

Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas.

III. Cálculo de las líneas de fertilidad sobre el diagrama de fertilidad¹

Gotardo Schenkel S.², Edgardo Pino B.³ y Tatiana Floody A.⁴

INTRODUCCION

La interpretación de los resultados obtenidos cuando se realizan varios cortes en un ensayo de macetas con la técnica del elemento faltante (5) constituye un problema complejo, que se agrava cuando se trabaja con un gran número de muestras de suelo.

El diagrama de fertilidad (16) se convierte en un método gráfico sencillo para evaluar la fertilidad del suelo. Permite establecer la función que corresponde a cada nutriente en el aumento y en la mantención de dicha fertilidad.

En este trabajo se elabora un método matemático sencillo, para definir la ecuación que caracteriza a la línea de fertilidad de un nutriente cualquiera. Esta se aplica a cuatro suelos chilenos previamente sometidos al ensayo de macetas. Finalmente se complementa con una discusión del significado que tienen las constantes de estas ecuaciones, ilustrándolo con los ejemplos seleccionados.

REVISION DE LITERATURA

El ensayo de macetas por la técnica del elemento faltante (5) (11) (17) muestra el deterioro que provoca la falta de un nutriente en la fórmula de fertilización, sobre la planta elegida como indicadora. Para este objeto se comparan las producciones que corresponden a la fertilización incompleta y a la abonadura completa, mediante su relación porcentual o "índice de rendimiento" (16).

Los fertilizantes constituyen un excelente recurso para modificar la fertilidad del suelo, y por tanto, para intensificar la producción agrícola (4). Se pueden determinar, por consiguien-

te, muchos niveles de fertilidad en el suelo, todos los cuales se ubican entre dos condiciones extremas: una máxima y otra mínima, es decir, fertilidad potencial y fertilidad actual, respectivamente.

Sólo en programas sanos de desarrollo agrícola se confunde la fertilidad potencial con una condición final del suelo. Por desgracia, también se ha comprobado que el hombre en posesión de un conocimiento insuficiente de la realidad, retrograda la condición inicial del suelo a otra final peor. Más aún, este error se asocia a menudo con cambios irreversibles en el suelo, comprometiendo en igual forma su fertilidad, por lo que se convierten en factores limitantes de la producción de una manera casi irremediable (3). Buenos ejemplos los constituyen la salinización y erosión.

La fertilización se concibe entonces como una herramienta importante para mejorar la fertilidad actual del suelo, donde la meta ha de ser alcanzar su fertilidad potencial. Una vez alcanzada ésta, debe ajustarse la abonadura a una simple reposición de los nutrientes extraídos por la planta y por pérdidas que se produzcan en el suelo (21).

Schenkel (16) propone el diagrama de fertilidad para evaluar la fertilidad de un suelo. Este diagrama reúne a un conjunto de varias líneas rectas y sólo excepcionalmente de algunas líneas curvas. Todas ellas muestran la variación de los índices de rendimiento de un tratamiento de fertilización incompleta cualquiera, en función de las producciones de la abonadura completa. Puede ocurrir que la fertilización sea incompleta por ausencia de un único nutriente. La línea así obtenida se denomina línea de fertilidad, para distinguirla de las líneas de producción resultantes de la ausencia de dos o más nutrientes.

Por intermedio del diagrama de fertilidad se conoce:

a) La velocidad de agotamiento de las disponibilidades de un nutriente presente en el suelo, a medida que aumenta la producción de la especie elegida. Queda representada por la pendiente de la recta.

¹Recepción manuscrito: 10 de junio de 1971.

²Ing. Químico, Proyecto Suelo, Estación Experimental Carillanca, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Casilla 58-D, Temuco, Chile.

³Profesor titular, Instituto de Matemáticas, Universidad de Concepción, Casilla 2017, Concepción, Chile.

⁴Laboratorista Químico, Proyecto Suelo, Estación Experimental Carillanca, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Casilla 58-D, Temuco, Chile.

- b) La fertilidad actual del suelo. Mide el grado de deficiencia de un nutriente. Equivale al índice de rendimiento de un nutriente, factible de calcularse para una producción nula de materia seca con la abonadura completa.
- c) La fertilidad potencial que se define como el índice de rendimiento 100.
- d) La participación que corresponde a cada nutriente como limitante de la fertilidad, y el grado de urgencia que tiene su corrección. Mediante una adecuada interpretación del diagrama puede establecerse la contribución que hace cualquier nutriente para alcanzar la fertilidad potencial del suelo.

Así, el diagrama de fertilidad introduce una notable simplificación en la interpretación de los resultados experimentales. En él se presume que el logaritmo de los índices de rendimientos acumulados de un tratamiento de fertilización incompleta es una función continua, generalmente lineal, de la producción determinada para la abonadura completa.

En consecuencia, la referida función tiene la forma (10):

$$Y = A \cdot 10^{mX} \quad (\text{Ec 1})$$

que cuando se expresa en un gráfico semilogarítmico, adquiere una forma lineal:

$$\log Y = \log A + mX \quad (\text{Ec 2})$$

En las (Ec 1) y (Ec 2):

Y = índice de rendimiento del tratamiento de fertilización incompleta (%).

X = rendimiento acumulado de materia seca de la abonadura completa (gramos/maceta).

El índice de rendimiento Y se define por:

$$Y = \frac{\sum iY}{\sum iX} \cdot 100$$

donde $\sum iY$ y $\sum iX$ son las sumas de los pesos secos cosechados en el tratamiento incompleto y el completo respectivamente, hasta el corte i inclusive.

En la (Ec 2) $\log A$ representa el coeficiente de posición y m el coeficiente angular de la recta de la línea de fertilidad o de la línea de producción.

MATERIALES Y METODOS

En este trabajo se ha hecho uso de los siguientes materiales y métodos:

a) Análisis Químico:

Para la caracterización química se han empleado los métodos descritos en la 1ª Parte (18).

b) Suelos:

Se eligen suelos para ilustrar la forma de presentar los resultados. Su procedencia se indica en Cuadro 1.

c) Ensayo de Macetas:

Se sigue el procedimiento propuesto por Schenkel y Baherle (17).

d) Diagrama de Fertilidad:

Se emplean los rendimientos acumulados, determinados en la forma indicada por Schenkel (15) para cada elemento nutritivo, suelo y corte. Luego se determinan los índices de rendimiento con los cuales se construyen las líneas de fertilidad sobre el diagrama de fertilidad (16).

e) Cálculo de los parámetros de las ecuaciones semilogarítmicas:

A partir de la (Ec 2) y de la línea de fertilidad del azufre del suelo 1994 (Figura 3) se obtiene:

$$\text{cuando } X = 0, \quad \log A = \log 106$$

$$\text{Además, } MN = -27 + 17 = -10$$

$$NP = \log 56 - \log 38$$

con ayuda de una tabla de logaritmos (20) se obtiene:

Cuadro 1.- Identificación de las muestras de suelo.

LABORATORIO	NUMERO MACETAS	PROVINCIA	LUGAR	PROFUNDIDAD CM.	SUELO(6)	OBSERVACION
1994	477	Malleco	Púa	0 — 20	Victoria	3 Km de Puá a Traiguén. Pradera de trébol rosado asociado con trigo.
2029	AT	osorno	Corte Alto	0 — 20	Corte Alto	1 Km al oriente de Corte Alto. (Sr. M. Klocker). Pradera natural.
2030	TR	valdivia	Rucatayo	0 — 20	Trapi	CORA, asentamiento El Arrayán. Pradera natural.
2230	23	Llanquihue	Mauullín	0 — 15	Ñadi Mauullín	6 Km de Mauullín a Carelmapu. Pradera natural.

$$NP = 1,74819 - 1,57978 = 0,16841$$

$$\text{de donde, } m = \frac{NP}{MN} = -0,016841$$

La ecuación que representa a la línea de fertilidad del azufre en el suelo 1994 es:

$$\log Y = \log 106 - 0,016841 \cdot X \quad (\text{Ec 2})$$

$$\text{o también } Y = 2,02531 \cdot 10^{-0,016841 X} \quad (\text{Ec 1})$$

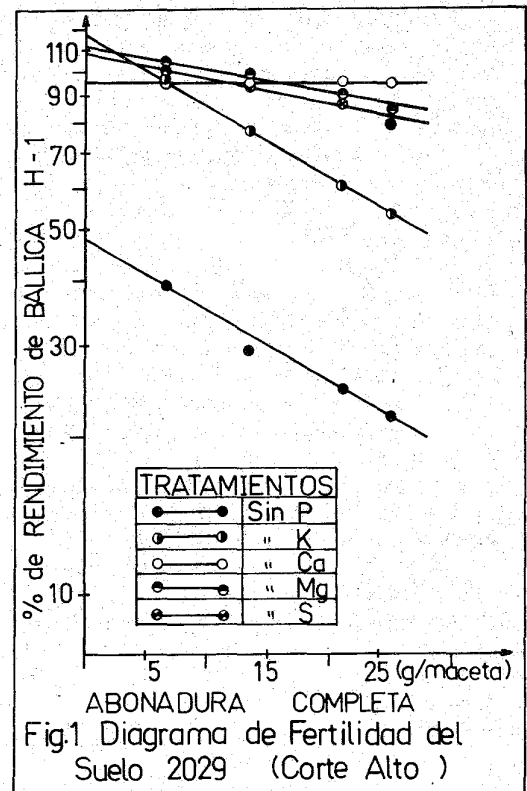
RESULTADO Y DISCUSION

Un resumen de las propiedades de los cuatro suelos usados puede hacerse a partir del Cuadro 2:

- hay bajos contenidos de fósforo aprovechable para las muestras 2029 y 2030.
- existe una relación inversa entre los elevados tenores de aluminio y la baja disponibilidad de fósforo de los suelos. Diversos trabajos chilenos han atribuido la fijación de fósforo a la presencia de aluminio en el suelo (1) (2) (7) (8) (13) (14). Notorio es el comportamiento de la muestra 2230, que pese a su elevado contenido de materia orgánica, tiene una escasa cantidad de aluminio en el extracto de Morgan y por ello una mayor disponibilidad de fósforo en el extracto de Olsen.
- los suelos 1994 y 2230 parecen semejantes cuando se atiende al tenor de fósforo, a la presencia de aluminio y a su fijación de fósforo. Sin embargo, difieren claramente en su contenido de nitrógeno y tal vez de materia orgánica.
- puede aceptarse que tres de los cuatro suelos derivan de cenizas volcánicas, dominando especialmente en los suelos 2029 y 2030. Por el contrario, el suelo 1994, rojo arcilloso, posee propiedades agronómicas, químicas y mineralógicas diferentes como se deduce a partir de sus texturas.
- la gran acidez activa del suelo 2230 implica —al menos teóricamente— dificultades con la disponibilidad de varios nutrientes.

ENSAYO DE MACETAS

La cantidad de ballica recolectada para un tratamiento, suelo y corte determinado, se suma con la producción del mismo tratamiento y suelo obtenido en los cortes anteriores. Estos rendimientos acumulados permiten calcular los porcentajes de rendimiento —o índice de rendimiento (15)— para cada tratamiento, como se indica en el Cuadro 3. Se consulta un



índice de rendimiento 100% para la fórmula completa en todos los cortes.

Con los datos del Cuadro 3 se construyen los diagramas de fertilidad, en las Figuras 1 a 4. La elección de estos diagramas se hace para ilustrar lo siguiente:

Figura 1 (Suelo 2029):

La línea de fertilidad del fósforo muestra la urgencia que tiene subsanar la carencia de este nutriente para elevar la fertilidad del suelo. Es previsible que en presencia de suficiente nitrógeno —elemento omitido— debe existir una gran respuesta a los abonos fosfatados sobre este suelo. También el potasio limita los rendimientos, pero solo una vez que se alcanzan producciones elevadas. Sobre 15 g/maceta se obtiene un índice de rendimiento inferior a 80% para la línea del potasio. En todo momento corresponde una función predominante al fósforo para corregir y mantener la fertilidad del suelo. Esta estimación se hace, porque al desplazarse sobre el eje de las ordenadas en la Figura 1 no existe otra línea de fertilidad que llegue a este eje en el intervalo comprendido entre el coeficiente de posición 48 y el valor 100.

Cuadro 2.- Caracterización química de los suelos usados.

DETERMINACION	SUELO			
	# 1994	# 2029	# 2030	# 2230
Materia orgánica %	9	13,4	14,1	18,5
Al - Morgan (ppm Al)	300	732	960	196
K - Morgan (mg K/100 g)	30	19	9,5	3
P - Olsen (ppm P)	17,4	4,5	3,6	22,8
P - fijación (%)	70,5	89,5	85,5	63,5
pH KCl N (1:2,5)	4,8	4,7	4,5	3,9
pH H ₂ O (1:2,5)	5,2	5,4	5	4,4
N total (%)	0,325	0,777	0,854	0,731
C/N	15,8	9,8	9,4	14,4
<i>Textura</i>				
Sistema Internacional	Arcilla poco densa	Arcilla poco densa	Franco arcillosa	Franco arcillo arenosa
Arcilla	40,0	26,8	16,8	17,2
Limo	24,2	31	22,4	18,8
Arena	35,8	42,2	60,8	64
Sistema U. S. D. A.	Arcilla	Franca	Franca	Franco-arenosa
Limo	34,8	44	41	28,8
Arena	25,2	29,2	42,2	54
<i>Humedad</i>				
1/10 atm	43,70	79,14	84,69	76,64
1/3 atm	34,70	62,67	55,14	70,05
15 atm	22,82	30,38	40,59	45,15
H ₂ O aprovechable (1/10-15) atm	20,88	48,76	44,10	31,49
H ₂ O aprovechable (1/3-15) atm	11,88	32,29	14,55	24,90

En justicia, cabe reconocer que está la línea de fertilidad del calcio en el valor 96 (log 96), pero que por estar cerca del valor 100 (log 100) se confunde con éste. Hay una buena coincidencia entre el diagnóstico del análisis de suelo y el diagrama de fertilidad para los elementos fósforo y potasio.

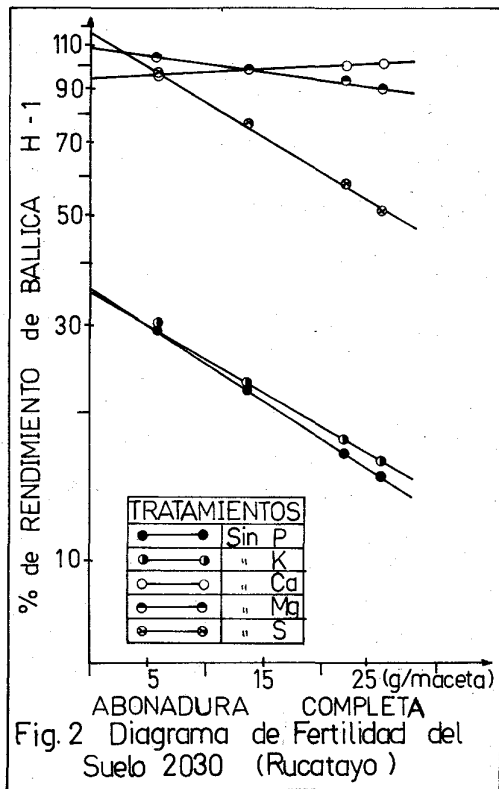
También es oportuno señalar que la pendiente de las líneas de fertilidad del fósforo y del potasio indican que a estos elementos debe concederse mucha atención para mantener la fertilidad potencial —en los casos prácticos fertilidad óptima— una vez alcanzada. Aquí son válidas las observaciones hechas en otros países (23) por las que se establece que una vez obtenida la fertilidad potencial, los cultivos comienzan a agotar los nutrientes del suelo, como consecuencia de la extracción que hacen de ellos durante su desarrollo. Esta sustracción de nutrientes implica una disminución de la fertilidad, por lo

que se imponen las fertilizaciones de mantención (22).

Figura 2 (Suelo 2030):

Dos líneas de fertilidad, las del fósforo y del potasio, nacen desde una misma ordenada para la abscisa cero. No puede aumentarse la fertilidad del suelo, ni menos lograrse su fertilidad potencial, si en forma simultánea no se aplican ambos nutrientes. Omitiendo al nitrógeno puede decirse que las abonaduras potásicas y fosfatadas controlan la producción de estos suelos por dominar entre todos los factores nutritivos. La sola aplicación de fósforo o potasio no determina mayores rendimientos a los que se obtiene si no se adiciona ninguno de ellos.

A la fertilidad potencial se puede llegar sólo si se incorporan ambos nutrientes, correspondiendo a estos nutrientes, junto al azufre a



altas producciones, una tarea importante para mantenerla. Debe recalarse que las tres líneas de fertilidad no se cortan, por lo menos dentro de los límites del dibujo. Esto significa que el orden decreciente de importancia de los elementos para aumentar la fertilidad actual del suelo, se conserva cuando se trata de establecer dicho orden en la fertilización de mantención. Esta deducción no se afecta porque dos líneas de fertilidad —la del potasio y del fósforo— nacen de un origen común. En cambio, las conclusiones pueden variar con otras especies, porque dependen de ellas (9) (12) (19).

En la Figura 1, merece atención la línea de fertilidad del calcio, porque ésta se estima paralela al eje de las abscisas y coincidente con el valor 100 para los fines prácticos. Esto se interpreta como que existe una liberación continua y constante de calcio para el suelo 2029, por lo menos dentro de los niveles de producción probados. Puede ocurrir que la línea de fertilidad del calcio se mantenga paralela al eje de las abscisas, pero con un índice de rendimiento muy inferior a 100, o bien, con un valor muy superior a 100. En el primer caso existe una acción beneficiosa

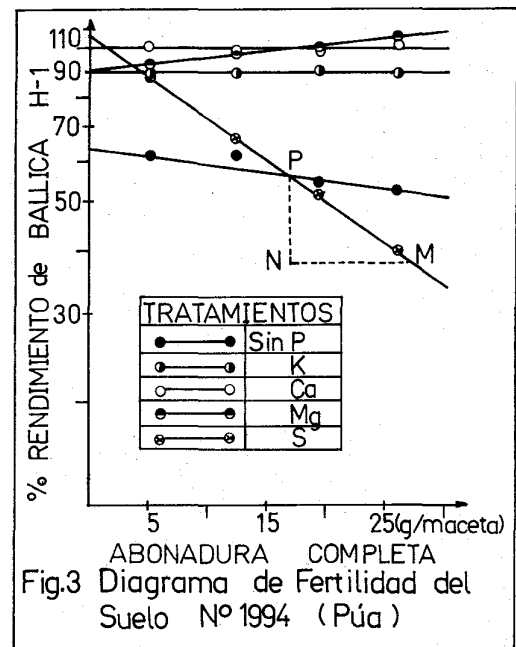
de las adiciones de calcio, porque se aumenta la fertilidad actual del suelo. Cuando la línea de fertilidad de calcio determina índices muy superiores a 100, se deduce un efecto depresivo del mismo, porque la abonadura completa tiene rendimientos inferiores (100%) a los de la fertilización carente de calcio. Un buen ejemplo lo constituye la Figura 2, donde se comprueba un efecto depresivo del calcio sobre los índices de rendimiento, cuando se sobrepasa 10 gramos ballica/maceta (suelo 2030). En este fenómeno tiene influencia la especie usada (9) (19).

Figura 3 (Suelo 1994):

Presenta dos líneas de fertilidad paralelas al eje de las abscisas, la del calcio y la del potasio. En ambos casos hay una liberación continua y constante de los respectivos nutrientes.

Se observa que la línea de fertilidad del calcio pasa por el valor 100. El calcio no afecta a la fertilidad potencial del suelo, por encontrarse en dicho nivel. En cambio, con el potasio es posible aumentar la fertilidad del suelo, pero sólo en una pequeña proporción, por encontrarse en el valor 89 (log 89). Luego puede eliminarse el calcio de la fertilización de corrección y de mantención, no así el potasio.

Ninguno de los elementos mencionados tiene la importancia que le corresponde al fósforo y al azufre, aunque a éste último sólo una vez que se aumente la producción. Lo inverso ocurre



Cuadro 3.- Indices de rendimiento acumulado obtenidos en cuatro cortes de ballica H-1 con diversos tratamientos de fertilización.

CORTE N°	TRATAMIENTO DE FERTILIZACION	SUELOS			
		1944	2029	2030	2230
1°	Completo*	(4,95)	(6,50)	(5,81)	(5,09)
	—P	61,6	38,9	29,2	47,7
	—K	89	91,1	30,3	48,7
	—Ca	101,2	94,1	95,5	96
	—Mg	93	105,5	104,6	93,9
	—S	87,9	101	96,2	62
	—micro	87	104,5	97,8	90,5
2°	Completo*	(12,58)	(13,45)	(13,63)	(15,30)
	—P	61,9	29,4	22,1	42,5
	—K	89,2	76,7	23	32,5
	—Ca	97,4	98,3	98,2	77,6
	—Mg	98,1	97,8	97,6	74,2
	—S	66,7	94	76,2	48
	—micro	96,5	100,1	96	64,6
3°	Completo*	(19,33)	(21,04)	(22,01)	(25,97)
	—P	54,6	24,8	16,6	37,3
	—K	91,3	60,8	17,6	28,5
	—Ca	99,3	96,2	100,3	62
	—Mg	101,2	90,4	93,9	57,1
	—S	51,4	86,6	57,9	37,8
	—micro	99,6	91	97,4	45,4
4°	Completo*	(26,07)	(24,96)	(25,24)	(28,70)
	—P	52,4	22,1	14,9	36
	—K	89,4	53,6	16,1	28,2
	—Ca	102,5	95,7	100,7	56,7
	—Mg	105,8	84,6	89,6	53,5
	—S	39,7	79,8	50,9	36
	—micro	104,7	85,2	95,6	43,2

*gramos por maceta.

a bajas producciones, donde ocupa una posición preferente el fósforo.

Figura 4 (Suelo 2230):

Por razones de claridad se ha excluido de las representaciones gráficas anteriores, a la línea de fertilidad de los micronutrientes, la que se incluye en esta oportunidad.

El primer nutriente necesario de corregir para elevar la fertilidad del suelo es el potasio, desplazando de esta ubicación a todos los demás. Le siguen el fósforo y el azufre. Con estos tres elementos parece posible alcanzar la fertilidad potencial. Se advierte una severa depresión de los índices de rendimiento, provocada por las producciones crecientes, cuando no se incorporan los restantes nutrientes en la fórmula de fertilización. Por consiguiente debe agregarse micronutrientes, magnesio y cal-

cio en la fertilización de mantención, aunque pueden omitirse de la abonadura de corrección. Se determina así una jerarquía de carencias nutritivas, en el orden decreciente siguiente:

$K > P > S > \text{micronutrientes} > Mg > Ca$

Todos ellos son necesarios para alcanzar y mantener la fertilidad potencial del suelo Nadi. Como lo confirma la práctica, poseen estos suelos los más graves problemas de fertilidad.

El tramo inicial de la línea de fertilidad del potasio se ha destacado mediante la línea de segmentos en la Figura 4. Con ello desea indicarse que no se desconoce el valor 48,7% (log 48,7), pero que la recta refleja mejor el fenómeno estudiado. Se atribuye a un error experimental, pese a determinarse —como todos los demás— en duplicado.

Significado de los parámetros de las líneas de fertilidad.

Para todas las líneas de fertilidad se han calculado las respectivas ecuaciones, como se aprecia en Cuadro 4. El valor A muestra la limitación que impone un determinado nutriente sobre la fertilidad actual del suelo. En consecuencia puede deducirse la intensidad con la cual se requiere corregir dicha deficiencia para llevar el suelo a su fertilidad potencial. Todos los valores de A inferiores a 100 (o de log A menores de 2.00000) revelan que hay una limitante impuesta por la ausencia del respectivo nutriente. Su inclusión en la fórmula de fertilización de la abonadura de corrección debería ser favorable. Ahora bien, la gravedad de esta carencia puede acentuarse a medida que se extraen mayores rendimientos con las plantas. La necesidad de pensar en una fertilización de manten-

ción, después de alcanzada la fertilidad potencial —o en su defecto otra óptima— es esencial. Esto se expresa por el valor de la pendiente (m) de la línea de fertilidad respectiva, para la cual deben contemplarse tres posibilidades matemáticas: valores negativos, valores positivos y un valor nulo.

Un valor negativo de m indica que debe incluirse al nutriente pertinente en la fórmula de fertilización de la abonadura de mantención. Ello es tanto más urgente, cuanto mayor su valor absoluto. Lo contrario ocurre si el coeficiente angular es positivo. En este último caso no deben descartarse posibles interferencias negativas, como consecuencia de usar cantidades excesivas del respectivo nutriente en la abonadura completa.

Un coeficiente angular nulo expresa que el nutriente correspondiente se encuentra dispo-

Cuadro 4.- Parámetros de las ecuaciones obtenidas para las líneas de fertilidad de cuatro suelos en los diagramas de fertilidad.

SUELO	TRATAMIENTO	A	m	LOG A
1994	—P	63,5	-0,00323	1,80277
	—K	89	0	1,94939
	—Ca	100	0	2,00000
	—Mg	90,5	+0,00245	1,95665
	—S	106	-0,01684	2,02531
	—micro	84	+0,00352	1,92428
2029	—P	48	-0,01354	1,68124
	—K	118	-0,01365	2,07188
	—Ca	96	0	1,98227
	—Mg	102,5	-0,00302	2,01072
	—S	107	-0,00473	2,02938
	—micro	111,5	-0,00389	2,04727
2030	—P	35,5	-0,01506	1,55023
	—K	35	-0,01410	1,54407
	—Ca	94	+0,00127	1,97313
	—Mg	108	-0,00318	2,03342
	—S	115	-0,01389	2,06070
	—micro	96,7	0	1,98543
2230	—P	50,5	-0,00519	1,70329
	—K	38,5	-0,01195	1,58546
	—Ca	108	-0,00854	2,03342
	—Mg	105	-0,01033	2,02119
	—S	69	-0,00999	1,83885
	—micro	103	-0,01362	2,01284

nible en el suelo en cantidad constante, para satisfacer una fracción definida de las necesidades de mantención de las plantas. Se verifica en estos casos, que el índice de rendimiento del respectivo nutriente es independiente de las producciones de materia seca que se alcanzan.

CONCLUSIONES

En este estudio se demuestra la conveniencia de usar un gráfico semilogarítmico para expresar los resultados de experimentos de macetero en que se realizan cortes sucesivos. Ecuaciones de la forma $\log Y = m X + \log A$

sirven para identificar las líneas de fertilidad de un suelo representadas sobre un diagra-

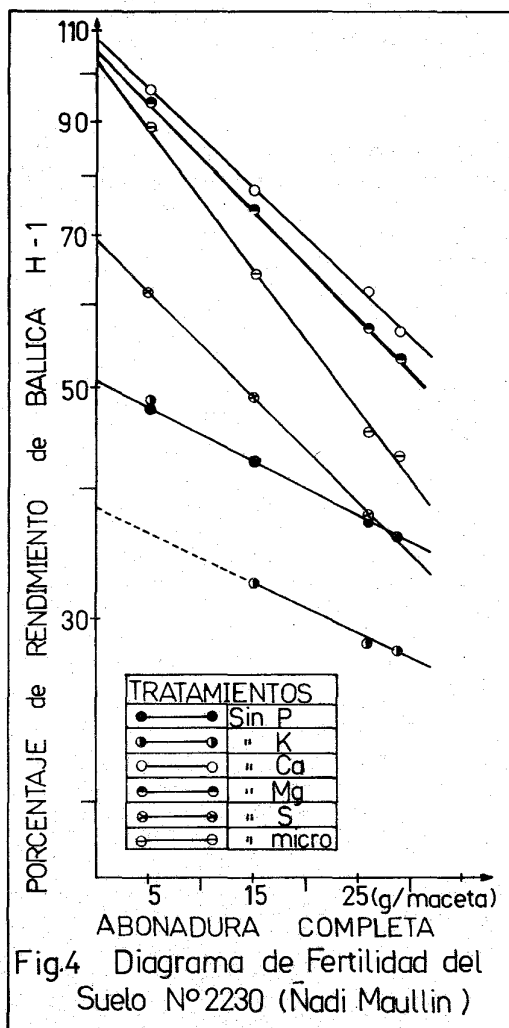
ma de fertilidad. Los dos parámetros de esta ecuación, pendiente de la recta y constante de posición, constituyen dos elementos simples y precisos para calificar la intensidad de la deficiencia nutritiva y el grado de agotamiento que sufren los respectivos nutrientes. Además permiten representar en forma sencilla los resultados obtenidos en ensayos de macetas con numerosos suelos, simplificando notablemente su interpretación.

Un valor de A inferior a 100 (o de $\log A$ menor de 2.00000) indica que al respectivo nutriente le cabe una función mejoradora sobre la fertilidad actual del suelo. Esta acción correctiva del nutriente sobre la fertilidad del suelo es más nítida cuanto más próximo a cero sea el valor de A, como consecuencia de la extrema gravedad que reviste dicha carencia. Por consiguiente es aconsejable incluir este nutriente en la fórmula de fertilización de la abonadura de corrección, con el objeto de llevar al suelo a su fertilidad potencial.

Cuando el valor de A es superior a 100, se determina un efecto depresivo de dicho nutriente. Su efecto perjudicial será más intenso cuanto más sobrepase la constante A a dicho valor 100, razón por la cual se le puede —y debe— omitir de la abonadura de corrección.

La línea de fertilidad da una información sobre la importancia que adquiere un nutriente en la abonadura de mantención. Sirven como elemento de juicio el valor absoluto y el signo de su pendiente. La extracción de nutrientes por las diferentes especies se hace a expensas de la fertilidad del suelo, si éstos no se proporcionan a la planta en la abonadura. Con los suelos elegidos se discuten tres casos posibles, esto es, que el coeficiente angular sea positivo, negativo o nulo. Cuanto mayor sea el valor absoluto de la pendiente negativa, tanto más urgente es atender a la aplicación de dicho nutriente en la fertilización de mantención.

Es posible establecer fácilmente la jerarquía de las deficiencias nutritivas. Puede determinarse a partir del diagrama de fertilidad o de las constantes correspondientes a las ecuaciones de sus líneas de fertilidad. A menudo ocurre una alteración en el orden de importancia de los nutrientes carentes, para mejorar la fertilidad del suelo, particularmente cuando se comparan las necesidades para diferentes producciones de un mismo suelo e igual planta. Por consiguiente sucede que un mismo suelo, sometido a distintas intensidades de uso, tiene diferentes requerimientos nutritivos, según sean los niveles de producción que se consideran (Fig. 3).



RESUMEN

Se desarrolla un método matemático simple que permite determinar las ecuaciones de las líneas de fertilidad de un suelo para cada nutriente. En un sistema de coordenadas semilogarítmico puede usarse una función $Y = f(X)$ de estructura: $Y = A \cdot b^{mX}$, o bien $\log Y = \log A + mX$

El conjunto de todas las líneas de fertilidad de un diagrama de fertilidad es una característica del suelo. Estas líneas le confieren individualidad a las muestras de suelo. Se seleccionan cuatro suelos chilenos para demostrar en ellos las ventajas del uso de los parámetros de una ecuación que representa a la línea recta en un sistema de coordenadas semilogarítmico.

Una aplicación muy conveniente de esta ecuación resulta cuando se trabaja con muchas muestras de suelo sometidas al ensayo de macetas. Por su intermedio es fácil asociar suelos con comportamiento semejante, ya sea que se atiende a la fertilización de corrección o a la abonadura de mantención. También es eficiente esta ecuación en la separación de suelos con conducta diferente.

SUMMARY

A mathematical method is developed that allows the determination of the fertility lines of a soil for each nutrient. In a semi-logarithmic coordinate system it can be used a function $Y = f(X)$ with the structure:

$$Y = A \cdot b^{mX} \text{ or } \log Y = \log A + mX$$

In a fertility diagram, the complex formed by the lines of fertility is typical for each soil.

Four Chilean soils are selected in order to show the advantages of using the parameters of an equation that represents the straight line in a semi-logarithmic coordinates system.

A convenient application of this equation results when several soil samples are submitted to potted trials. By its use is easy to associate soils with similar behaviour, especially when considering the fertilization for correction or maintenance of the soil fertility. The equation is also useful in identifying soils with different behaviour.

LITERATURA CITADA

- ALAMOS, P., BEHRENS, H., ACEVEDO, E., LÓPEZ, A. y PALMA, T. Relaciones suelo-fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 27 (3): 120-129. 1967.
- BAHERLE, P. Influencia de la fertilización fosfatada sobre aluminio y fierro extractable. Tesis Ing. Agr. Chillán, Chile, Universidad de Concepción, 1965. 89 p. (Mimeografiada).
- BOUYER, S. Considerations d'ordre pratique sur l'étude de la fertilité des sols tropicaux. *L'Agronomie Tropicale* 18 (9): 933-938. 1963.
- CHAMINADE, R. Recherches sur la fertilité et la fertilisation des sols tropicaux. Principes de base et techniques. *L'Agronomie Tropicale* 20 (10): 1014-1017. 1965.
- Bilan des trois années d'experimentation en petits vases de végétation. *L'Agronomie Tropicale* 20 (11): 1101-1162. 1965.
- CHILE. Instituto de Investigación de Recursos Naturales. CORFO. Suelos, Descripciones. Proyecto Aerofotogramétrico, Chile/OEA/BID. Publicación N° 2. 1964. 391 p.
- GOIG, P. Contenido y fracciones de fósforo en muestras de suelos procedentes de alfalfares chilenos. Tesis Ing. Agr. Chillán, Chile, Universidad de Concepción, 1962. 155 p. (Mimeografiada).
- GUTNIK, V., BALCAR, J., BEHRENS, H. y ACEVEDO, E. Influencia del pH sobre la fijación del fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 27 (4): 141-143. 1967.
- HELYAR, K. and ANDERSON, A. Responses of five pasture species to phosphorus, lime and nitrogen on an infertile acid soil with a high phosphate sorption capacity. *Australian Journal of Agricultural Research* 21 (5): 677-692. 1970.
- FIGUEROA, J. Curso de Matemáticas. 5ª. ed. Zaragoza, Editorial El Noticiero, 1949. 526 p.
- MARTINI, J. Caracterización del estado nutricional de los principales Andosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. *Turrialba (Costa Rica)* 20 (1): 72-84. 1970.

12. NYBORG, M. Sulfur deficiency in cereal grains. *Canadian Journal of Soil Science* 48 (1): 27-42. 1968.
13. SALGADO, M. Fracciones de fósforo presentes en cuatro suelos empleados para ensayo de maceteros en alfalfa, con dosis creciente de fosfato. Tesis Ing. Agr. Chillán, Chile, Universidad de Concepción, 1963. 169 p. (Mimeografiada).
14. SCHENKEL, G. Problemas de la acidez en suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América latina, 6-13 julio 1969. Turrialba (Costa Rica), Centro de Enseñanza e Investigación del IICA, 1969. pp. B. 9. 1.-B. 9. 11.
- 15.—Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayo de macetas. I. Representaciones gráficas usadas. Turrialba (Costa Rica) 21 (3): 253-262. 1971.
- 16.—II. Diagrama de fertilidad. Turrialba (Costa Rica) 21 (3): 263-271. 1971.
- 17.—y BAHERLE P. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. II. Método usado, *Agricultura Técnica (Chile)* 31 (1): 9-24. 1971.
- 18.—, —, FLOODY, T. y GAJARDO, M. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. I. Experiencia Preliminar. *Agricultura Técnica (Chile)* 30(4): 173-187. 1970.
- 19.—, —y —. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. IV. Determinación de la fórmula de fertilización mediante *Trifolium subterraneum* y *Lolium perenne* × *Lolium multiflorum*. Turrialba (Costa Rica) (En revisión), 1971.
20. SCHLOEMILCH, O. y HERNÁNDEZ, R. Tablas de logaritmo, 12ª. ed. Barcelona, Gustavo Gili, s. a. 1965. 212 p.
21. THEORIES SCIENTIFIQUES de la fertilisation des sols. Methodologie en cette matière. II. *Compte Rendus de Debats. G. Fumure d'Entretien. L'Agronomie Tropicale* 23 (2): 188-189. 1968.
- 22.—. Conclusions. *L'Agronomie Tropicale* 23 (2): 195-196. 1968.
23. VIDAL, P. Croissance et Nutrition. Minérale des mils (*Pennisetum*) cultivées au Sénégal. *L'Agronomie Tropicale* 18 (6-7): 589-668. 1963.