1983. Size and persistence of the microbial biomass formed during the humification of glucose, hemicellulose, cellulose and straw in soil containing different amounts of clay. *Plant and Soil* 75: 121-130.

STANFORD, G. & S. J. SMITH. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 465-472.

SUAREZ, D. 1990. Aproximaciones técnicas tendientes a solucionar el problema de fertilización en hortalizas. *Informativo Agroecológico. Fundación Chile* 2: 27-35.

VAN NOORDWIJ, M.; P. DE WILLIGEN; P.A.I. EHLERT & W. J. CHARDON. 1990. A simple model of P uptake by crops a possible basis for P fertilizer recommendations. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38: 317-332.

VIVANCOS, A. D. 1997. Tratado de fertilización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. pp. 613.

ANEXO

SÍMBOLOS UTILIZADOS

ApN; Aporte de nitrógeno procedente de los residuos orgánicos (kg ha⁻¹).

BF; Biomasa final del cultivo (t).

bK; Capacidad amortiguadora del suelo respecto del potasio adicionado (ppm kg⁻¹).

C/N; Relación Carbono/Nitrógeno de los residuos (adim.).

DEM_K; Demanda del cultivo en potasio (kg ha⁻¹).

DEM_N; Demanda del cultivo en nitrógeno (kg ha⁻¹).

DEM_P; Demanda del cultivo en fósforo (kg ha⁻¹).

D_K; Dosis de potasio necesaria para adicional al suelo (kg ha⁻¹).

D_N; Dosis de nitrógeno necesaria para adicional al suelo (kg ha⁻¹).

D_P; Dosis de fósforo necesaria para adicional al suelo (kg ha⁻¹).

Dr; Densidad radical (cm cm⁻³).

EAR; Eficiencia de absorción radical de fósforo (adim.).

EC; Eficiencia de absorción de potasio del cultivo (kg ppm⁻¹).

EF_K; Eficiencia de la fertilización potásica (adim.).

FC; Factor de conversión Olsen (kgP ppm⁻¹).

IC; Índice de cosecha (adim.).

K_{2(Ta)}; Tasa de mineralización ajustada a la temperatura Ta (adim.).

K_{2(Wa)}; Tasa de mineralización corregida según el contenido hídrico volumétrico (Wa) del suelo (adim.).

Ki; fracción de potasio intercambiable (ppm).

MS; proporción de materia seca (adim.).

N%; contenido de nitrógeno de los residuos vegetales (%).

NE; Almacenamiento de nitrógeno estabilizado (kg ha⁻¹).

NL; Almacenamiento de nitrógeno lábil de los residuos orgánicos (kg ha⁻¹).

NRo; Almacenamiento de nitrógeno resistente de los residuos orgánicos (kg ha⁻¹).

P_{Kurtz-BrayN°1}; Concentración de fósforo del suelo medido según el método de Kurtz-Bray N°1.

y; Potencial hídrico del suelo (bar)

RIK; Requerimiento interno del cultivo en potasio (adim.).

RIN; Requerimiento interno del cultivo en nitrógeno (adim.).

RIP; Requerimiento interno del cultivo en fósforo (adim.).

RO; residuos orgánicos de los cultivos (kg ha⁻¹).

RTO; Rendimiento del cultivo (kg ha⁻¹).

SUMIN_K; Suministro de potasio del suelo (kg ha⁻¹).

SUMIN_N; Suministro del suelo en nitrógeno (kg ha⁻¹).

SUMIN_P; Suministro de fósforo obtenido por el método de Olsen (ppm).