

A. VOISIN

LEYES CIENTIFICAS EN LA APLICACION DE LOS ABONOS



abonos

COLECCION AGROS
MANUALES DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA

Dirigida por
RICARDO TÉLLEZ

NUEVAS LEYES CIENTIFICAS
EN LA APLICACION DE LOS ABONOS

- BONILLA, LUIS: *Historia y Psicología del perro*. 30 fotografías. 248 págs.
- FISHWICK, V. C.: *El cerdo: cría, alimentación y administración*. Traducción y notas de adaptación por Enrique Sánchez Sáenz, ingeniero agrónomo. (Agotado, 2.ª ed. en preparación.)
- FISHWICK, V. C., y SÁNCHEZ SÁENZ, E.: *La vaca: granjas lecheras*. 74 láminas y planos de instalación. 452 págs.
- HAGDCORN, A. L.: *Cría de animales*. Traducción por Justo Nombela y José María Iturbe. 42 figuras. 496 págs.
- PÉREZ GARRIDO, Pedro: *Vademécum de Veterinaria práctica* (4.ª ed.). XII + 1120 págs.
- SCHÜTTE, Karl H.: *Biología de los microelementos y su función en la alimentación*. Traducción de Justo Nombela y Fernando Iturbe. 128 tablas y figuras. VIII + 280 págs.
- VOISIN, André: *Dinámica de los Pastos*. Traducción y prólogo por Carlos Luis de Cuenca, catedrático de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Madrid. 109 tablas y figuras (4.ª reimpresión). 456 págs.
- VOISIN, André: *Nuevas leyes científicas en la aplicación de los abonos*. 32 figuras y tablas. 152 págs.
- VOISIN, André: *Productividad de la hierba*. Traducción y prólogo por Carlos Luis de Cuenca, catedrático de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Madrid. 142 figuras, tablas y fotografías (4.ª reimpresión). 500 págs.
- VOISIN, André: *Suelo, Hierba, Cáncer*. Traducción y prólogo por Carlos Luis de Cuenca, catedrático de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Madrid. 56 tablas y figuras. 424 págs.
- VOISIN, André: *La tenaxis de la hierba*. Traducción revisada por Carlos Luis de Cuenca. 55 figuras y tablas. 416 págs.
- VOISIN, A. y LECOMTE, A.: *La vaca y la hierba*. Cómo obtener buenos rendimientos del ganado vacuno. 9 figuras y fotografías. 128 págs.

ANDRE VOISIN

Miembro de la Academia de Agricultura y Laureado del Instituto de Francia.
Dr. honoris causa de las Universidades de Bonn y La Habana. Profesor en la Escuela Nacional
de Veterinaria y en el Instituto de Medicina Veterinaria Tropical, de Afort, París.

NUEVAS LEYES CIENTIFICAS EN LA APLICACION DE LOS ABONOS

PRESENTACION POR

CARLOS LUIS DE CUENCA

Catedrático de la Facultad de Veterinaria
de la Universidad de Madrid

EDITORIAL TECNOS

MADRID

Los derechos para la versión castellana de la obra
LES NOUVELLES LOIS SCIENTIFIQUES D'APPLICATION
DES ENGRAINS

de la que es autor el Prof. André Voinin
son propiedad de EDITORIAL TECNOS, S. A.

TRADUCCIÓN DE
JUSTO NOMBELA

De la Facultad de Veterinaria de Madrid

1.ª edición, 1966
1.ª reimp., 1970
2.ª reimp., 1979

© EDITORIAL TECNOS, S. A., 1979

O'Donnell, 27. Madrid-9

ISBN 84-309-0799-8

Depósito legal: M. 8795.—1979

Printed in Spain. Impreso en España. Gráficas Halar, S. L. - A. de la Cuerda, 4. Madrid-13

INDICE

	<i>Págs.</i>
PRESENTACIÓN	13
PREFACIO	15
NOTA DE INTRODUCCIÓN	19

PRIMERA PARTE

EL ABONO ES UN INSTRUMENTO MARAVILLOSO CUANDO SE APLICA BIEN,
PERO ES UN GRAVE PELIGRO SI SE UTILIZA MAL

El abono mineral, uno de los más grandes descubrimientos de los tiempos modernos	23
Posibles peligros del abono mal utilizado	23
El abono debe aumentar el rendimiento sin perjudicar la salud.	24
Datos conocidos y desconocidos	25

SEGUNDA PARTE

LAS DOS LEYES DE RESTITUCIÓN: CON CRITERIO PARCO
Y CON CRITERIO AMPLIO

Ley de restitución de los elementos sustraídos por las cosechas.	29
Dos detalles de la ley de restitución que son actualmente admi- tidos	30
Ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos ...	30
Unión de las dos leyes de restitución	31
El término «desaparición» debe considerarse en el sentido más amplio	32
El aporte de un elemento fertilizante favorece la sustracción de otro elemento por las aguas	32
Efecto indirecto sobre la sustracción de las aguas	33
Desaparición de los elementos después de la aplicación de los cuatro abonos fundamentales	33

	<u>Págs.</u>
El abono nitrogenado puede hacer desaparecer el cobre asimilable.	34
El ácido fosfórico hace desaparecer el cinc asimilable del suelo.	36
Los efectos antagónicos del potasio frente a los macroelementos.	38
El abono potásico hace desaparecer al boro asimilable del suelo.	39
Desaparición del manganeso asimilable después de los aportes de carbonato cálcico	40
La desaparición del manganeso asimilable después del paso de la forma divalente a la forma tetravalente	41
Reduciendo el pH se vuelve asimilable el manganeso desaparecido	42
Labilidad de los elementos asimilables del suelo	42
Una gran cantidad de oligoelementos no es una garantía contra las carencias	43
Necesidad de la nueva ley de restitución de los elementos desaparecidos	44

TERCERA PARTE

DE LA LEY DEL MÍNIMO A LA LEY DEL MÁXIMO

Aspecto cuantitativo y cualitativo de la ley del mínimo	47
La ley de los excedentes casi proporcionales como corolario de la ley del mínimo	47
Debemos ir más allá del máximo de producción	48
La ley del máximo	49
Curva parcial y curva completa	50
Métodos prácticos del agricultor para regular sus aportes de abonos.	50
El aporte de un exceso de abono, justificado al principio, se continúa generalmente sin que sea necesario	52
Exceso por acumulación de un elemento en el suelo	53
La insuficiencia o el exceso de oligoelementos disminuye el rendimiento	54
Un exceso o déficit de abono nitrogenado disminuye el rendimiento del trigo	54
El rendimiento de los frutos agrios puede aumentarse o disminuirse por los aportes de ácido fosfórico	59
Desaparición del cobre asimilable bajo el efecto del ácido fosfórico	60
El exceso de abono potásico causa una carencia de magnesio en la planta	61

	<u>Págs.</u>
Suelos que tienen poca necesidad de potasio, pero gran necesidad de magnesio	63
Las carencias de magnesio causadas por los excesos de abonos potásicos se multiplican	63
Demasiado o muy poco abono potásico disminuyen el rendimiento.	64
La carencia de magnesio es también causada por la insuficiencia o el exceso de calcio	64
Enseñanzas teóricas y prácticas	67
Demasiado o poco daño	67
La insuficiencia de un elemento corresponde al mismo tiempo al exceso de otro, e inversamente	68
Correlación de la ley del mínimo y la ley del máximo con la ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos	69
Todo desequilibrio del suelo debe ser corregido	70

CUARTA PARTE

LOS ABONOS Y LA CALIDAD BIOLÓGICA

Ley de la prioridad de la calidad biológica	73
Calidad biológica y metabolismo normal	73
El ensayo biológico real	74
El animal que pasta, considerado como animal de laboratorio	74
Estudio de la influencia de los abonos sobre algunos factores separados que determinan la calidad biológica	75
Orden y alteración del metabolismo	76
Calidad biológica y salud	76
Los abonos y los antimetabolitos de las plantas	77
El rendimiento y la calidad biológica no varían grandemente de manera paralela	78
Nitrógeno Kjeldahl, proteína bruta y aminoácidos	78
Rendimiento de la planta y valor biológico de su proteína bruta.	79
El contenido en proteína bruta y el valor biológico de ésta no varían siempre de manera paralela	80
La ley del mínimo y la ley del máximo aplicadas a la calidad biológica	82
La ley del mínimo limita la síntesis de la vitamina C por la planta en función del manganeso del suelo	84
La ley del máximo influye en la disminución de la síntesis de la vitamina C de la planta	85

	<i>Págs.</i>
Un exceso o un defecto de mineral en el suelo disminuye la cifra de caroteno de la planta	86
El sodio ilustra la no correlación existente entre el rendimiento y la calidad biológica	86
El abono nitrogenado puede aumentar o disminuir el contenido en riboflavina de la planta	89
La calidad biológica en correlación con un factor que protege contra otro cancerígeno	91
Dos enseñanzas fundamentales de la relación entre el abono y la calidad biológica	91
Abono mineral y suplemento mineral en la alimentación	92
Sodio en el suelo y en las bolas de sal	93
Efecto global de los abonos sobre la salud del animal	93
Influencia de los abonos nitrogenados sobre el metabolismo del cobre del animal	94
Una aplicación juiciosa de abono fosfórico aumenta el peso del animal	96
El exceso de abono potásico, al alterar el metabolismo del magnesio, favorece la tetania de la hierba	97
El metabolismo del manganeso del animal es trastornado por los aportes excesivos del calcio al suelo	98
El suelo «hace» al animal	99
El abono «hace» al animal	102
El suelo y el abono «hacen» al animal	102

QUINTA PARTE

UNIDAD DE LAS CINCO LEYES

Recuerdo de dos leyes antiguas y de tres nuevas leyes	107
Enunciado de las cuatro primeras leyes	108
Ley de la correlación de los desequilibrios del suelo	109

SEXTA PARTE

POSIBILIDADES DE APLICACIÓN PRÁCTICA DE LAS NUEVAS LEYES CIENTÍFICAS DE LOS ABONOS

Teoría y práctica	113
«La misión de la química agrícola es elevar los rendimientos»	113
Las dos primeras nuevas leyes aumentan el rendimiento	114

	<i>Págs.</i>
La restitución del magnesio, que ha hecho desaparecer el abono potásico, aumenta el rendimiento	115
La ley del máximo limita las aplicaciones excesivas del calcio	116
La calidad biológica de los alimentos del hombre no presenta un marcado carácter comercial	116
La influencia de los abonos sobre la calidad biológica toma una enorme importancia en el caso de los animales alimentados por los productos de la finca	117
La calidad biológica de la hierba, mucho más que su rendimiento, hace el cultivo fructífero	118
Fácil aplicación de las tres nuevas leyes de los pastos	119
Las calidades biológicas intermedias	120
Las carencias de cobre producen graves consecuencias en el animal. Una planta sin síntomas patológicos de carencia de cobre puede ser nociva al animal	121
El cobre influye sobre dos propiedades biológicas intermedias. El cobre y la fragilidad de la «tela» de la cebolla	122
La aplicación del abono cúprico con la de nitrogenado modifica la estructura celular y el tallo de la avena	123
El abono cúprico reduce la tendencia al encamado causado por el abono nitrogenado	125
Dos progresos importantes de la industria de los abonos	127
Hacia los abonos equilibrados	128

SEPTIMA PARTE

HACIA UNA NUEVA ORIENTACIÓN DE LA QUÍMICA AGRÍCOLA

Para convencer a los poderes públicos de la necesidad de los abonos equilibrados	131
Hasta ahora, la química agrícola sólo ha estudiado lo relacionado con el rendimiento	131
Hemos descuidado el estudio de la influencia de los abonos en la salud	132
Muchos niegan aún la influencia de los abonos en la salud	132
Un desequilibrio mínimo en el suelo puede reaccionar desfavorablemente en la salud de los animales	133
Distribución geográfica de ciertas «enfermedades de civilización»	133
El suelo y el abono «hacen» al animal y al hombre	136

	Págs.
Generalización en el mundo de los métodos standard de aplicación de los abonos	137
La nueva química agrícola, orientada hacia la calidad biológica.	138
Medicina terapéutica, preventiva y protectora	138
La medicina preventiva es inseparable de la nueva química agrícola.	139
El químico agrícola y el médico se ignoran	140
Dos consecuencias curiosas de la no colaboración del químico agrícola y del médico	140
Una gran barrera separa los estudios de agronomía de los de medicina	141
«Polvo eres y al polvo volverás»	142
La química agrícola determina la buena proporción de los polvos del organismo	142
Nuestro destino depende de nuestra capacidad para utilizar bien los abonos	143
La decadencia de las civilizaciones ha seguido a la concentración de la población en metrópolis gigantescas	143
«Roma arrojó en sus alcantarillas la fertilidad de Sicilia»	144
Carestías secretas de los pueblos	144
París y Montreal lanzan en sus alcantarillas la fertilidad de Normandía y de la cuenca del San Lorenzo	145
Los abonos minerales trastornan las conclusiones de los filósofos de la historia	146
Beneficios de los abonos	146
Peligros de los abonos	147
Aplicación juiciosa de los abonos	148
Índice de tablas y figuras	149

PRESENTACION

El profesor Voisin murió en acto de servicio en Cuba en los últimos días de 1964. En acto de servicio porque fue en momentos en que profesaba su vocación docente ante el público enervorizado de una nación que quiere aumentar a toda costa sus niveles de vida. Fue, pues, un acto desinteresado el que movió al profesor Voisin a realizar un esfuerzo de desplazamiento hacia climas distintos a los que eran habituales para él y que culminó en el trágico desenlace de su muerte, sobrevenida en La Habana después de unos días de agotadores esfuerzos. Y más aún cuando el desinterés llegaba a prestar su ciencia en términos universales a un pueblo distinto del suyo, que le había reclamado y que creía en él.

Lejos estábamos, al prologar sus obras anteriores, de prever que habría una última que lo fuera a título póstumo. Lo es este prólogo por haber sido escrito después de su muerte, cuando la tumba del profesor Voisin, honrada por el respeto y por las flores de un pueblo, se difunde a través de libros culminantes, de conferencias pronunciadas en todo el mundo, de ideas originales y de sugerencias unas veces utilitarias, otras filosóficas, pero siempre humanas y llenas de un elevado espíritu envidiable. Voisin ha sido sin duda un precursor; sus obras, tanto proféticas como llenas de un contenido práctico extraordinario, pasarán por el tamiz de los tiempos y sentarán sus grandes ideas dejando sedimentar otras que quizá sean superadas. Pero de lo que no cabe duda es que su poderoso espíritu de síntesis ha rendido a la humanidad un máximo servicio, a la ciencia una utilidad inolvidable y a todos los hombres de la técnica y del campo una enseñanza que difícilmente se podrá superar.

Como continuación a las traducciones españolas de sus obras fundamentales, «Suelo, hierba, cáncer», «Productividad de la hierba», «Dinámica de los pastos», «Tetania de la hierba», viene este otro nuevo libro a sumarse al acervo de las publicaciones del autor traducidas a la lengua castellana; en él formula leyes originales como la de la restitución de los elementos asimilables desaparecidos, la del máximo y la de la prioridad de la calidad biológica. El lector verá en la obra el eco complacido de las anteriores publicaciones y comulgará una vez más con las ideas del autor, que tienen un extraño magnetismo y una originalidad indudable.

Desgraciadamente el profesor Voisin ha desaparecido de entre nosotros, pero ha quedado una parte muy grande de su obra todavía inédita, que manos afectivas tratan en estos momentos de ordenar. No es tarea fácil, porque el autor, cuyo concepto de la sinceridad y de la formación, de la seriedad y de la autoridad científica eran insuperables, escribía sus obras de una manera especial: primero, un borrador que dejaba durante algunos meses en reposo; después, una segunda lectura, un nuevo reposo más tarde y, por último, la redacción final, cuidadísima en todos los aspectos, desde el gramático al lexicológico, desde el ortográfico al de la redacción impecable de los datos. Esta inimitable manera de proceder será muy difícil de seguir para poder alumbrar más tesoros ocultos de ciencia y de práctica en la obra póstuma de Voisin. Pero confiamos que entre todos aquellos que le quisimos y le admiramos podamos ayudar, cada uno en nuestro idioma, a transportar las ideas de aquella mente que se extinguió, como decimos al principio, en acto de servicio, bajo un clima dulce y tropical y en tensión permanente de las fuerzas del espíritu.

CARLOS LUIS DE CUENCA

Facultad de Veterinaria, Universidad de Madrid

PREFACIO

En noviembre de 1963, la Facultad de Agricultura de la Universidad de Laval (Canadá) invitó al profesor André Voisin a ofrecer a sus estudiantes y a sus profesores un curso sobre las relaciones existentes entre el suelo, la planta y el animal. Tres de las lecciones de este curso giraban sobre las leyes de aplicación de los abonos; las mismas son objeto de la presente obra. El autor completa, a la luz de los datos de la ciencia moderna, las antiguas leyes de Boussingault, de Liebig y de Mitscherlich y formula otras tres nuevas: la ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos, la ley del máximo y la ley de la prioridad de la calidad biológica.

Lo que ha llevado al profesor Voisin a actualizar y completar las leyes de aplicación de los abonos son las investigaciones que él ha hecho con el objeto de descubrir las causas del rápido desarrollo de ciertas enfermedades del ganado en los países europeos, investigaciones cuyos resultados se han consignado en dos de sus obras anteriores: «Suelo, hierba, cáncer» (Sol, herbe, cancer) y «Tetania de la hierba» (Tétanie d'herbe). Este nuevo libro es el lógico resultado de los otros dos, hasta el punto de no poderse separar. El recopila en cierto modo lo que había dejado entrever

en algunos capítulos de los libros anteriores; por ejemplo: "las enseñanzas de la tetania de la hierba" (*les enseignements de la tétanie d'herbe*). En esta nueva obra, el autor demuestra que la química agrícola debe ampliar su campo de acción para asignarle tanta importancia a la calidad biológica de los vegetales como al aumento de los rendimientos; de lo contrario, nos dirigimos rápidamente, en los países de desarrollo técnico, hacia la producción de alimentos cuya composición química estará profundamente modificada. Las repercusiones de estos cambios sobre la salud del animal son innegables; las repercusiones sobre la salud del hombre, aunque menos conocidas, existen sin duda alguna. El autor está plenamente convencido que el abono, al igual que el suelo, daña tanto al hombre como al animal, y que la medicina del futuro es la medicina preventiva.

El agrónomo de Quebec, como cualquier otro del mundo, obtendrá provecho al leer y meditar estos datos frente a los numerosos problemas que plantea la evolución de nuestra agricultura hacia una especialización cada vez más avanzada. Cualquiera que sea su objeto, cultivo o cría de ganado, la especialización en agricultura se dirige en primer lugar al aumento de los rendimientos, a fin de reducir los costos de producción. Los abonos han sido uno de los principales medios de aumentar los rendimientos de las producciones agrícolas, tanto vegetales como animales, por lo que su empleo no ha cesado de aumentar. ¿Hemos alcanzado el escalón en el que el incremento del rendimiento se debe a la calidad biológica de los productos de la tierra? No se podría afirmar categóricamente. A pesar de todo, algunos desórdenes fisiológicos de nuestros cultivos constituyen una advertencia; es tiempo de que abramos los ojos. Por otra parte, nuestros zootécnicos

se preocupan de la frecuencia con que se da la esterilidad del ganado lechero. Las actuales generaciones de agrónomos han logrado éxito al difundir entre los agricultores el uso de los abonos químicos; la generación de hoy deberá velar porque el empleo de estos abonos se haga sin riesgo de desequilibrar el suelo, la salud del animal y, ni que decir tiene, la salud del hombre.

Debemos rendir homenaje al autor por la originalidad de su presentación. El profesor Voisin conversa, ni más ni menos, con su lector; en este diálogo se palpa un aire de convicción y de calor humano que no rebaja en nada el valor científico de su exposición, pero que hace cautivante su lectura.

DR. J. E. CHEVRETTE

Agrónomo de la Universidad de Laval, Quebec

18 de mayo de 1964.

NOTA DE INTRODUCCION

La presente monografía representa tres de los veinticinco cursos que he pronunciado en la Universidad de Laval, titulados: "Suelo, planta, animal".

El texto es casi idéntico a los cursos, tanto en el fondo como en la forma, y apenas ha sido corregido.

Los cuadros y figuras fueron proyectados en forma de diapositivas, y las explicaciones orales correspondientes indican algunas cifras o datos principales que es suficiente con que el lector tome nota. Subrayo sobre todo las enseñanzas generales de estas cifras y de estos datos. Resulta, pues, que el lector, después de una primera lectura, puede, si lo desea, contentarse con leer el texto sin volver a los cuadros y figuras, abandonando, por consiguiente, el tener que examinarlos.

PRIMERA PARTE

**EL ABONO ES UN INSTRUMENTO MARAVILLOSO CUANDO
SE APLICA BIEN, PERO ES UN GRAVE PELIGRO SI SE
UTILIZA MAL**

El abono mineral, uno de los más grandes descubrimientos de los tiempos modernos

El abono mineral representa uno de los descubrimientos más importantes, si no el principal, de la química moderna.

Bien aplicado, el abono mineral mantiene e incluso aumenta la fertilidad de los suelos, eleva el rendimiento de las cosechas y puede mejorar el valor alimenticio de los productos agrícolas.

Sin el abono mineral, jamás la agricultura hubiera podido apuntarse el éxito de cuadruplicar en cincuenta años sus rendimientos y convertirse así en uno de los principales factores del incremento del nivel de vida en los países civilizados.

Los progresos industriales de un país, por inmensos que sean, pueden dificultarse e incluso detenerse si su agricultura no sabe aprovechar al mismo tiempo sus rendimientos sin desgastar el suelo. Ahora bien, la condición primera y fundamental de tal progreso es el empleo de los abonos minerales, sean químicos o artificiales.

Posibles peligros del abono mal utilizado

El abono mineral, instrumento maravilloso cuando se emplea bien, puede, si es mal utilizado, convertirse en un agente muy peligroso que destruye la fertilidad de los suelos, disminuye los rendimientos y deteriora la calidad alimenticia de los productos

agrícolas, pudiendo dañar gravemente la salud de los animales y de los hombres.

Conozco agricultores que han desgastado sus tierras y han ido a la ruina porque vendían al exterior no la mayor parte de sus productos, sino todos ellos, sin compensar las exportaciones de los fertilizantes con los aportes requeridos de abonos minerales.

Pero también sé de campesinos que se han arruinado porque han deteriorado rápidamente sus tierras por el empleo abusivo y poco juicioso de abonos minerales: plantas y animales fueron afectados por toda clase de enfermedades carenciales y el aprovechamiento se hizo imposible.

Pueden leerse en una revista oficial francesa las siguientes notas:

«En el efectivo animal de varias fincas hemos encontrado esterilidad casi total, diarrea, enteritis, cojera, tetania pratenso, etc. La moral de los explotadores se ha socavado y, con frecuencia, los agricultores avezados, los más activos, que marchan de acuerdo con el progreso, son los que tienen mayores dificultades. Ellos comprueban cada vez más que el vecino *atrasado*, que no camina paralelamente al progreso, posee animales sanos y en buenas condiciones.»

Varios errores en esas zonas contribuyeron al estado catastrófico de la salud de los animales, lo que finalmente significó la ruina del agricultor. Pero uno de los principales fallos fue la aplicación equivocada de abonos minerales.

El abono debe aumentar el rendimiento sin perjudicar la salud

El primer deber de la química agrícola, en su estado actual de desarrollo, es impedir que la aplicación errónea de los abonos pueda causar, desde el punto de vista de la salud, las catástrofes de que habla la información oficial francesa.

El problema que se plantea es el de saber cómo debemos aplicar los abonos minerales para que, al tiempo que aumenten el rendimiento de las cosechas, no deterioren la fertilidad de los suelos; pues de aquí resulta una disminución de la calidad de los productos agrícolas, con el riesgo de dañar la salud de los animales y de los hombres.

En otros términos, debe conocerse cuáles son las leyes científicas que deben regir la aplicación juiciosa de los abonos minerales para que, aumentando el rendimiento, no alteren el buen estado de los suelos y, de hecho, la salud de los animales y de los hombres.

Ciertamente, existen leyes científicas de aplicación de los abonos que, como vamos a ver, se reducen a dos. Pero, poco a poco, me ha parecido que ellas eran insuficientes, y que no cubrían más que un aspecto muy limitado del problema.

Así, progresivamente, he llegado a formular tres nuevas leyes, que creo indispensables, si no vitales.

Datos conocidos y desconocidos

Es curioso que algunas bases de estas nuevas leyes sean conocidas y que todas mis consideraciones no sean ciertamente nuevas para ustedes. Sin embargo, de estos datos y observaciones dispersos no se han sacado conclusiones generales para tratar de codificarlas y de formular las leyes indispensables que nos deben guiar en la aplicación de nuestros abonos, de manera que éstos sean siempre aportados con medida, cosa que está muy lejos de ser cierto en la actualidad.

Por asombroso que esto pueda parecer, voy a exponerles datos que a todos nos constan, cuyas enseñanzas han permanecido en el vacío, por no decir que son casi desconocidas.

SEGUNDA PARTE

**LAS DOS LEYES DE RESTITUCION: CON CRITERIO PARCO
Y CON CRITERIO AMPLIO**

**Ley de restitución de los elementos
sustraídos por las cosechas**

Una de las dos leyes fundamentales que rigen actualmente la aplicación de los abonos es la ley de la *restitución*, que, en Francia, ha sido principalmente estudiada y formulada por Boussingault y Behérain, los dos grandes pioneros de la química agrícola. Esta ley básica puede expresarse de manera general como sigue:

Es indispensable restituir al suelo, para evitar su deterioro, todos los elementos fertilizantes que las cosechas le arrancan.

La ley se puede desarrollar y precisar así:

Para que el suelo no se desgaste es necesario restituirle los elementos nutritivos que las cosechas le sustraen, a saber:

- Los cuatro elementos fundamentales: nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (N, P, K, Ca).
- Diversos oligoelementos, tales como magnesio, sodio, azufre, etc.
- Diversos micro-elementos, tales como manganeso, cobre, cinc, cobalto, etc.

Dos detalles de la ley de restitución que son actualmente admitidos

Las obras actuales sobre abonos estiman, por lo general, que la ley de restitución, tal como acaba de ser formulada, debe aportar dos principios:

- Fuera de los elementos nutritivos «exportados» por las cosechas es necesario igualmente tener en cuenta las pérdidas debidas al arrastre por las aguas. Se estima generalmente que son muy reducidas las pérdidas causadas para el ácido fosfórico y el potasio, mayores para el calcio y mucho más importantes las del nitrógeno.
- Es necesario *mejorar* el terreno con ácido fosfórico y potasio, de manera que, siguiendo una fórmula corriente, «la planta tenga siempre a su disposición lo que ella necesita para producir abundantemente». Esta regla, poco precisa, ha conducido al uso abusivo y a una acumulación de ambos elementos que pocas veces son arrastrados por las aguas. Veremos algunas de las consecuencias.

Ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos

La ley de restitución actual no considera, por consiguiente, más que los elementos nutritivos que se llevaron las cosechas, con la adición eventual de los elementos sustraídos por las aguas. Esto podía ser válido en el siglo XIX, pero hoy no lo es; ahora aportamos regularmente al suelo los abonos cuyos elementos fertilizantes, trastornando los equilibrios minerales existentes, hacen desaparecer algunos elementos asimilables que se encuentren allí presentes.

En otras palabras, se trata de mantener la fertilidad del suelo restituyéndole:

- No solamente los elementos asimilables sustraídos y «exportados» por las cosechas, sino también aquellos arrastrados por las aguas.
- Igualmente los elementos asimilables que hacen desaparecer el aporte de nuestros abonos.

De este modo he llegado a formular la nueva *ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos*, que enuncio de la siguiente manera:

Es indispensable restituir al suelo, para que no se desgaste, los elementos asimilables que desaparecen por aplicación de los cuatro abonos fundamentales (N, P, K, Ca).

Precisemos que se trata aquí de los elementos asimilables y no de los elementos totales del suelo, y recordamos inmediatamente que la cantidad total de un elemento en el suelo puede apenas variar, mientras que la cantidad asimilable de este mismo elemento cambia en proporciones considerables, como veremos.

Está claro que no se excluye que el elemento total desaparece al mismo tiempo que el elemento asimilable.

Unión de las dos leyes de restitución

Unimos la antigua y la nueva ley de restitución en una sola y la enunciamos de este modo:

Es indispensable, para mantener la fertilidad del suelo, restituirle no solamente los elementos asimilables sustraídos por las cosechas, sino igualmente los elementos asimilables que desaparecen a consecuencia de nuestras aplicaciones de abono.

El término «desaparición» debe considerarse en el sentido más amplio

Intencionalmente no he definido con precisión la *desaparición* de un elemento mineral asimilable del suelo debido al aporte de un elemento fertilizante contenido en el abono aplicado.

La palabra *desaparición* es utilizada en el sentido más amplio y no prejuzga en nada los fenómenos, conocidos o desconocidos, que han conducido a la pérdida de un elemento asimilable del suelo bajo la influencia de otro que nosotros hemos aportado.

Este término no implica ninguna restricción en lo que concierne a la duración de esta desaparición, así que su carácter general o limitado, frente a una o varias plantas, nos recuerda que la asimilabilidad de un elemento no es igual para todas las plantas.

Nos contentaremos con examinar algunos fenómenos bastante conocidos —aunque muy imperfectamente— referentes a la desaparición de un elemento mineral asimilable del suelo debido a las aplicaciones de abonos. Esta exposición será breve y no excluye otras causas conocidas y desconocidas.

El aporte de un elemento fertilizante favorece la sustracción de otro elemento por las aguas

Antes de examinar los efectos antagónicos propiamente dichos, recordaremos que la incorporación de un elemento mineral al suelo puede favorecer la sustracción de otro por las aguas de lluvia, no olvidando, como hemos dicho, que la antigua ley de restitución tomaba generalmente en consideración las pérdidas por la sustracción de las aguas.

Un ejemplo clásico del arrastre de un elemento mineral por el aporte de un elemento fertilizante es el del magnesio por las lluvias debido a la aplicación de abonos potásicos. Como nos re-

cuerda Didier Bertrand, miembro de la Academia de Agricultura de Francia:

«Una tierra cuyo porcentaje de magnesio asimilable por los vegetales parece correcto, puede tener una carencia de este elemento después del empleo masivo de abonos potásicos seguido de lluvia abundante. Hay, en efecto, en este caso, una verdadera sustracción del magnesio del suelo por las aguas.»

Por lo que resulta que el aporte continuo de abonos potásicos puede provocar, a la larga, un empobrecimiento cada vez más acentuado de magnesio asimilable debido al acceso de las aguas a éste.

Del mismo modo, el abono potásico favorece el arrastre del calcio del suelo por las aguas.

Efecto indirecto sobre la sustracción de las aguas

Para que tengamos el ejemplo del magnesio, señalemos que su arrastre por las aguas puede ser debido igualmente a un efecto *indirecto* del elemento fertilizante que se ha aplicado. Cuando se aplica un abono nitrogenado que contiene el radical de amonio (NH_4^+) puede decirse en términos concretos que cuando el ión de amonio (NH_4^+) es absorbido por las raíces hay cambio de iones de amonio y de hidrógeno, que son liberados, los cuales van a ejercer una acción antagónica frente a los iones de magnesio y a favorecer su sustracción por las aguas.

Desaparición de los elementos después de la aplicación de los cuatro abonos fundamentales

Considerado brevemente el clásico problema del arrastre de los elementos por el agua, vamos a ver ahora algunos ejemplos típicos de *desaparición* de macro o micro-elementos asimilables

que se deben al aporte de los cuatro abonos fundamentales: nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. Mostraremos además, en varios casos, cómo la restitución al suelo del elemento desaparecido permite desequilibrar el efecto del abono.

El abono nitrogenado puede hacer desaparecer el cobre asimilable

La tabla 1 muestra que en un suelo deficiente en cobre asimilable el aporte de cantidades crecientes de nitrato de amonio hace desaparecer el cobre asimilable y disminuye de ese modo el porcentaje de cobre en la hierba:

- Por un aporte escaso de abono nitrogenado la cifra de cobre de la materia seca de la planta es de 8,8 millonésimas (p. p. m.), es decir, ligeramente superior al límite de 8 p. p. m. admitido con reservas como el contenido límite necesario para el buen desarrollo de los animales.
- Un aporte elevado de abono nitrogenado hace desaparecer el cobre asimilable del suelo y el tanto por ciento de la materia seca de la hierba (ray-grass) desciende a 4,2 millonésimas (p. p. m.).
- La restitución, es decir, el aporte de 200 miligramos de sulfato de cobre por maceta permite aumentar suficientemente la cantidad de cobre asimilable, de manera que, incluso para un aporte elevado de abono nitrogenado, el tanto por ciento de la materia seca del césped (ray-grass) en cobre se queda en 11,5 millonésimas (p. p. m.), o sea muy superior al límite teórico de 8 millonésimas (p. p. m.).

Como hemos subrayado, el término *desaparición* no implica nada sobre la naturaleza de los fenómenos que causan el efecto del abono nitrogenado sobre el cobre asimilable. Señalaremos simplemente que en química se sabe cómo los iones de amonio tie-

TABLA 1

DESAPARICIÓN DEL COBRE ASIMILABLE DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE ABONOS NITROGENADOS A LA HIERBA (RAY-GRASS) Y RESTITUCIÓN POR EL APORTE DE ABONOS CÚPRICOS

Gramos de nitrato de amonio agregados por maceta	Miligramos de sulfato de cobre agregados por maceta	
	0	200
Miligramos de cobre por kilogramo de materia seca (p. p. m.)		
0,5	8,8	13,1
1,0	6,8	9,3
2,0	6,0	7,8
4,0	4,2	11,5

N. B. 1) Se trata de experiencias en macetas con un suelo relativamente pobre en cobre.
2) Comparar la figura núm. 4, concerniente al efecto del abono nitrogenado sobre el cobre.
Según MULDER: 5th International Grassland Congress, 6 (1949).

nen una afinidad especial para los iones de cobre; todos aquellos que han trabajado en laboratorio conocen el caldo Schweitzer, que contiene —en solución— una combinación cuproamoniacal.

Más adelante veremos (tabla 7) que el ácido fosfórico del abono puede igualmente hacer desaparecer el cobre asimilable del suelo, cuyas consecuencias se hacen sentir particularmente en frutos agrios, muy sensibles a las carencias de cobre. Estudiaremos ahora el efecto del ácido fosfórico sobre el cinc.

El ácido fosfórico hace desaparecer el cinc asimilable del suelo

Las aplicaciones de abonos fosfóricos tienden a hacer desaparecer el cinc asimilable del suelo. El efecto es particularmente señalado cuando el suelo es relativamente pobre en cinc asimilable y cuando la planta es sensible a una carencia de cinc, como ocurre en el caso del lino. Pero no hay que olvidar que este efecto del ácido fosfórico, como todos los otros análogos, es acumulativo. También, actualmente, en las regiones donde tradicionalmente se cultiva el lino, después de decenas de años de aplicar grandes, y a veces excesivas, cantidades de ácido fosfórico, se ven, cada vez con más frecuencia, aparecer carencias de cinc en dichos cultivos.

La tabla 2 nos muestra que en un suelo relativamente pobre en cinc asimilable los aportes crecientes de ácido fosfórico, bajo la forma de fosfato monosódico, hacen bajar el tanto por ciento de cinc de la materia seca del lino de 41 a 24 millonésimas (p. p. m.). Aunque los síntomas de carencia de cinc aumentan al mismo tiempo que estas aplicaciones crecientes de fosfato, el rendimiento no cesa de aumentar, lo que tiende a *disimular* el efecto del ácido fosfórico sobre el cinc asimilable del suelo.

Una ligera aplicación de sulfato de cinc al suelo, aunque no incremente más que ligeramente el porcentaje de cinc del lino, surte efecto muy eficaz, sobre todo en el caso de una ligera aplicación de fosfato (320 miligramos por maceta); aunque esta aplicación de cinc no aumente la cifra de cinc del lino (que es de 18 por 100 y el rendimiento de 19 por 100), se reduce al décimo el número de plantas de lino que ofrecen síntomas de carencia de cinc, lo que corresponde, en conjunto, a un mejoramiento considerable de la calidad de la fibra.

Por lo que respecta a las causas de esta desaparición del cinc asimilable debido al uso de abonos con ácido fosfórico, se discute todavía si se trata de la formación de un fosfato de cinc insoluble,

ble, o si el ácido fosfórico ejerce una acción antagónica frente a la absorción del cinc por las raíces, o si impide el paso del cinc de las raíces hacia las hojas.

TABLA 2

DESAPARICIÓN DEL CINCO ASIMILABLE DEBIDO A LA APLICACIÓN DEL ÁCIDO FOSFÓRICO

	Miligramos de sulfato de cinc agregados por maceta	Miligramos de fosfato monosódico agregados por maceta		
		0	320	960
Miligramos de cinc por kilogramo de materia seca de lino (p. p. m.) ...	0	41	27	24
	18	45	32	25
Rendimiento del lino (miligramos de materia seca por maceta).....	0	640	970	1.020
	18	720	1.150	1.280
Porcentaje de plantas de lino que presentan síntomas de carencia de cinc	0	0	20	62
	18	0	2	31

N. B. 1) Las superficies de lino han sido cultivadas en macetas sobre un suelo arenoso de pH = 6,2 bastante pobre en cinc asimilable.

2) Compárese la tabla núm. 7, que muestra la influencia del ácido fosfórico en la desaparición del cobre.

Según LONERAGAN: *Australian J. of Scientific Research*, SER. B-4: 108 (1950).

Los efectos antagónicos del potasio frente a los macro-elementos

Los efectos, llamados antagónicos, de los abonos potásicos frente a los macro-elementos: magnesio, calcio y sodio, son conocidos desde hace muchos decenios, sin que conozcamos todavía cuáles son las causas reales.

Para apoyarnos sobre nuestra terminología, diremos que el aporte del abono potásico causa en el suelo la desaparición de los macro-elementos: magnesio, calcio y sodio. Como vemos en la tabla 3, la desaparición del sodio es particularmente notable, puesto que los crecientes aportes de cloruro potásico descienden el porcentaje de sodio de la materia seca del dátilo de 0,91 a 0,04, o sea se obtiene un valor casi nulo.

TABLA 3

EL ABONO POTÁSICO HACE DESAPARECER LOS MACRO-ELEMENTOS: MAGNESIO, CALCIO Y SODIO ASIMILABLES

Cantidad aplicada de cloruro potásico (Kg/Ha.)	Porcentaje en la materia seca del dátilo		
	SODIO (Na)	CALCIO (Ca)	MAGNESIO (Mg)
0	0,91	0,52	0,22
63	0,70	0,49	0,23
127	0,16	0,34	0,16
254	0,11	0,35	0,17
508	0,04	0,33	0,17

Según McNAUGHT: *New-Zealand J. of Agriculture*, 99: 442 (1959).

El abono potásico hace desaparecer el boro asimilable del suelo

El potasio puede hacer desaparecer no sólo los macro-elementos, sino también los micro-elementos. Por ejemplo, el antagonismo del abono potásico frente al boro puede ser con frecuencia notable.

Como muestra la tabla 4, el aporte del abono potásico tien-

TABLA 4

DESAPARICIÓN DEL BORO ASIMILABLE DEBIDO AL APORTE DE ABONO POTÁSICO

Grado de saturación del suelo en potasio %	Millonésimas (p. p. m.) de boro en la materia seca de la soja	
	Sin	Con
	aporte de boro	
0,5	42	78
1,0	24	47
2,0	34	54
4,0	11	50
12,0	6	39

N. B. 1) Los porcentajes de boro son calculados en la materia seca del tercer trifolio después que el quinto trifolio estaba desarrollado.

2) Un grado de saturación del suelo de 2 por 100 de potasio corresponde a un aporte de 300 Kg/Ha. de potasio (K₂O) al suelo.

3) Estaba hecho un aporte de boro (B) de 2,2 Kg/Ha.

4) Véase la figura núm. 6, concerniente a la misma serie de experiencias.

Según WOODRUFF: *Better crops with plant food*, 44: 4 (1960).

de a hacer desaparecer el boro asimilable, resultando que, cuando se aumentan los aportes de abonos potásicos, el tanto por ciento de boro (B) de la materia seca de las hojas de soja pasa de 42 a 6 millonésimas.

Si se restituye al suelo este boro asimilable mediante abono boratado, el contenido de boro de las hojas aumenta considerablemente e incluso es multiplicado por siete en el caso de grandes aportes de potasio. Esta aplicación de abono boratado mejora el rendimiento total donde se hayan hecho aportes de potasio, aunque éstos sean de poca importancia.

Se sabe que la carencia de boro causa la *enfermedad del cogollo o podredumbre seca del cogollo de la remolacha*. Por eso, en la actualidad, casi todos los abonos propios de la remolacha contienen borato, que restituye el boro desaparecido por la acción del abono potásico.

Desaparición del manganeso asimilable después de los aportes de carbonato cálcico

La aplicación de grandes cantidades de carbonato de cal al suelo modifica, profundamente, todos los equilibrios minerales de éste. Pero este efecto es particularmente notable sobre el manganeso asimilable, al cual hace desaparecer. Véase en la tabla 5 que el aporte de calcio al suelo hace descender el porcentaje de manganeso de la materia seca de las hojas del triguero de 202 a 52 millonésimas (p. p. m.), o sea cuatro veces menos.

Esta cifra insuficiente de manganeso causa:

- En la planta, la enfermedad de las manchas grises, a la cual las gramíneas, en particular la avena, son sensibles.
- En los animales, las deformaciones óseas («perosis» de los pollos) y sobre todo esterilidad, que se comprueba en las vacas que pastan suelos que han recibido cantidades muy elevadas de abonos cálcicos (véase tabla 19).

TABLA 5

EL APORTE DE CARBONATO CÁLCICO HACE DESAPARECER EL MANGANESO ASIMILABLE

Gramos de carbonato cálcico (CO ₂ Ca) aplicados en cada maceta	0	10	20
pH del suelo	5,8	6,6	7,0
Millonésimas (p. p. m.) de manganeso en la materia seca de la avena elevada (<i>Avenatherum</i>)	202	59	52

N. B. Se trata de cultivo en macetas.
Según HASLER: *Schweiz. Landwirt. Monatshefte*, 29: 300 (1951).

La desaparición del manganeso asimilable después del paso de la forma divalente a la forma tetravalente

Conocemos bien el mecanismo por el cual el aporte del calcio hace desaparecer el manganeso asimilable del suelo: este aporte del calcio aumenta el pH; como vemos en la tabla 5, el suministro de CO₂Ca aumenta el pH de 5,8 a 7,0, y este aumento de 1,2 es lo suficiente para hacer descender el nivel de manganeso de la avena elevada (*Avenatherum*).

Este aumento del pH significa que hay disminución de la riqueza en iones de hidrógeno del suelo. Ello da lugar a una oxidación de la forma divalente del manganeso asimilable, que pasa a tetravalente, que no es asimilable.

Reduciendo el pH se vuelve asimilable el manganeso desaparecido

Está bien claro que se puede dar al suelo un aporte de abono con manganeso asimilable bajo la forma de sales bivalentes (o manganosas). Pero éstas, visto el pH elevado del suelo, van a ser oxidadas rápidamente por sales tetravalentes o mangánicas, cuyo manganeso no es asimilable. También sobre los suelos a los cuales se les ha elevado el pH por aportes inconsiderables de CO_2 Ca se tiene tendencia a pulverizar las sales manganosas sobre la planta misma.

Otro método, muy eficaz en tal caso, consiste en emplear un abono ácido como el sulfato de amonio, que reduce el pH del suelo. Este enriquecimiento del suelo en forma de sales de hidrógeno va a transformar una parte del manganeso tetravalente, que no es asimilable, en manganeso divalente asimilable.

Vemos en la tabla 6 que el empleo del sulfato de amonio, en lugar del nitrato amónico, permite aumentar en un 50 por 100 el contenido en manganeso de la hierba de un prado. Se trata en este caso de una *restitución* indirecta del manganeso desaparecido.

Labilidad de los elementos asimilables del suelo

Este ejemplo de la desaparición del manganeso asimilable debido al aporte de calcio, después de su reaparición, cuando se aplica un abono ácido que reduce el pH, muestra con qué fuerza un aporte de abono puede trastornar los equilibrios del suelo y ejercer influencia sobre la planta.

Vemos además que la cantidad *total* de un elemento mineral que está presente en el suelo no da idea alguna de la cantidad *asimilable* de este mismo elemento, el cual puede variar con una extraordinaria rapidez, en proporciones muy elevadas, según los aportes de abono que hagamos al suelo.

TABLA 6

EL SULFATO DE AMONIACO HACE «REAPARECER» EL MANGANESO ASIMILABLE DESAPARECIDO

Abonos nitrogenados aportados	Millonésimas (p. p. m.) de manganeso en la materia seca de la hierba		
	1.º grupo	2.º grupo	3.º grupo
Nitrato amónico	91	98	115
Sulfato de amoníaco	141	158	158

N. B. Las cantidades de nitrógeno (N) aportadas en los dos casos han sido idénticas, pero no son indicadas.
Según JUDL: *Mitteilungen der Deutschen Landwirtschaft* (9-3-61).

Una gran cantidad de oligo-elementos no es una garantía contra las carencias

Se comprende igualmente el error que ha sido cometido cuando se afirma que no deben existir problemas con los oligo-elementos del suelo, porque sus reservas, totales o asimilables, son suficientes para cubrir las pérdidas de estos elementos por las cosechas durante doscientos años. Se olvidaba así la extrema fragilidad de los elementos *asimilables* del suelo: un suelo puede ser muy rico en un oligo-elemento asimilable, pero un desequilibrio que nosotros creemos en el suelo por los aportes de abonos hará desaparecer la casi totalidad del oligo-elemento asimilable; por ejemplo, en un suelo muy rico en manganeso total y asimilable, el aporte de cantidades excesivas de calcio hará desaparecer la mayor parte del manganeso *asimilable* del suelo, que produce graves carencias entre las plantas y los animales.

**Necesidad de la nueva ley de restitución
de los elementos desaparecidos**

Gracias a algunos de estos ejemplos acabamos de ver cómo el aporte de los cuatro abonos clásicos: nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (N, P, K, Ca), modifican los equilibrios minerales del suelo y hacen desaparecer directa o indirectamente algunos elementos asimilables. Comprendemos entonces mejor la necesidad de crear una nueva ley de restitución que exija que se restituya al suelo no solamente los elementos llevados por las cosechas, sino igualmente aquellos que hemos hecho desaparecer por la aplicación de los cuatro abonos fundamentales.

TERCERA PARTE

DE LA LEY DEL MINIMO A LA LEY DEL MAXIMO

**Aspecto cuantitativo
y cualitativo de la ley del mínimo**

La segunda ley que hasta ahora ha regido la aplicación de los abonos es la *ley del mínimo*, llamada con frecuencia *ley de Liebig*. Parece ser que dicha ley fue enunciada por Liebig con la formulación cuantitativa siguiente:

Los rendimientos de las cosechas son proporcionales a la cantidad del elemento fertilizante, que se encuentra al mínimo en el suelo en relación con las necesidades de las plantas.

Pero, por consiguiente, se puede observar que este carácter cuantitativo de la ley del mínimo era raramente exacto y no se ha tomado de él más que un aspecto cualitativo, de manera que en la actualidad esta ley se expresa con mucha frecuencia de la forma que sigue:

La insuficiencia de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de otros elementos y, por consiguiente, disminuye el rendimiento de las cosechas.

**La ley de los excedentes casi proporcionales
como corolario de la ley del mínimo**

Se puede considerar que la ley del mínimo, bajo su forma cuantitativa primitiva, ha sido completada por la ley corolario, o sea *ley de Mitscherlich* o *ley de los excedentes casi proporcionales*.

Como lo ha subrayado Demolon, la ley del mínimo indica que hay un límite de producción (*plafond de production*) debido a la insuficiencia relativa de un elemento nutritivo mineral en el suelo, el cual se comporta como factor limitante. Pero esta ley no detalla de qué manera la producción progresa hasta ese tope cuando se agrega al suelo el factor limitante. Es esta laguna la que la ley de Mitscherlich, o ley de los excedentes casi proporcionales, se ha esforzado en subsanar. Si se dejan a un lado los aspectos matemáticos del resto de los aspectos discutibles, esta ley se puede expresar, desde el punto de vista práctico, de la manera que sigue:

→ Cuando se aportan al suelo dosis crecientes de un elemento fertilizante, los aumentos del rendimiento obtenido son cada vez menores, a medida que las cantidades aportadas se elevan.

Debemos ir más allá del máximo de producción

Desgraciadamente, la ley de Mitscherlich no completa más que de una manera insuficiente la ley del mínimo. Dicha ley no va más allá del tope de producción; ahora bien, si se aplica un elemento fertilizante en dosis crecientes, los aumentos del rendimiento no solamente son cada vez menores, sino que se vuelven negativos, es decir, que hay una *disminución* de rendimiento.

En otros términos, mucho se ha hablado del aumento y tope de producción, pero casi siempre ha permanecido en silencio el descenso de la curva según este tope. En breves palabras, se han subrayado en forma repetida las consecuencias sobre el rendimiento de la falta de un elemento fertilizante, pero solamente la palabra *insuficiencia* es sustituida por la palabra *exceso* de un elemento fertilizante.

El mismo Mitscherlich había señalado que su ley tenía sus límites y que, si se hacían aportes exagerados de un elemento

fertilizante, se llegaba finalmente a una disminución de rendimiento. Pero Mitscherlich agregaba que, desde el punto de vista práctico, esta parte de la curva no ofrece ningún interés.

Son éstas casi las mismas consideraciones que encontramos entre los diversos autores cuando ellos mencionan (el resto, raramente) lo que pasa cuando se insiste en hacer crecer las cantidades de elementos fertilizantes: se apresuran en señalar que, desde el punto de vista práctico, esta parte de la curva no ofrece ningún interés.

La ley del máximo

Desde el punto de vista teórico y práctico, me parece necesario subrayar que un exceso de un elemento limita más el rendimiento que una insuficiencia del mismo. Así he llegado a formular mi nueva *ley del máximo*, que enuncio de la manera siguiente:

→ El exceso de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de otros elementos y, por consiguiente, disminuye el rendimiento de las cosechas.

Es el mismo enunciado que el de la ley del mínimo, donde únicamente la palabra *insuficiencia* es reemplazada por la palabra *exceso*.

Nos contentamos, en el enunciado de esta ley, con hablar del rendimiento de las cosechas, pero veremos más adelante que la ley del máximo desempeña un papel fundamental en la determinación de la *calidad biológica*.

Lo mismo que, por un instante, examinamos únicamente el rendimiento en función de la ley clásica del mínimo y de mi nueva ley del máximo, nos reservamos para más adelante examinar la calidad biológica a la luz de estas dos leyes.

Curva parcial y curva completa

Antes de ver los ejemplos concretos, me parece necesario demostrar, mediante una curva teórica, la ley del mínimo y la ley del máximo. Es ésta la curva que he representado en la figura 1.

Sin aporte alguno de un elemento fertilizante, el rendimiento era de R .

Cuando al suelo se le hacen aportes crecientes de este elemento fertilizante, hay un aumento rápido, con baja posterior del rendimiento.

Se alcanza entonces un tope, y el valor del rendimiento no baja inmediatamente, sino lentamente, cuando se insiste en añadir cantidades crecientes de elementos fertilizantes.

Después, los aportes crecientes de dichos elementos hacen descender cada vez más rápidamente el rendimiento hasta el momento en que el exceso de los mismos deviene tóxico y hacen descender el rendimiento a un valor prácticamente nulo.

Casi nunca, sin que esto sea una regla absoluta, se encuentra en las diversas obras o estudios más que la primera parte de la curva, la que he representado en trazo grueso; cuando se ve que las dosis crecientes de elementos fertilizantes disminuyen el rendimiento, se detiene la experiencia.

Pero dejemos a un lado los aspectos teóricos de esta curva para ver una consecuencia *práctica*, extremadamente importante en la aplicación de los abonos por el agricultor.

Métodos prácticos del agricultor para regular sus aportes de abonos

El agricultor rige sus aportes de abonos, ante todo, de acuerdo con los rendimientos que él ha podido obtener. Incluso si nuestros métodos de análisis del suelo son precisos, lo que está lejos de ser, y no es el caso actualmente, el agricultor no tendrá du-

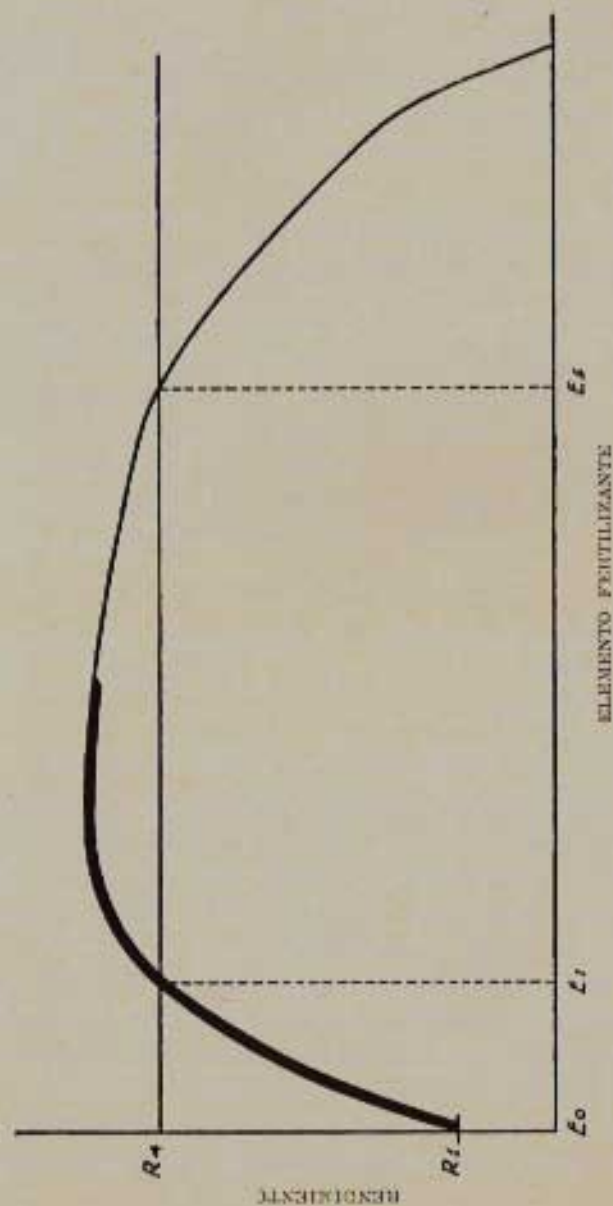


Fig. 1

Se puede cuadruplicar el rendimiento con un aporte juicioso de abono mejor que con una cantidad cinco veces superior.

rante mucho tiempo otro método mejor que el de juzgar de acuerdo con los rendimientos si sus aportes de abonos son juiciosos.

Ahora bien, cuando se considera la curva *completa* de la figura 1 se advierte que es posible cuadruplicar el rendimiento (R_1) por producto de aquel (R) obtenido sin aporte de abono, de dos maneras:

- Mediante un aporte normal (E_1).
- Mediante un aporte cinco veces más elevado (E_2).

Veremos más adelante (tabla 8) un caso real que corresponde a este caso teórico. Por hábil que el agricultor sea, empleará mayor cantidad de dosis que las necesarias, que causan progresivamente en el suelo la presencia de cantidades excesivas de este elemento fertilizante, con todas las consecuencias graves que este exceso tendrá para la fertilidad de su suelo, así como para la calidad biológica de los productos, como podremos ver.

El aporte de un exceso de abono, justificado al principio, se continúa generalmente sin que sea necesario

Hay otra razón por la cual el agricultor tiene tendencia a emplear dosis excesivas e inútiles de abonos (digamos entre E_1 y E_2), y es que durante cierto tiempo (algunas veces bastante largo) mantiene un buen rendimiento sin que parezca dañar la salud del suelo, de las cosechas y de los animales.

En efecto, en el curso de los primeros años de aplicación de los abonos, éstos no solamente restituyen al suelo las cantidades arrastradas del elemento que se aplica, sino que completan las reservas del suelo en este elemento en el que es pobre.

Supongamos que, para alternar los cultivos en la tierra apta para ellos, hay una exportación anual media de 50 Kg/Ha. (E_1)

de potasio (K_2O), y que el suelo en cuestión sea bastante pobre en potasio. Después de un análisis del suelo o del informe de un técnico agrícola que conozca bien este tipo de suelo o que simplemente lo conozca a medias, el agricultor aplica, por primera vez, a este suelo escaso en potasio, la dosis de 250 Kg/Ha. (E_2) de potasio.

El comprueba que hay un aumento enorme de rendimiento y continuará haciendo la misma aplicación, aunque ésta ya no se encuentra justificada. Por tanto, se sentirá justificado para seguir haciendo estos aportes excesivos de potasio como acabamos de ver (fig. 1), sobre todo si esta cantidad excesiva (E_2) produce el mismo rendimiento (R_1) que la cantidad suficiente (E_1) que corresponde a las exportaciones normales.

Además, según la teoría de *las mejoras*, que hemos expuesto anteriormente, él será aconsejado a continuar haciendo estos aportes exagerados.

Exceso por acumulación de un elemento en el suelo

Una acumulación de potasio en el suelo traerá como consecuencia la desaparición rápida o lenta de otros elementos en el suelo (véanse tablas 3 y 4), con todas las consecuencias graves que pueden resultar para el rendimiento de las cosechas, así como para la salud de los animales.

De esta manera comprendemos mejor todas las razones por las cuales son aplicados de manera más que corriente los abonos en exceso y por qué la ley del máximo es tan importante desde el punto de vista práctico.

Después de estas primeras consideraciones generales, veamos primeramente una curva típica *real* de la aplicación de la ley del máximo y de la ley del mínimo.

La insuficiencia o el exceso de oligo-elementos disminuye el rendimiento

La figura 2 es debida a nuestro excelente colega Ferdinand Ouellette, de la Universidad de Laval.

La curva demuestra muy bien cómo una insuficiencia o un exceso de manganeso disminuye grandemente el rendimiento de soja.

Esta curva es completada por la figura 3, que ilustra cómo el déficit o exceso de cobre hace bajar el rendimiento; existen numerosos suelos que carecen de cobre asimilable, ya sea de manera natural o consecuencia de las aplicaciones de grandes cantidades de abonos nitrogenados y fosfóricos (tablas 1 y 7), pero existen también suelos en las viñas o huertas donde el cobre acumulado, debido a las repetidas pulverizaciones de *caldo bordelés* o algún producto análogo, ejerce un efecto tóxico en los suelos y plantas.

Habiendo así ilustrado con dos oligo-elementos las leyes extremas del mínimo y del máximo, vamos ahora a ver la aplicación simultánea de estas dos leyes cuando se añaden al suelo los cuatro abonos clásicos: nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (N, P, K, Ca).

Un exceso o déficit de abono nitrogenado disminuyen el rendimiento del trigo

Consideremos la curva inferior de la figura 4; veamos que con un aporte nulo de abono nitrogenado el rendimiento en granos de trigo era alrededor de 20 quintales; la aplicación de abono nitrogenado permite, en primer lugar, aumentar este rendimiento, que, por un aporte de nitrógeno (N) de 70 Kg/Ha., alcanza

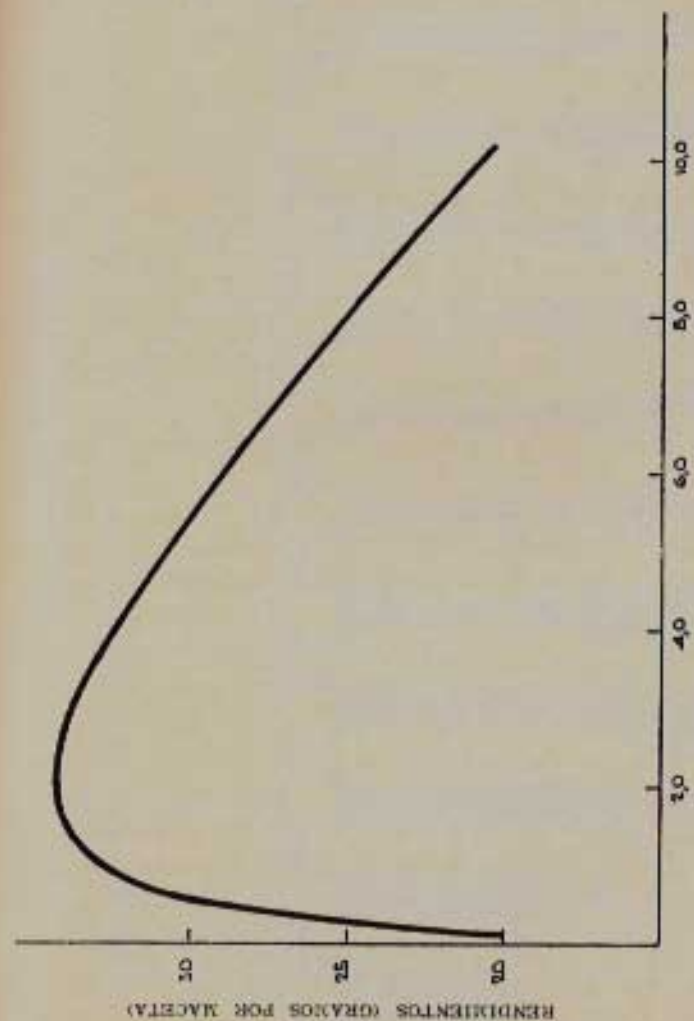
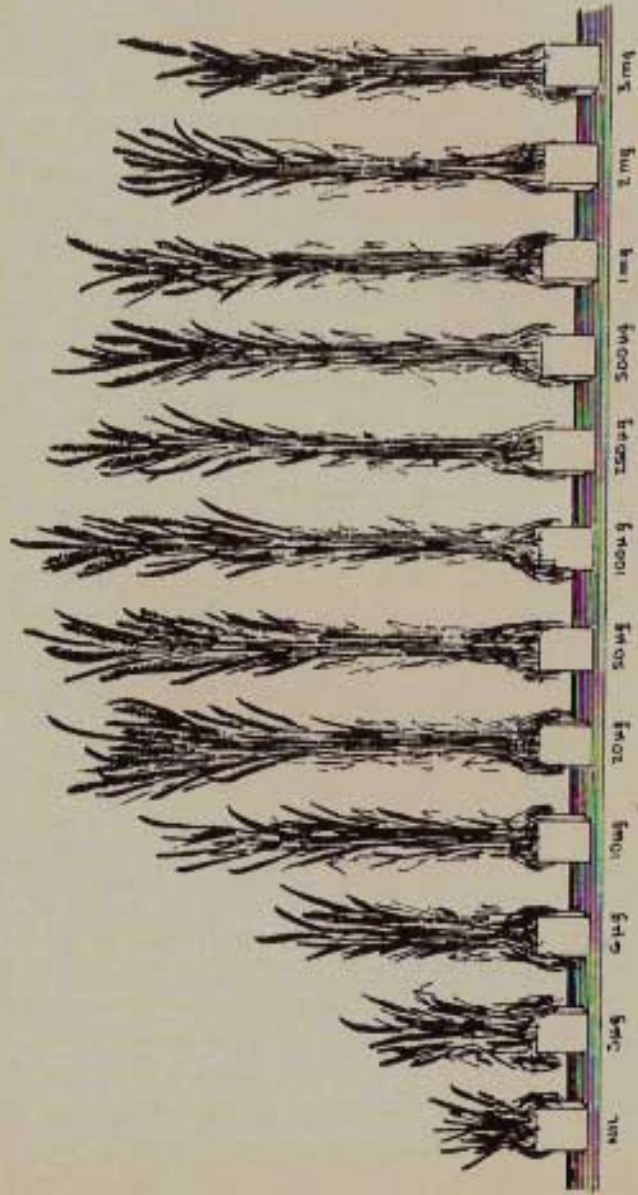


FIG. 2

MILLONESIMAS (P. P. M.) DE MANGANESO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

La insuficiencia o el exceso de manganeso disminuirán el rendimiento de la soja.

N. B.—La solución nutritiva contenía 15 millonésimas (p. p. m.) de hierro. (Según Ouellette, *Scientific Agriculture*, 31: 227, 1951.)



Cobre en la solución nutritiva.

FIG. 3

El exceso o déficit de cobre disminuyen el rendimiento de la avena.

(Según STRUSS, Elementos traza en plantas y animales, 96, 1951.)

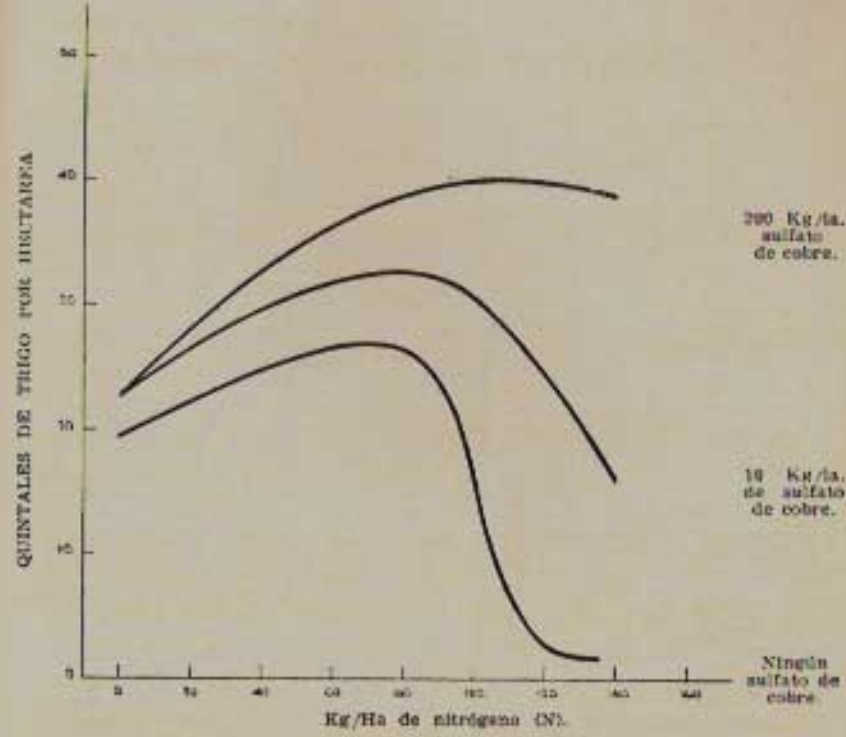


FIG. 4

El rendimiento de trigo disminuye por exceso o insuficiencia de abono nitrogenado.

N. B.—1) Se trata de un ensayo sobre campo, 2) El abono nitrogenado utilizado fue nitrato de amonio sobre base cálcica, 3) El suelo era pobre en cobre asimilable, 4) Para el efecto de los abonos nitrogenados sobre el cobre, véanse tabla 1 y fig. 10. (Según MULLER, Pontificia Academia Scientiarum, Scripta varia, 14: 215, 1956.)

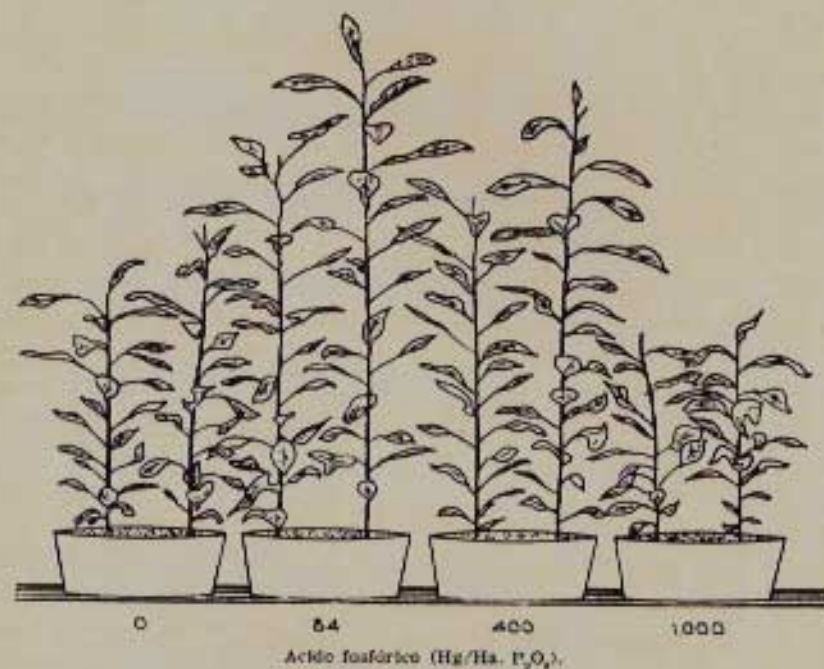


FIG. 5

La insuficiencia o exceso de ácido fosfórico disminuye el crecimiento de las plantas de naranjas amargas.

N. B.—1) El ácido fosfórico se aplicó como superfosfato. 2) Véase tabla 7, referente a la misma serie de experiencias. (Según BINGHAM, *Soil Science*, 80: 24, 1958.)

un tope de 28 quintales, o sea un 40 por 100 de más. Pero si se continúa aumentando los aportes de nitrógeno más allá de este valor, los rendimientos decrecerán rápidamente y se convertirán en casi nulos con una aplicación de 120 Kg/Ha. de nitrógeno (N).

Se trataba en estos ensayos de un suelo relativamente pobre en cobre asimilable y hemos visto más arriba (tabla 1) que el abono nitrogenado tiene tendencia a hacer desaparecer el cobre asimilable del suelo.

Es además posible, añadiéndole al suelo el cobre, compensar, todo o al menos parcialmente, este efecto del abono nitrogenado. Véase (fig. 4) que el aporte de abono cúprico permite:

- Aumentar al máximo el rendimiento, que pasa a 42 qm/Ha. por una aplicación de 200 Kg/Ha. de sulfato de cobre.
- Utilizar grandes cantidades de abono nitrogenado sin disminuir el rendimiento, es decir, sin desplazar el punto donde la ley del máximo entra en juego.

El rendimiento de los frutos agrios puede aumentarse o disminuirse por los aportes de ácido fosfórico

La figura 5 nos muestra la altura de las plantas de naranja que han recibido grandes cantidades de ácido fosfórico.

El rendimiento puede ser considerado casi paralelo a la altura de estas plantas, y se ve así que un aporte moderado de 84 Kg/Ha. de fósforo (expresado en P_2O_5) aumenta considerablemente el rendimiento, mientras que aportes más elevados disminuyen el rendimiento y hacen bajar el valor obtenido como si no se hubiese hecho aporte de ácido fosfórico.

Desaparición del cobre asimilable bajo el efecto del ácido fosfórico

Veamos en la tabla 7 que las cantidades crecientes de ácido fosfórico no cesan de disminuir el contenido de cobre de las hojas de naranjas, el cual desciende de 15,0 a 3,0 millonésimas (p. p. m.).

TABLA 7

LA RESTITUCIÓN DE COBRE AL SUELO ATENÚA LOS EFECTOS DESFAVORABLES DE UN EXCESO DE ÁCIDO FOSFÓRICO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA NARANJA

Aportes de ácido P ₂ O ₅ (Kg./Ha.)	Pesos (gramos) de plantas jóvenes		Contenido de cobre de la materia seca de las hojas	
	Sin	Con	Sin	Con
	aporte de cobre		aporte de cobre	
0	12	13	15,0	18,0
84	20	28	8,0	14,0
400	16	29	3,4	12,0
1.000	12	20	3,0	10,0

- N. B. 1) Las plantas jóvenes eran de seis meses.
 2) Se trataba de ensayos en maceta.
 3) El ácido fosfórico era aplicado bajo forma de fosfato monocálcico.
 4) El aporte de sulfato de cobre era tal que aumentaba en 20 millonésimas (p. p. m.) el contenido de cobre de la materia seca del suelo.
 5) Aparecieron graves síntomas de carencia de cobre cuando el contenido del mismo en la materia seca de las hojas descendió a 4 millonésimas (p. p. m.) y menos.
 6) No aparecieron signos sensibles de carencia de cinc.
 7) Véase figura 5, concerniente a la misma serie de experiencias.

Según BINGHAM: Soil Science Society (America) Proceedings, 20: 382 (1956).

El aporte de cobre al suelo permite además el doble efecto que comprobamos en el caso del abono nitrogenado, tal como lo vemos en la tabla 7.

- El tope del rendimiento pasa de 20 a 29 (o sea casi un 50 por 100 de aumento).
- Se pueden utilizar grandes cantidades de ácido fosfórico sin que haya descenso en el rendimiento.

Al mismo tiempo, este aporte al suelo de cobre (bajo la forma de sulfato de cobre) compensa el efecto antagónico del ácido fosfórico, de manera que el contenido de cobre de la materia seca de las hojas permanece en 10 millonésimas (p. p. m.) contra 3 millonésimas (p. p. m.) en el caso de grandes cantidades de ácido fosfórico.

El exceso de abono potásico causa una carencia de magnesio en la planta

La ley del máximo es particularmente importante en el caso del abono potásico, puesto que éste hace desaparecer el magnesio asimilable, como ya hemos visto (tabla 3) en lo que respecta a la composición de la planta.

La tabla 8 nos enseña las consecuencias sobre el rendimiento de la hierba de este antagonismo del potasio y del magnesio. Vemos que el aporte de abono potásico aumenta en primer lugar grandemente el rendimiento y que, por un aporte óptimo de 254 Kg./Ha. de cloruro de potasio, se alcanza un rendimiento máximo de hierba de 23.000 Kg./Ha. Desde que los aportes de cloruro de potasio son superiores a esta cantidad, la ley del máximo entra en juego y el rendimiento desciende.

Al mismo tiempo que los aportes de abonos potásicos crecen, el contenido de magnesio no cesa de disminuir, debido a la desaparición del magnesio asimilable.

Resulta interesante señalar que se obtienen casi los mismos rendimientos (18.000 y 19.500 Kg/Ha.) por los aportes de cloruro de potasio de 127 a 635 Kg/Ha., que están en relación de uno a cinco. Encontramos con gran fidelidad el caso representado en la figura teórica 1. Esta igualdad de producción de hierba por una aplicación quintuplicada de abono explica mejor los abusos que los agricultores, mal aconsejados, han podido hacer en el empleo de abono potásico sobre sus pastizales, con las consecuencias catastróficas que ello acarrea para la salud de los animales: esterilidad, tetania de la hierba, etc.

TABLA 8

EL EXCESO O INSUFICIENCIA DE ABONO POTÁSICO DISMINUYEN
EL RENDIMIENTO DE LA HIERBA

Kilogramos de cloruro de potasio aplicados por hectárea	Kilogramos de hierba producidos por hectárea	Porcentaje de magnesio (Mg) en la materia fresca de la hierba
0	7.620	0,85
63	8.100	0,72
127	18.100	0,62
254	23.000	0,41
635	19.500	0,39

N. B. Para los efectos antagónicos del potasio, compárese con la tabla 3.

Según WALSCH: *Kali-Symposium*, 347 (1954).

Suelos que tienen poca necesidad de potasio, pero gran necesidad de magnesio

Existen en el mundo numerosos suelos, extremadamente pobres en magnesio asimilable, que son, sin embargo, bastante ricos en potasio asimilable. Por tanto, la aplicación de abono potásico a estos suelos, que tienen poca necesidad del citado abono, puede causar, desde luego, aumentos de rendimiento. Pero, sobre estos suelos, al mismo tiempo muy pobres en magnesio asimilable, estos aportes de abono potásico van a empobrecer aún más al suelo en magnesio asimilable, y más o menos rápidamente van a aparecer las carencias de magnesio en las plantas. Finalmente, los aportes de abono potásico van a disminuir el rendimiento si no se restituye al suelo el magnesio asimilable desaparecido haciendo aportes de abono magnesiado (o utilizando abono potásico que contenga magnesio).

El fenómeno es muy corriente en los cultivos de frutas y hortalizas. La carencia de magnesio aparece particularmente con rapidez en algunas tierras negras o *abonadas* (muck). Los cultivos de legumbres se hacen a menudo en estos suelos y, después de algunos años de aplicación de abono potásico, aparecen con frecuencia en las legumbres graves carencias de magnesio, que disminuyen el rendimiento.

Las carencias de magnesio causadas por los excesos de abonos potásicos se multiplican

Pero no nos hagamos ilusiones: en Europa, en todos los tipos de suelos, las carencias de magnesio de las cosechas, causadas por la acumulación de abonos potásicos utilizados en exceso, se han multiplicado en el transcurso de los últimos años. Se ve, pues, toda la importancia que tiene el respetar las enseñanzas de la ley

del máximo y de la ley de restitución de los elementos desaparecidos si se quiere evitar que los abonos potásicos causen en el futuro graves daños a los suelos, de donde resultan daños también para la planta, el animal y probablemente para el hombre.

Demasiado o muy poco abono potásico disminuyen el rendimiento

La importancia de la aplicación de la ley del máximo en el caso de los abonos potásicos es tan grande que me parece interesante ver un ejemplo concerniente a la limitación del rendimiento por el exceso de abono potásico debida a la desaparición del boro asimilable, fenómeno del cual hemos hablado anteriormente (tabla 4). El fenómeno es muy notorio en un suelo relativamente pobre en boro asimilable, como es el caso de una planta como la de soja, particularmente sensible a las carencias de boro. La experiencia de la figura 6 nos enseña que en este tipo de suelos los primeros aportes de abono potásico aumentan el rendimiento, es decir, la altura de las plantas. Después, cuando el rendimiento máximo es alcanzado, todo aporte suplementario de abono potásico disminuye el rendimiento y éste se vuelve extremadamente ínfimo.

En esta experiencia, el aporte de abono boratado al suelo restituye el boro desaparecido y permite atenuar grandemente el efecto desfavorable de un exceso de abono potásico.

La carencia de magnesio es también causada por la insuficiencia o el exceso de calcio

Está claro que existe interés en hacer abonados de calcio a los suelos ácidos, que abastecen los míseros rendimientos de la cosecha. Pero hemos visto igualmente (tabla 5) que el exceso de

calcio, que eleva grandemente el pH, hace desaparecer el manganeso asimilable. Nos encontramos, por consiguiente, en el caso del antagonismo indirecto del calcio y del manganeso y de una nueva aplicación de la ley del máximo en el abono cálcico.

Pero es preferible comentar un ejemplo aún más instructivo: el efecto que ejercen los aportes crecientes de calcio sobre las carencias de magnesio y, por consiguiente, sobre el rendimiento.

Es esto lo que vemos en la figura 7, donde hemos indicado con abscisas los pH del suelo, que se aumentan por los crecientes aportes de calcio.

Sobre un suelo ácido (en este caso pH=3,4) el ion de calcio neutraliza una parte de los iones de hidrógeno en exceso, los cuales son antagonistas de los iones de magnesio, de manera que la ley del mínimo entra en juego para el abono cálcico; de donde re-

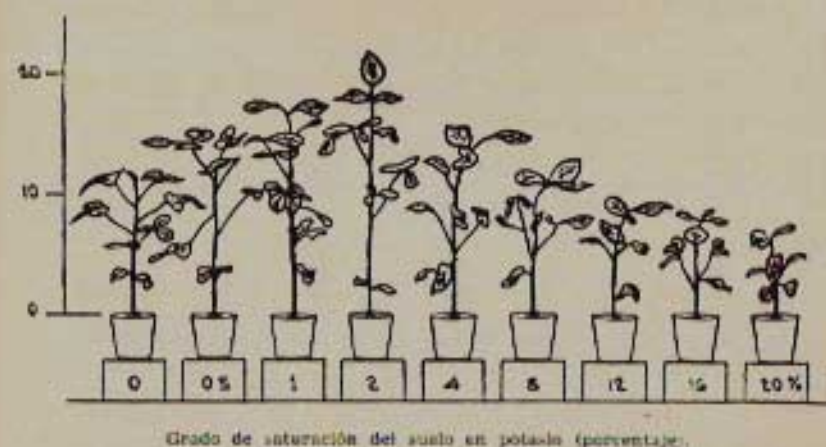


FIG. 6

El exceso de abono potásico, que hace desaparecer el boro asimilable, disminuye el rendimiento de la soja.

N. B.—Compárese con la tabla 4, que corresponde a la misma serie de experiencias. (Según WOODRUFF, *Better crops with plant food*, 44: 4, 1960).

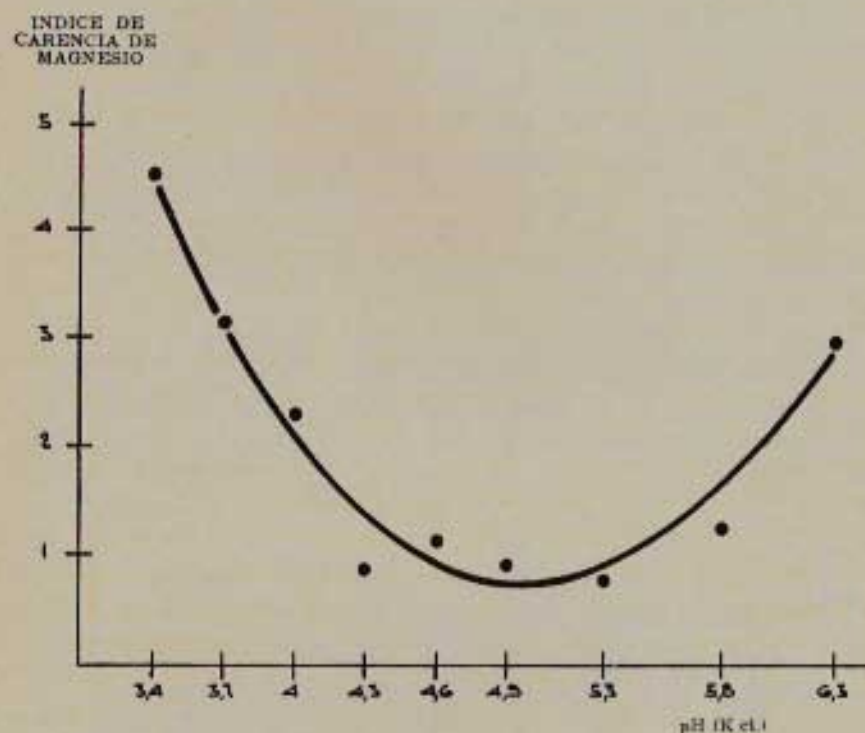


FIG. 7

Un exceso o déficit de calcio provocan carencias de magnesio.

N. B.—1) Se trata de avena cultivada en un suelo arenoso. 2) La carencia de magnesio, según un indicador, va de 0 a 5; el indicador 5 señala los síntomas de carencia en un 100 por 100 de las plantas. (Según STENOIT. *Landw. Forschung*. 13 Sendzerrerft: 23. 1959.)

sulta una reaparición del magnesio asimilable, una disminución de los síntomas de carencia de magnesio y un mejoramiento del rendimiento.

Por un aporte de calcio que corresponda a un pH de 4,9 en el suelo, se obtiene el mínimo de carencia de magnesio de la avena y al mismo tiempo el rendimiento máximo.

Pero si se insiste en aumentar el pH haciendo aportes aún más elevados de calcio, los iones de calcio, que son en algunas condiciones antagonistas de los iones de magnesio, van a hacer desaparecer igualmente el magnesio asimilable del suelo, como lo hacen los iones de hidrógeno en exceso.

Como consecuencia, por encima del pH-4,9 la ley del máximo entra en juego y este exceso de calcio aumentará los síntomas de carencia de magnesio de la avena y disminuirá su rendimiento.

Enseñanzas teóricas y prácticas

Desde el punto de vista teórico, este ejemplo nos ofrece una explicación satisfactoria de las consecuencias de la ley del máximo en el caso de la *insuficiencia* de iones de calcio, y de la ley del máximo en el caso de *exceso* de estos mismos iones.

Desde el punto de vista práctico, esta curva nos recuerda que, en el caso de un suelo que tiene un pH bastante elevado y es pobre en magnesio asimilable, no es necesario hacer aportes de magnesio en forma de yeso magnesiano, que aumentaría aún más el pH, sino utilizar magnesio calcinado o sulfato de magnesio.

Demasiado o poco daño

Espero que algunos de estos ejemplos logren convencerles de que la ley del mínimo, que desde hace un centenar de años desempeña un papel tan grande en la técnica de los abonos, no toma en consideración más que un solo aspecto de la cuestión y que

resulta indispensable completarla con mi nueva ley del máximo.

Esto es, por tanto, más indispensable por cuanto, como veremos más adelante, es imposible, sin la aplicación simultánea de estas dos leyes, comprender el efecto de estos abonos sobre la calidad biológica de las plantas.

Quisiera insistir sobre el hecho de que la ley del mínimo y la ley del máximo no representan más que dos aspectos opuestos de una misma cuestión. También estimo posible reunir las en una sola ley, que llamaré voluntariamente *ley del equilibrio de los elementos minerales del suelo*, y que enuncio de la manera siguiente:

La insuficiencia o exceso de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de otros elementos y, por consiguiente, disminuye el rendimiento de las cosechas.

De esta forma no expresamos más que la gran regla de oro de la naturaleza, que es la *ley del equilibrio*, y que se puede formular, en términos simples, diciendo que «demasiado o poco causan daño».

**La insuficiencia de un elemento
corresponde al mismo tiempo al exceso
de otro, e inversamente**

Esta ley del equilibrio de los elementos minerales del suelo, que une la ley del mínimo y la ley del máximo, traduce de una manera correcta el hecho de que no se trata de considerar los contenidos absolutos de elementos asimilables del suelo, sino sus *equilibrios*.

Efectivamente, la insuficiencia de un elemento indica al mismo tiempo el exceso de un elemento antagónico (o incluso varios).

Inversamente, el exceso de un elemento causa la insuficiencia de otro elemento (o de varios) que él antagoniza.

En otros términos, la ley del máximo aplicada a un elemento

pone simultáneamente en juego la ley del mínimo para otro elemento antagonizado por el primero.

Acabamos de ver, por ejemplo (tabla 7), que la ley del máximo se aplicaba en el caso de exceso de ácido fosfórico, que disminuye el rendimiento de los frutos agrios. Pero hemos agregado al mismo tiempo que este exceso de ácido fosfórico disminuía el rendimiento porque hacía desaparecer el cobre asimilable, causando así en los frutos agrios las carencias de cobre, elemento al cual se aplica en este caso la ley del mínimo.

Dicho de otro modo, la aplicación de la ley del máximo para el ácido fosfórico corresponde a la aplicación simultánea de la ley del mínimo para el cobre.

**Correlación de la ley del mínimo
y la ley del máximo con la ley de restitución
de los elementos asimilables desaparecidos**

Este último ejemplo nos permite al mismo tiempo volver a unir la ley del mínimo y la ley del máximo, que no son más que una en la ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos.

En efecto, acabamos de decir que el exceso de ácido fosfórico limita el rendimiento porque él hace desaparecer el cobre asimilable. Para remediar todo, o al menos parcialmente, debemos restituirlo por un aporte de abono cúprico, pues es conocida su eficacia (tabla 7).

En otras palabras, la restitución de cobre asimilable hace desaparecer:

- El exceso de ácido fosfórico por causa del cobre asimilable presente (ley del máximo).
- La insuficiencia de cobre asimilable por causa del ácido fosfórico presente (ley del mínimo).

**Todo desequilibrio del suelo
debe ser corregido**

Encontramos, por consiguiente, una correlación estrecha entre:

- a) Las dos antiguas leyes:
 - Ley de restitución de los elementos arrastrados.
 - Ley del mínimo.
- b) Mis dos nuevas leyes:
 - Ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos.
 - Ley del máximo.

A mi modo de ver se pueden resumir en una sola ley, que formularía como sigue:

Todo desequilibrio de los elementos minerales asimilables, que existan o aparezcan en el suelo, ya sea debido a su origen o como consecuencia de los arrastres por las cosechas o a causa de nuestros aportes de abono, así como por cualquier otra causa, debe ser corregido por los aportes necesarios de elementos fertilizantes, de manera que se restablezca el equilibrio óptimo de los elementos del suelo.

El problema que se plantea es el de saber cómo determinar este equilibrio óptimo del suelo. Estimo que la calidad biológica de lo producido, más que el rendimiento, debe ser nuestra primera guía, como vamos a ver examinando mi tercera ley.

CUARTA PARTE

LOS ABONOS Y LA CALIDAD BIOLÓGICA

Ley de la prioridad de la calidad biológica

Vamos ahora a examinar la tercera y última de las leyes, que es la más importante y difícil de aplicar. Se puede hacer una primera formulación de la manera siguiente:

La aplicación de los abonos debe permitir ante todo el mejoramiento de la calidad biológica de los alimentos y aumentar el rendimiento lo más posible sin disminuirla.

Esto significa que la aplicación de los abonos, aumentando el rendimiento, no debe jamás dañar la calidad biológica del producto, es decir, que el rendimiento no debe ser jamás obtenido a expensas de la calidad biológica. En términos simplificados daremos a esta ley el enunciado final que sigue a continuación:

Nuestras aplicaciones de abono deben tener como primera meta la de mejorar la calidad biológica, que tiene prioridad sobre el rendimiento.

Calidad biológica y metabolismo normal

Por consiguiente, definiremos la calidad biológica diciendo que:

La calidad biológica representa la suma de los factores individuales presentes en la planta que contribuyen al mantenimiento de un metabolismo normal del organismo vivo, animal u hombre, que consume esta planta.

El ensayo biológico real

La dificultad estriba en determinar el efecto de un alimento sobre el metabolismo. El método más cierto es el ensayo biológico real, que consiste en alimentar parcial o totalmente con la planta (o el producto alimenticio estudiado) a un individuo vivo.

Se trata de ensayos largos y onerosos. También, para hacer el experimento más fácil y menos costoso, se utilizan animales, tales como ratas, conejos de Indias, perros, etc., y se trata de sacar conclusiones en lo que respecta al crecimiento del animal, incluyendo al hombre.

Estos ensayos se vuelven aún más complicados y delicados cuando se trata de alimentar a los animales de laboratorio con los alimentos vegetales producidos por un suelo determinado, que haya recibido cantidades variables de diferentes abonos naturales. No es exagerado decir que los ensayos biológicos reales, no obstante tener una importancia fundamental, apenas han comenzado en el caso de los abonos, como tendremos ocasión de repetir más adelante.

El animal que pasta, considerado como animal de laboratorio

Se ha originado un gran interés para estudiar la influencia de los abonos sobre el metabolismo del animal. Se trata del animal que pasta, cuyo metabolismo está estrechamente ligado al suelo. Gracias a él se ha podido observar, por ejemplo, cómo un aporte abusivo de abono potásico, descomponiendo el metabolismo del magnesio, contribuía a desordenar el sistema neuro-muscular del animal, de donde resultaban las convulsiones de la tetania de la hierba. Gracias al organismo animal hemos aprendido que los suministros excesivos de abono natural, como calcio, alteran el

metabolismo del manganeso y, por consiguiente, las funciones de reproducción, lo que causa finalmente la esterilidad del animal.

Estudio de la influencia de los abonos sobre algunos factores separados que determinan la calidad biológica

Para estudiar de modo simplificado la acción de los abonos sobre la calidad biológica ha sido necesario separar analítica o experimentalmente los diferentes elementos que determinan la calidad biológica y que influyen sobre el metabolismo del individuo.

Así se ha estudiado la influencia de los abonos sobre el contenido de la planta, a saber:

- Elementos minerales.
- Elementos orgánicos principales: nitrógeno, hidratos de carbono, etc. (así como sobre su composición).
- Vitaminas.
- Hormonas.
- Enzimas, etcétera.

Es necesario recordar que el abono, el cual influye sobre el contenido de la planta en estos factores individuales, determina igualmente el valor alimenticio del producto *animal* para el hombre: una hierba pobre en caroteno no permitirá a la vaca más que producir leche pobre en vitamina A.

Tengamos en cuenta que el análisis químico nos ayuda a determinar estos factores individuales, de los cuales depende el valor biológico alimenticio de la planta, pero repetiremos una vez más que sólo el ensayo biológico permite precisar de una manera más concluyente la influencia de los abonos a través de estos factores individuales sobre el metabolismo del animal.

Orden y alteración del metabolismo

Desde el punto de vista alimenticio, una planta que tenga una calidad biológica conveniente debe suministrar al individuo vivo todos los elementos (calorías, proteínas, vitaminas, minerales, etc.) necesarios, los que componen las raciones de mantenimiento, de crecimiento o de producción. De este modo se trata de *mantener* la normalidad del metabolismo.

Pero es necesario, además, que los diferentes factores contribuyan a la calidad biológica, no pudiendo alterar el metabolismo del individuo vivo; es decir, que lleguen a dañar la salud. Ahora bien, los abonos ejercen una gran influencia sobre los elementos que componen la planta, y pueden así llegar a trastornar o, por el contrario, mejorar la salud del animal o del hombre que consume tal planta.

Calidad biológica y salud

Los factores componentes de la calidad biológica que pueden dañar la salud y que están bajo el estricto control de los abonos son, entre otros:

- El exceso de nitrato en la planta, que resulta de los grandes aportes de abonos nitrogenados, puede ser peligroso; veremos (por ejemplo, tabla 10) que grandes aportes de abonos nitrogenados hacen pasar el contenido en nitrógeno de la materia seca de las espinacas de 23 a 601 millonésimas (p. p. m.).
- Como hemos dicho, un desequilibrio de los elementos minerales en la planta, al igual que un gran contenido de potasio simultáneamente con un débil contenido de magnesio y sodio (véase cuadro 3), es una de las principales causas de la tetania de la hierba.

- Todo contenido insuficiente en un elemento mineral puede causar carencias graves: una hierba demasiado pobre en manganeso causa la esterilidad; ahora bien, como hemos señalado (tabla 5) y veremos de nuevo, el exceso de calcio causa una carencia de manganeso.
- La pobreza en vitaminas de las plantas favorece la aparición de hipovitaminosis, etc.

Los abonos y los anti-metabolitos de las plantas

En esta relación entre el valor biológico y la salud debemos igualmente considerar los anti-metabolitos contenidos en la planta (o los productos alimenticios animales). Ellos pueden actuar de una manera directa, ya sea inmediatamente, ya sea por efecto acumulativo lento.

Citaremos, por ejemplo, los factores anti-tiroideos, algunos glucósidos estrógenos, los glucósidos cianogenéticos (con presencia simultánea de una enzima hidrolizante), las saponinas, etc.

Sabemos que la falta de fosfato en el suelo conduce a algunas plantas, como el trébol subterráneo, a fabricar cantidades excesivas de isoflavona, un estrógeno fuertemente peligroso para el animal.

Los abonos nitrogenados pueden modificar el contenido de las coles en un factor anti-tiroideo, y es de recordar que este factor pasa a la leche de la vaca que consume una planta que lo contiene.

Veremos además otro aspecto muy particular de estos factores, que se podrían llamar protectores o pro-metabólicos. Como diremos más adelante (tabla 15), los abonos pueden modificar el contenido de ciertos factores que desempeñan un papel protector contra ciertas sustancias cancerígenas corrientes en el medio del hombre moderno.

Este aspecto particular de la calidad biológica ha sido citado; ahora vamos a estudiar la relación entre los abonos y algunos elementos constitutivos de la planta que determinan la calidad biológica alimenticia de la misma.

El rendimiento y la calidad biológica no varían grandemente de manera paralela

Nuestra tercera ley exige que las aplicaciones de abono, que aumentan el rendimiento de las plantas, no deterioren la calidad biológica de ésta, y si es posible la mejoren.

Esta nueva ley no tendría razón de ser si el rendimiento y la calidad biológica *variaran siempre paralelamente*, caso que desgraciadamente es muy raro. Cuando examinamos separadamente ciertos factores nutritivos que sabemos desempeñan un papel fundamental en la determinación de la calidad biológica, nos damos cuenta que el máximo del rendimiento coincide raramente con el máximo del contenido de la planta en este componente nutritivo. Dicho de otro modo, hay con frecuencia *disociación* del rendimiento y del valor biológico.

Para ilustrar esta *disociación* tomamos como ejemplo uno de los elementos nutritivos fundamentales de las plantas, la proteína.

Nitrógeno Kjeldahl, proteína bruta y aminoácidos

Recordemos que lo que nosotros llamamos *proteína bruta* es un artificio químico que se obtiene multiplicando el nitrógeno determinado por el método de análisis de Kjeldahl por el factor 6,25. Es esta proteína bruta la que sirve generalmente de base en los cálculos para la alimentación animal o humana.

El verdadero valor biológico de esta *fracción nitrogenada* o

proteína bruta de la planta está determinado de la manera más precisa por el ensayo biológico de alimentación con los animales. Pero estos ensayos son largos y onerosos. También, ahora que los métodos de análisis por cromatografía permiten analizar los aminoácidos, elementos constitutivos de la proteína, podemos calcular de manera bastante satisfactoria (aunque aproximada) el valor biológico de la fracción nitrogenada de la planta. En los dos ejemplos que vamos a dar ahora el valor biológico de la proteína bruta ha sido calculado a partir de ocho aminoácidos dosificados químicamente.

Rendimiento de la planta y valor biológico de su proteína bruta

Examinaremos la influencia de los aportes crecientes de abonos nitrogenados sobre el valor biológico de la proteína bruta de dos legumbres: la col blanca y las espinacas.

La tabla 9 muestra que un primer aporte de abono nitrogenado (30 Kg/Ha. de N), al aumentar el rendimiento de la col blanca, hace crecer ligeramente el valor biológico de la proteína bruta, haciéndolo pasar de 66 a 70.

Si se continúan haciendo grandes aportes de abonos nitrogenados el rendimiento no cesa de *aumentar* y es finalmente doblado (21,04 en lugar de 10,15), mientras que el valor biológico de la proteína no cesa de *decrecer*, bajando a 54 en lugar de a 70. En otras palabras, la ley del máximo entra entonces en juego por la relación del abono nitrogenado con el valor biológico de la proteína bruta.

Esto significa que el rendimiento máximo no coincide, de antemano, con el máximo del valor biológico de la proteína bruta.

Volvemos a encontrar el mismo fenómeno en las espinacas a las cuales se aplican grandes cantidades de abonos nitrogenados (tabla 10). Vemos que el rendimiento es más del doble (de 11,16

a 24,98) cuando se aplican 120 Kg/Ha. de nitrógeno (N); siendo entonces cuando el valor biológico desciende de 75 a 65, aunque el contenido en proteína bruta haya aumentado de 21,7 a 28,7.

Si se vuelven a aumentar los aportes de abonos nitrogenados, la ley del máximo entra en juego en vista de que el rendimiento decrece, pasando del máximo de 24,98 por 100 a 16,83 por 100 en el caso de una aplicación de 360 Kg/Ha. de nitrógeno (N).

Esta misma aplicación de abono nitrogenado continúa rebajando el valor biológico de la proteína bruta, que finalmente llega a 59, mientras que el contenido en proteína continúa creciendo y llega a alcanzar el 31,5 por 100.

Notemos que en los ejemplos que acabamos de examinar la disminución del valor biológico de la proteína es debida en gran parte a que los aportes crecientes de abono nitrogenado no cesan de rebajar el contenido de la proteína bruta en lisina, aminoácido esencial.

En el caso de las espinacas, igual que en el de la col blanca, el máximo de rendimiento tampoco coincide con el máximo del valor biológico de la fracción nitrogenada o proteína bruta.

El contenido en proteína bruta y el valor biológico de ésta no varían siempre de manera paralela

Nuestra ciencia agronómica ha creído, con demasiada frecuencia, tener en cuenta la calidad biológica, empleando artificios químicos que no corresponden más que de lejos, e incluso a menudo remotamente, a las realidades biológicas. Acabamos de decir que era el caso de esta supuesta proteína bruta, que felizmente tiene tendencia a ser abandonada, aunque no muy netamente.

Vemos en la tabla 9 que con un aporte de 30 Kg/Ha. de nitrógeno el contenido proteínico de la materia seca de la col

TABLA 9

EL RENDIMIENTO DE LA COL BLANCA NO CESA DE AUMENTAR CON LOS APORTES CRECIENTES DE ABONOS NITROGENADOS, PERO MÁS ALLÁ DE UN APORTE ÓPTIMO DE ABONO EL VALOR BIOLÓGICO DE LA PROTEÍNA BRUTA DECRECE

Aportes de abonos nitrogenados [Kg. Ha. de nitrógeno (N)]	Rendimientos (kilos por parcela)	Porcentaje de proteína bruta en la materia seca	Porcentaje de lisina en la proteína bruta	Valor biológico de la proteína bruta
0	10,19	17,2	4,4	66
30	15,95	14,9	5,2	70
120	17,23	15,9	5,3	60
240	18,25	16,9	4,0	61
360	21,04	18,4	3,0	54

N. B. El valor biológico de la proteína bruta estaba calculado con el indicador E. A. A. para ocho aminoácidos.
Según SCHUPHAN: *Qualitax plantarum*, 3-4: 45 (1958).

blanca era mínimo (14,9 por 100) cuando el valor biológico de esta proteína era máximo (70). Pero es el aporte de abono nitrogenado (360 Kg/Ha.), que suministra el más débil valor biológico de la proteína bruta (54), el que permite obtener la col blanca, cuya materia seca contiene el mayor porcentaje de proteína bruta.

Es decir, según los actuales métodos utilizados en los problemas de alimentación, se recomienda el aporte de abono nitrogenado que permita aumentar ligeramente el contenido de proteína bruta, y se comprueba con satisfacción que se dobla al mismo tiempo el rendimiento. Desgraciadamente no se tiene en cuenta el hecho de que el valor biológico de la proteína ha disminuido en un 18 por 100 (de 66 a 54).

La ley del mínimo y la ley del máximo aplicadas a la calidad biológica

La tabla 9 muestra que, exactamente como en el rendimiento, una insuficiencia o un exceso de nitrógeno limitan la calidad biológica de la proteína y que existe una cantidad *óptima* de abonos nitrogenados por la cual esta calidad biológica es máxima.

Encontraremos las mismas reglas estudiando la influencia de los abonos sobre el contenido en vitaminas de las plantas.

Las experiencias sobre este aspecto son, en apariencia, contradictorias.

Los resultados opuestos, que parecen en primer lugar inexplicables, se vuelven muy comprensibles cuando se aplica a la vez la ley del mínimo y la ley del máximo en la relación entre los

TABLA 10

LA CANTIDAD DE ABONO NITROGENADO QUE PERMITE EL MÁXIMO RENDIMIENTO DE LAS ESPINACAS, DISMINUYE GRANDEMENTE EL VALOR BIOLÓGICO DE LA PROTEÍNA

Aportes de abonos nitrogenados [Kg./Ha. de nitrógeno (N)]	Rendimientos (kilos por parcela)	En la materia seca		Porcentaje de lisina en la proteína bruta	Valor biológico de la proteína
		Nitrógeno (N) de nitrato (p. p. m.)	Proteína bruta (porcentaje)		
0	11,16	23	21,7	6,5	75
30	18,80	420	26,3	4,8	67
120	24,98	680	28,7	4,5	65
360	16,83	601	31,5	4,3	59

N. B. El valor biológico de la proteína bruta estaba calculado con el indicador E. A. A. para ocho aminoácidos.

Según SCHUPHAN: *Qualitäts pflanzarum*, 3-4: 45 (1958).

Miligramos de vitamina C por 100 gr. de materia seca de coles B.

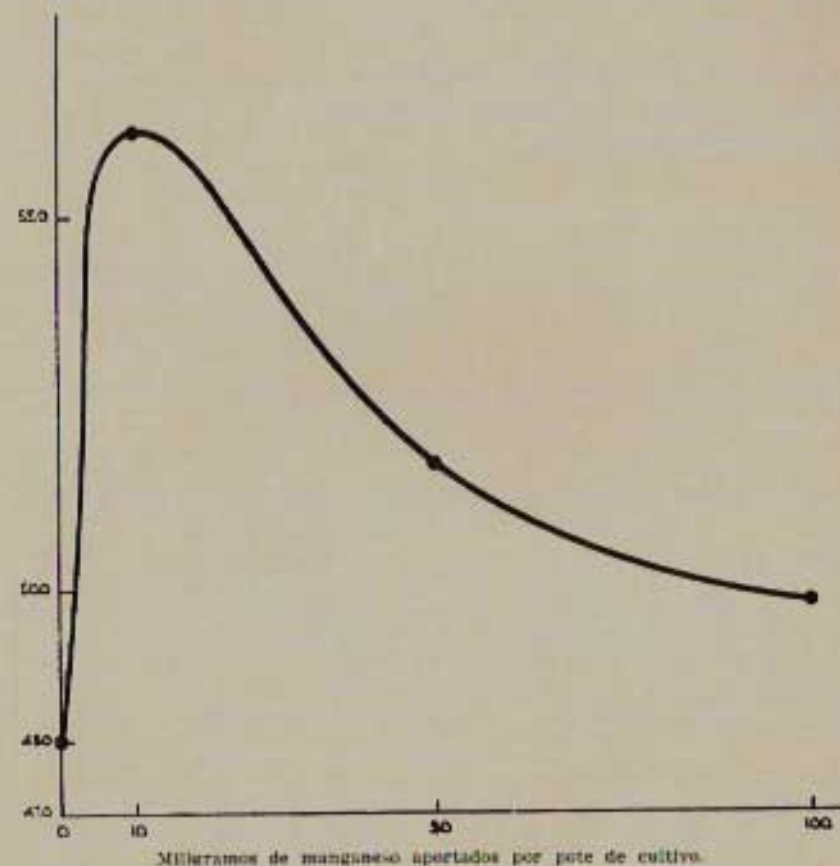


FIG. 8

Influencia de los aportes de manganeso sobre el contenido en vitamina C de las coles de Bruselas.

N. B.—Figura tomada de la tabla 11.

elementos fertilizantes del suelo y el contenido en vitaminas de las plantas. Exactamente, como en el caso del rendimiento, demasiado o muy poco elemento fertilizante dañan el contenido en vitaminas de la planta.

La ley del mínimo limita la síntesis de la vitamina C por la planta en función del manganeso del suelo

Los resultados concernientes a la influencia del manganeso sobre el contenido en vitamina C de la planta son de lo más contradictorio. Sin embargo, estas divergencias se explican fácilmente a la luz de las leyes del mínimo y del máximo.

Vemos en la tabla 11 y en la figura 8, tomada de la citada tabla 11, que el aporte de una pequeña cantidad de manganeso

TABLA 11

UN EXCESO O DÉFICIT DE MANGANESO DISMINUYEN EL CONTENIDO EN VITAMINA C DE LAS COLES DE BRUSELAS

Aporte de manganeso (miligramos por maceta)	Miligramos de vitamina C en 100 gramos de materia seca de col de Bruselas
0	480
10	556
50	517
100	497

N. B. 1) Se trataba de experiencias en macetas con arena de cuarzo, a las cuales han sido agregados los diversos abonos de suelos necesarios.
2) La figura 8 ha sido sacada de este cuadro.
Según SCHARFER: Z. F. Pflanzenern., 77: 97 (1957).

a un suelo disminuye el contenido en vitamina C de la materia seca de las coles de Bruselas. Esto significa que la planta, con una escasez de manganeso del suelo, no puede utilizar completamente sus facultades de síntesis de la vitamina C. La ley del mínimo entra entonces en juego, y en este caso puede explicarse de la forma que sigue:

La insuficiencia de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de otros elementos y, por consiguiente, limita la síntesis de la vitamina C por la planta.

La ley del máximo influye en la disminución de la síntesis de la vitamina C de la planta

Si se continúan aumentando los aportes de manganeso más allá de 10 miligramos por maceta, vemos que el contenido en vitamina C de la materia seca de las coles de Bruselas no cesa de disminuir hasta llegar casi al mismo valor que tenía cuando no se hacía ningún aporte.

En este caso, el exceso de manganeso disminuye la síntesis de la vitamina C por la planta. Es entonces cuando se aplica mi ley del máximo, que puede formularse de la manera que sigue:

El exceso de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de los otros elementos y, por consiguiente, disminuye la síntesis de la vitamina C por la planta.

En otros términos, la insuficiencia o exceso de manganeso asimilable del suelo limitan la síntesis de la vitamina C por la planta. Examinando la curva de la figura 8 se comprenden mejor los resultados contradictorios de los diferentes investigadores conforme al porcentaje de manganeso del suelo y las cantidades aplicadas del mismo.

La misma cantidad de manganeso, aportada a la misma planta sobre dos suelos diferentes, podrá aumentar o disminuir el con-

tenido en vitamina C de esta planta, según el suelo sea pobre o rico en dicho elemento.

Finalmente, en el caso en que los contenidos del suelo en manganeso correspondan a la parte contigua del punto máximo de la curva (fig. 8), será muy difícil encontrar los resultados significativos y, en tal caso, se llega a la conclusión de que el manganeso no ejerce ninguna influencia sobre el contenido en vitamina C de la planta.

Un exceso o un defecto de mineral en el suelo disminuye la cifra de caroteno de la planta

Veamos ahora la influencia de tres elementos fertilizantes (calcio, potasio y sodio) sobre la cantidad de caroteno de las plantas (tablas 12, 13 y 14).

Vemos que en estos tres casos el exceso o vestigios de elemento fertilizante disminuyen el nivel de caroteno de la planta, tanto si se trata de las partes verdes como de la raíz de la zanahoria.

Estos tres ejemplos nos enseñan, de manera evidente, el poder de utilidad que tienen nuestros abonos para aumentar la calidad biológica cuando se aplican bien. Pero igualmente estos mismos abonos, mal aplicados, pueden también disminuir la calidad biológica de nuestros alimentos.

El sodio ilustra la no correlación existente entre el rendimiento y la calidad biológica

Es interesante subrayar la notable influencia del sodio sobre el contenido en caroteno de las hojas de la remolacha azucarera. Mientras que el sodio desempeña un papel fundamental en

TABLA 12

APORTES INSUFICIENTES O EXCESIVOS DE CALCIO DISMINUYEN EL CONTENIDO EN CAROTENO DE LAS HOJAS DE REMOLACHA

Aportes de abono cálcico	Miligramos de caroteno en 100 gramos de materia seca de hojas de remolacha
Ca ₁	2,26
Ca ₂	3,45
Ca ₃	5,04
Ca ₄	3,11
Ca ₅	1,27

N. B. 1) Se trataba de experiencias en macetas.
 2) Los subíndices 1, 2, 3, 4 y 5 indican los crecientes aportes de abono con calcio, cuya naturaleza y las cantidades exactas no son precisas.
 3) Con cada aporte de abono cálcico se había hecho una aplicación idéntica de abono completo.
 4) Compárense las tablas 13 y 14, concernientes a la influencia de los diversos abonos sobre el contenido en caroteno de las plantas.
 Según SCHARRER: Z. F. Pflanzenern., 62: 244 (1953).

la fisiología animal, se admite —por lo general— que no ejerce más que una pequeña acción sobre el rendimiento de las plantas, salvo excepciones.

Ahora bien, vemos en la tabla 14 que el sodio puede hacer variar el contenido en caroteno de las hojas de remolacha en la proporción de uno a siete.

Dicho de otro modo, un elemento mineral que no ejerce más que una pequeña influencia sobre el rendimiento, efectúa una in-

fluencia colosal sobre la calidad biológica. Encontramos una vez más que el rendimiento y la calidad biológica pueden variar de distinto modo.

TABLA 13

POCA O ELEVADA CANTIDAD DE ABONOS POTÁSICOS DISMINUYEN EL CONTENIDO EN CAROTENO DE LA PLANTA

Aporte de abono potásico	Miligramos de caroteno en 10 gramos de materia seca		
	Lechuga	Vallico	Zanahoria
K ₀	1,46	—	—
K ₁	3,70	1,53	3,93
K ₂	4,46	2,03	4,84
K ₃	4,33	2,33	5,40
K ₄	4,20	2,09	4,33

N. B. 1) Se trataba de experiencias en macetas.
 2) Para cada uno de los aportes de potasio se ha hecho el mismo aporte de ácido fosfórico y de nitrógeno.
 3) Los subíndices 0, 1, 2, 3 y 4 expresan aportes crecientes de abonos potásicos.
 4) Las cifras de caroteno alcanzan las hojas de la lechuga, el vallico común (ray-grass) y las raíces de la zanahoria.
 5) Compárense las tablas 12 y 14, concernientes a la influencia de los diversos abonos sobre el contenido en caroteno de las plantas.
 Según SCHARRER: *Z. F. Pflanzenern.*, 62: 244 (1953).

TABLA 14

EL ABONO DE SODIO PUEDE AUMENTAR O DISMINUIR GRANDEMENTE EL CONTENIDO EN CAROTENO DE LAS HOJAS DE REMOLACHA

Aporte de abono	Miligramos de caroteno en 10 gramos de materia seca de hojas de remolacha azucarera
Na ₁	2,27
Na ₂	5,06
Na ₃	1,37
Na ₄	0,72
Na ₅	0,70

N. B. 1) Se trataba de experiencias en macetas.
 2) Los subíndices indican los aportes crecientes de abono de sodio, cuya naturaleza y cantidades exactas no se han precisado.
 3) Con cada aporte de abono sódico se ha hecho una aplicación idéntica de abono completo.
 4) Compárense las tablas 12 y 13, concernientes a la influencia de diversos abonos sobre el contenido en caroteno de las plantas.
 Según SCHARRER: *Z. F. Pflanzenern.*, 62: 244 (1953).

El abono nitrogenado puede aumentar o disminuir el contenido en riboflavina de la planta

Terminaremos este estudio de la influencia de los abonos sobre las vitaminas examinando la tabla 15, que muestra que una insuficiencia o un exceso de abono nitrogenado pueden disminuir el contenido en riboflavina (vitamina B₂) de la materia seca de las espinacas.

Vemos en efecto que un aporte equilibrado de abono nitrogenado puede triplicar el contenido en riboflavina. Pero cifras elevadas de abonos nitrogenados disminuyen igualmente este contenido.

TABLA 15

MUCHO O POCO ABONO NITROGENADO DISMINUYEN EL CONTENIDO EN RIBOFLAVINA (VITAMINA B₂) DE LAS ESPINACAS

Aporte de abonos nitrogenados [Kg./Ha. (N)]	Miligramos de riboflavina en 100 gramos de materia seca
0	0,60
30	0,98
60	1,49
90	1,95
150	1,83
210	1,51

N. B. 1) Se trataba de un suelo arenoso-calcáreo que tenía un pH de 7,1.
 2) El nitrógeno era aportado en forma de nitrato de amonio sobre base calcárea.
 3) Al mismo tiempo que cada aporte de abono nitrogenado fue aplicado:
 — 45 Kg./Ha. de P₂O₅, ácido fosfórico, bajo forma de superfosfato.
 — 80 Kg./Ha. de K₂O bajo forma de sal de potasio (no detallada).
 Según PFUTZER: *Landw. Forsch.*, 4: 105 (1952).

Diremos, de manera más general, que la cantidad de riboflavina de la planta puede ser controlada por nuestros aportes de abono.

La calidad biológica en correlación con un factor que protege contra otro cancerígeno

Esto es particularmente importante, puesto que se ha descubierto que la riboflavina es un poderoso factor protector de la alimentación contra ciertos «azoicos» cancerígenos, tales como el 4-dimetilamino-azobenceno, que hasta tiempos muy recientes eran usados en todos los países para colorear numerosos alimentos (mantequilla, por ejemplo).

Encontramos, pues, un nuevo aspecto de la influencia de los abonos sobre la calidad biológica: el abono puede disminuir o incrementar en la planta (e indirectamente en los alimentos de origen animal) un factor que protege contra las sustancias cancerígenas, las cuales, tengámoslo siempre en cuenta, no han cesado de multiplicarse en nuestro «habitat» en el transcurso de los últimos años.

Dos enseñanzas fundamentales de la relación entre el abono y la calidad biológica

El elemento mineral del suelo puede modificar el contenido en enzimas, aminoácidos, cuerpos orgánicos diversos así como factores antimetabólicos, del mismo modo que factores anti-tiroideos. Pero no hay por qué reseñar aquí estas tablas, pues los ejemplos que hemos ofrecido son suficientes para aportar las siguientes enseñanzas fundamentales:

- Los aportes de abono no siempre hacen variar paralelamente el rendimiento y la calidad biológica.
- La insuficiencia o el exceso de un elemento mineral en el suelo disminuyen la calidad biológica.

Estas son dos enseñanzas que fueron olvidadas en el pasado: no debemos olvidarlas en el futuro.

Abono mineral y suplemento mineral en la alimentación

A estas dos enseñanzas fundamentales se agrega otra de carácter práctico y suplementario:

Es preferible aportar el elemento mineral al suelo en lugar de administrarlo al animal bajo forma de suplemento mineral en la alimentación.

En efecto, cuando aportamos un elemento mineral como suplemento directo a un animal, le suministramos pura y simplemente este elemento mineral.

Cuando llevamos el mismo elemento mineral al suelo, aumentamos el contenido de la ración en este elemento mineral, puesto que la planta se va a enriquecer.

Nosotros, sin embargo, hacemos más: primero, este elemento mineral va a encontrarse bajo la forma de diversos complejos orgánicos; por ejemplo, fosfolípidos en el caso del ácido fosfórico o combinaciones en el caso del cobre.

Pero esto no es lo más importante, puesto que acabamos de ver que la materia mineral del suelo modifica profundamente la materia orgánica de la planta si se trata de los elementos constituyentes de la proteína: vitaminas, enzimas, factores antimetabólicos, factores protectores, etc.

Sodio en el suelo y en las bolas de sal

El ejemplo del sodio es particularmente elocuente: debido a la aplicación exagerada de abonos potásicos, nuestras raciones de sodio escasean cada vez más, de manera que los zootécnicos sensatamente recomiendan los suplementos de sal para los animales. Debido al aviso dado por los zootécnicos (lo que no es frecuente), en numerosas fincas las vacas no lamen los bloques, sino los devoran.

El aporte de abono sódico al suelo aumenta no solamente el contenido de sodio de la planta, sino que, como acabamos de ver (tabla 14), el sodio modifica el contenido en caroteno de la planta.

En otras palabras, el sodio aportado al suelo no sólo permitirá que se provea el animal, del mismo modo que de un bloque a lamer, de un suplemento de sodio, sino además le suministrará otros suplementos.

Efecto global de los abonos sobre la salud del animal

Hemos visto algunos de los efectos de los abonos sobre los factores individuales que contribuyen a la calidad biológica de la planta y, no hay que decirlo, por vía indirecta, a la calidad biológica de los productos de origen animal.

Comprendemos mejor que el abono, a través de estos factores individuales determinantes de la calidad biológica, pueda actuar profundamente sobre el metabolismo del organismo vivo.

Para convencer plenamente, ofreceré ahora un ejemplo que muestra cómo cada uno de los cuatro elementos fertilizantes clásicos (N, P, K, Ca) aportados al suelo, que modifican los equilibrios minerales y orgánicos de la planta, actúan sobre el metabolismo del animal.

Una aplicación juiciosa de abono fosfórico aumenta el peso del animal

Sobre un suelo pobre en ácido fosfórico asimilable, la aplicación al mismo de abono con P_2O_5 , en cantidad razonable, es uno de los mejores instrumentos para mejorar la salud del animal e incluso simplemente para elevar esta cualidad biológica intermedia: el aumento de peso.

Vemos, por ejemplo, en la tabla 17 que un forraje de soja que se cultivaba en un suelo pobre en ácido fosfórico asimilable tenía su calidad biológica considerablemente mejorada por la apli-

TABLA 17

INFLUENCIA DEL ABONO CON ÁCIDO FOSFÓRICO SOBRE EL AUMENTO DE PESO DE CONEJOS Y OVEJAS ALIMENTADOS CON FORRAJE DE SOJA

ANIMAL		Aumento de peso medio durante el período de las experiencias	
		Sin	Con
aplicación a la soja de abono con ácido fosfórico			
Ovino	Absoluto...	7.06 kilogramos	8.82 kilogramos
	Relativo ...	100	125
Conejo	Absoluto...	492 gramos	581 gramos
	Relativo ...	100	118

N. B. Ensayos hechos sobre un gran número de animales que se sometieron a una serie de experiencias en períodos de tiempo diferentes.

Según MATRONE (1954), conforme JÜRGENS: *Phosphorsäure*, 22: 134 (1962).

cación de ácido fosfórico al suelo. Esto daba como resultado un aumento en el peso de ovinos y de conejos de 25 y 18 por 100, respectivamente. Pero no hay que olvidar que un beneficio del 10 por 100 solamente es con frecuencia el máximo engorde conseguido en ovinos y vacunos.

El exceso de abono potásico, al alterar el metabolismo del magnesio, favorece la tetania de la hierba

Hemos visto (tabla 3) que el abono potásico modifica grandemente los equilibrios de la hierba y que ejerce también profundas modificaciones, buenas o malas, en la composición orgánica de la planta (véase tabla 13).

Como el exceso siempre es peligroso, el de abono potásico es una de las causas principales de una *enfermedad de civilización* del animal que se alimenta con ese pasto: la tetania de la hierba.

La tabla 18 nos muestra cómo grandes cantidades de abonos potásicos, como de costumbre, aumentan considerablemente el contenido en potasio de la hierba, disminuyendo el contenido en magnesio y, sobre todo, el contenido en sodio.

Sobre la hierba que haya recibido grandes o pequeñas cantidades de abonos potásicos se ponen a pastar dos tipos de vacas. El contenido en magnesio del suero sanguíneo no baja más que ligeramente en la hierba (A) que recibió pequeños aportes de abonos potásicos, y ninguna vaca sufrió tetania pratense.

Por el contrario, en la hierba (B) que recibió grandes aplicaciones de abonos potásicos, el contenido en magnesio del suero sanguíneo decayó, en el curso de los diez primeros días de pasto, de 2,40 mg/100 cm³ al valor catastrófico de 0,58 mg/100 cm³. Esta cifra es la consecuencia de un trastorno profundo del metabolismo del magnesio causado por el exceso de abono potásico. La consecuencia patológica fue que varias vacas, en esta hierba, fueron alcanzadas por la tetania de la hierba.

TABLA 18

EL EXCESO DE ABONO POTÁSICO HACE DECAER EL CONTENIDO EN MAGNESIO DEL SUERO SANGUÍNEO DE LAS VACAS QUE PACEN Y CONTRIBUYE DE ESTE MODO A LA APARICIÓN DE LA TETANIA DE LA HIERBA

Aportes de abonos potásicos en los pastos	Porcentaje en la materia seca de la hierba			Fecha		
				En el establo antes de salir al pasto 23-4-57	25-4-57	3-5-57
	Potasio (K)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Miligramos de magnesio en 100 cm ³ de suero sanguíneo para la mitad de las vacas		
A. Débil	2.33	0.16	0.13	2.52	2.38	2.18
B. Fuerte	3.59	0.13	0.07	2.40	1.74	0.58

N. B. Varias vacas fueron atacadas por la tetania de la hierba en los pastos B con grandes aportes de abonos potásicos, mientras que ninguna fue atacada en los pastos A con pequeños aportes de abonos potásicos.

Según KEMP: *Netherlands J. of Agriculture Science*, 6: 281 (1958), y 8: 281 (1960).

El metabolismo del manganeso del animal es trastornado por los aportes excesivos de calcio al suelo

Anteriormente hemos dicho (tabla 5) que el exceso de calcio en el suelo (es decir, un pH demasiado elevado) disminuye considerablemente el contenido en manganeso de las plantas; resultando que el animal que consuma plantas semejantes sufrirá una

alteración en el metabolismo del manganeso y una de las consecuencias de esto es la disminución de su fertilidad e incluso, con frecuencia, su esterilidad.

Hemos preparado las estadísticas que muestran la influencia de los aportes excesivos de calcio sobre la fertilidad de las vacas guiándonos por aquellas que se han sacado de los centros de inseminación artificial.

En la tabla 19 vemos que el 42,9 por 100 de los rebaños que tienen una tasa catastrófica de fertilidad inferior al 20 por 100 se encontraban en las fincas que habían recibido recientemente grandes aportes de calcio.

Por el contrario, el 48 por 100 de los rebaños que tenían una excelente tasa de fertilidad, superior al 80 por 100, se encontraban en las fincas que no habían recibido aporte alguno de calcio.

Los resultados de esta tabla 19 no deben ser interpretados más que aplicando a la calidad biológica tanto la ley del máximo como la ley del mínimo. Esto significa que no se sacará la conclusión errónea de que se favorece la fertilidad de las vacas no aportando calcio al suelo, incluso si éste es ácido. Nosotros repetimos simplemente: *Demasiado o escaso calcio son dañinos a la fertilidad del animal.*

El suelo «hace» al animal

Cada uno de estos ejemplos, con uno de los cuatro elementos clásicos de nuestros abonos, nos muestra claramente cómo aquéllos modifican los diversos factores que determinan la calidad biológica de la planta, influyendo sobre el metabolismo y la salud del animal. Quisiera, sobre todo, examinar estas observaciones a la luz de una vieja enseñanza.

En todos los países del mundo existe, desde siempre, un viejo adagio campesino que dice: «El suelo hace al animal.»

Esto ha sido confirmado por la experiencia empírica del cam-

TABLA 19

LOS APORTES EXCESIVOS DE CALCIO AL SUELO DISMINUYEN
LA FERTILIDAD DE LAS VACAS

Tasa de concepción media de las vacas en un rebaño	Aportes recientes de calcio en las fincas		
	Muy elevados	Medianos	Nulos
	Porcentaje de los rebaños que tienen la tasa de concepción de la columna izquierda y que se encuentran en las fincas cuyos suelos han tenido los aportes de calcio indicados arriba		
Inferior a 20 %	42.9	47.6	9.5
Superior a 80 %	8.0	44.0	48.0

Según HIGNETT: *Veterinary Record*, 62: 654 (1950).

pesino y por la experimentación científica de los investigadores. Vemos, por ejemplo, en la figura 9, en la parte izquierda, dos conejos alimentados con lespedeza (alfalfa de Corea) producida por dos suelos diferentes, Clarksville y Grundy, que no habían recibido ningún abono. Se ve el aspecto miserable y enfermo del conejo que recibió la lespedeza del suelo Clarksville, mientras que el conejo alimentado con la lespedeza del suelo Grundy es vigoroso y sano.

Se ve en la parte izquierda de la tabla (se encuentran en la parte inferior de la figura) que los conejos alimentados con lespedeza del suelo Clarksville tienen un peso medio de 419 gramos, mientras que los conejos Grundy tienen un peso medio de 637 gramos, netamente más elevado.

La parte izquierda de esta figura ilustra claramente el viejo

A) DIFERENTES ASPECTOS DE LOS CONEJOS

SIN ABONO

CON ABONO



B) DISTINTOS PESOS DE LOS CONEJOS

SUELO	Peso (en grs.) de los conejos alimentados con la lespedeza puesta en el suelo	
	Sin abono	Con abono
Clarksville... ..	419	616
Grundy... ..	637	593

FIG. 9

El suelo y el abono hacen al animal.

N. B.—1) Los conejos fueron alimentados con lespedeza (alfalfa de Corea) producida en estos suelos, sin abono y habiendo recibido la misma cantidad de abono. 2) Los aumentos de peso representan el promedio para varios conejos. (Según ALSBRECHT, *Commercial Fertilizer*, septiembre 1952.)

proverbio campesino: los dos suelos, Clarksville y Grundy, hacen que los conejos sean distintos.

El abono «hace» al animal

La segunda parte de esta experiencia nos enseña que, en el estado actual de evolución de la química agrícola, es de una importancia aún más grande.

En la parte derecha de la figura 9 vemos los conejos alimentados con lespedeza de los dos mismos suelos, pero que han recibido la misma cantidad de abono (con magnesio y oligoelementos).

El aporte de abono al suelo Clarksville permitió, en lugar de un conejo con pelo raído, obtener un conejo espléndido, que tenía como peso medio 616 gramos, en lugar de 419 gramos, que era su peso cuando consumía la lespedeza producto de este suelo que no recibía abono.

Por el contrario, el aporte de esta misma cantidad de abono al suelo Grundy disminuyó la calidad biológica de la lespedeza suministrada al conejo y éste era menos vigoroso y tenía un aumento de peso menor (593 gramos contra 637 gramos).

Comparando la parte derecha de la figura con la parte izquierda, vemos una verdad demasiado descuidada y a menudo negada: «El abono hace al animal.»

El suelo y el abono «hacen» al animal

Agrupando las dos enseñanzas de esta experiencia de Albrecht llegamos a la conclusión de un nuevo enunciado del viejo proverbio: «El suelo y el abono hacen al animal.»

De este modo no expresamos más que una misma idea, ya que el abono que nosotros aportamos al suelo modifica los equi-

librios de éste. Nadie se atreve a negar que el suelo hace al animal; ahora bien, hay que admitir que nuestros abonos, que cambian profundamente los equilibrios minerales del suelo, ejercen una influencia sobre el animal; de lo contrario, no afirmaríamos que el suelo hace al animal.

Esperamos que en el futuro no será olvidado que el abono también hace al animal. Diremos incluso ulteriormente que es necesario ir más lejos y decir: «El suelo y el abono hacen al animal y al hombre.»

Pero antes de examinar este aserto de nuestras conclusiones y la nueva orientación a dar por la química agrícola, debemos dar una ojeada retrospectiva sobre las cinco leyes y seguidamente ver sus posibilidades de adaptación práctica.

QUINTA PARTE

UNIDAD DE LAS CINCO LEYES

**Recuerdo de dos leyes antiguas
y de tres nuevas leyes**

Estamos ahora en posesión de las cinco leyes científicas de aplicación de los abonos:

- Las dos antiguas.
- Las tres nuevas.

Por consiguiente, creemos indispensable recordar:

1. (Antigua) ley de restitución de los elementos exportados.
Es indispensable restituirle al suelo, para que no se desgaste, todos los elementos fertilizantes que las cosechas le quitan.
2. (Nueva) ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos.
Es indispensable devolver al suelo, para que no se arruine, los elementos asimilables que desaparecen por la aplicación de los cuatro abonos corrientes (N, P, K, Ca).
3. (Antigua) ley del mínimo.
La insuficiencia de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de los otros elementos y, por consiguiente, disminuye el rendimiento de las cosechas.

4. (Nueva) ley del máximo.

El exceso de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de los otros elementos y, por consiguiente, disminuye el rendimiento de las cosechas.

5. (Nueva) ley de la prioridad de la calidad biológica.

Nuestras aplicaciones de abono deben tener por primera meta mejorar la calidad biológica, que tiene prioridad sobre el rendimiento.

Enunciado de las cuatro primeras leyes

Hemos visto anteriormente que:

- a) Las dos leyes de restitución pueden condensarse en una sola, que se enuncia como sigue:

Es indispensable, para mantener la fertilidad del suelo, restituirle no solamente los elementos asimilables llevados por las cosechas, sino igualmente los elementos asimilables que desaparecen a continuación de nuestras aplicaciones de abono.

- b) Las dos leyes del mínimo y del máximo se funden en una sola ley, que tiene la siguiente enunciación:

La insuficiencia o el exceso de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de los otros elementos y, por consiguiente, disminuye el rendimiento de las cosechas.

- c) Las cuatro primeras leyes pueden combinarse en una sola, a saber:

Todo desequilibrio de los elementos minerales asimilables que existen o aparecen en el suelo, ya sea debido a su origen, como consecuencia de las "exportaciones" por las cosechas o como respuesta a nuestros aportes de abono, o por otra causa cualquiera, debe ser corregido por los aportes requeri-

dos de elementos fertilizantes, de manera que se restablezca el equilibrio óptimo de los elementos del suelo.

Cuando hemos enunciado esta ley que une las cuatro primeras, hemos dicho que nos quedaba por definir el equilibrio óptimo de los elementos del suelo. Estamos ahora en condiciones de medir la función de la calidad biológica.

Ley de la corrección de los desequilibrios del suelo

Llegamos a una sola y única ley que engloba las otras cinco. Su redacción es la de la ley c), donde definíamos el equilibrio óptimo de los elementos del suelo en función de la calidad biológica.

Yo llamo a esta ley *ley de corrección de los desequilibrios del suelo*, y la enuncio como sigue:

Todo desequilibrio de los elementos minerales asimilables, que existen o aparecen en el suelo, ya sea debido a su origen, como consecuencia de las "exportaciones" por las cosechas o como respuesta a nuestros aportes de abono, o por otra causa cualquiera, debe ser corregido por los aportes requeridos de elementos fertilizantes, de manera que se restablezca el equilibrio óptimo de los elementos del suelo, que permite obtener una alta calidad biológica de la planta, hallándose el más alto rendimiento compatible con esta alta calidad biológica.

La expresión *equilibrio óptimo* de los elementos del suelo exige implícitamente que:

- Todo elemento desaparecido debe ser reemplazado.
- Todo exceso o insuficiencia de un elemento debe ser corregido.

Podemos resumir la redacción de esta ley única diciendo:

Debemos corregir con los aportes de abono todo desequilibrio mineral del suelo de manera que se obtenga una planta de alta calidad biológica, hallando el más alto rendimiento compatible con esta alta calidad biológica.

SEXTA PARTE

POSIBILIDADES DE APLICACION PRACTICA DE LAS NUEVAS LEYES CIENTIFICAS DE LOS ABONOS

Teoría y práctica

Hemos terminado de examinar las tres nuevas leyes de aplicación de los abonos desde el simple punto de vista científico y técnico. No obstante, no hemos examinado aún una cuestión muy grave: ¿En qué medida atinaríamos nosotros en el futuro en la aplicación de estas nuevas «leyes de los abonos» y qué orientación es aconsejable dar a la química para alcanzar este resultado?

No debemos ser soñadores y hacer leyes perfectas desde el punto de vista científico, pero inaplicables desde el punto de vista práctico. Obraríamos así como un Platón, que imaginaba las leyes de una república perfecta, pero igualmente imaginaria, por el hecho de que estas leyes negaran un factor práctico fundamental que se llama la «naturaleza humana».

Por extraordinario que esto pueda parecer, este mismo factor, la naturaleza humana, juega un papel determinante en la adaptación práctica de nuestras tres nuevas leyes científicas de los abonos.

«La misión de la química agrícola es elevar los rendimientos»

Veamos primeramente cuál es la concepción de la química agrícola.

Uno de los fundadores franceses de la química agrícola, De-

herain, escribía, hace ochenta años: «La química agrícola no es una ciencia desinteresada. Ella se aplica para hacer el cultivo fructífero.»

Hace una treintena de años, un escritor francés, en su libro sobre los abonos, citaba una frase de Deherain y la acentuaba diciendo: «La misión de la química agrícola es "elevar los rendimientos" desarrollando al máximo los beneficios.»

Tal es la concepción mercantil que ha gobernado y gobierna aún la aplicación de los abonos: éstos deben aumentar los rendimientos de manera que permitan el máximo de beneficios.

Esta concepción responde a los deseos legítimos de la agricultura, a la cual no se le puede pedir que se interese en la calidad biológica de sus productos, es decir, en la salud de sus conciudadanos, ya que no lo hacen los poderes políticos. En efecto, en todos los países del mundo, la primera exigencia de los dirigentes políticos a los agricultores es clara y simple y se expresa en estas palabras: «Suministradnos productos agrícolas al más bajo precio posible.»

Tales son las exigencias de la naturaleza humana, individual o colectiva, la cual debemos tener en cuenta en la aplicación práctica de las nuevas leyes científicas de los abonos.

Las dos primeras nuevas leyes aumentan el rendimiento

Felizmente las dos «primeras nuevas» leyes:

- ley de restitución de los elementos desaparecidos,
- ley del máximo,

contribuyen fuertemente al «aumento» de los rendimientos.

Mejor, ellas remedian las bajas de rendimiento que causa la

aplicación de los abonos, cuando sólo se tiene en cuenta las dos leyes antiguas:

- ley de restitución de los elementos exportados,
- ley del mínimo.

El agricultor aplicará, por consiguiente, fácilmente estas dos nuevas leyes, con la condición de que se las hagamos conocer. Tomaremos dos ejemplos correspondientes a las cuestiones ya evocadas en los presentes cursos.

La restitución del magnesio, que ha hecho desaparecer el abono potásico, aumenta el rendimiento

El agricultor, productor de frutos y legumbres, escuchará con gusto al consejero agrícola que le dice (evidentemente en términos más simples):

«Vuestros manzanales y otros cultivos dan malos rendimientos porque usted ha aplicado cantidades excesivas de abonos potásicos, que han hecho desaparecer la mayor parte del magnesio asimilable de vuestro suelo. Para obtener de nuevo muchos rendimientos se debe restituir al suelo este magnesio que usted ha hecho desaparecer.»

La aplicación de abonos de magnesio causa, en tales casos, aumentos de rendimientos no sólo visibles, sino algunas veces espectaculares. También el agricultor empleará fácilmente el abono de magnesio, aplicando así la nueva ley de restitución de los elementos desaparecidos.

La ley del máximo limita las aplicaciones excesivas de calcio

Será igualmente fácil al consejero agrícola hacer aplicar la nueva ley del máximo en el caso de los aportes de calcio. Para un agricultor que haya aplicado demasiadas cantidades de calcio explicará (siempre en términos más simples):

«Sus rendimientos en avena son catastróficos porque el exceso de calcio en su suelo limita el rendimiento; pues usted ha creado de esta forma una carencia en manganeso que causa en su avena la *enfermedad de la mácula gris*.»

Del resto él le dará la prueba recomendándole pulverizar con manganeso sobre esta avena, lo que causará un mejoramiento considerable de su rendimiento.

También se puede estar seguro que después de esta demostración el agricultor, en el futuro, observará la ley del máximo cuando haga las aplicaciones de calcio.

La calidad biológica de los alimentos del hombre no presenta un marcado carácter comercial

También sólo podemos ser optimistas en cuanto a las posibilidades de aplicación práctica de las dos primeras nuevas leyes de los abonos. Por el contrario, como vamos a ver, tropezamos con muy grandes obstáculos para la aplicación de la *última nueva ley*, concerniente a la prioridad de la calidad biológica.

Si examinamos la influencia del abono sobre la calidad biológica únicamente en lo que concierne a su relación con la salud del hombre, o más exactamente en lo referente a sus efectos sobre el metabolismo, no hay que dudar que tendremos dificultad en obtener que la calidad biológica tenga la prioridad sobre el rendimiento.

Dos obstáculos se yerguen ante nosotros:

— La salud del hombre no presenta un carácter comercial, aunque hoy casi todos los gastos médicos estén a cargo de las comunidades y del Estado.

— Es difícil, salvo casos particulares, ver la influencia de la aplicación errónea de un abono sobre la salud del hombre.

La influencia de los abonos sobre la calidad biológica toma una enorme importancia en el caso de los animales alimentados por los productos de la finca

La situación cambia cuando se trata del efecto de los abonos sobre la calidad biológica de los productos destinados al animal, a condición de que ellos sean destinados a la alimentación de los animales de la finca misma donde estos productos son cultivados, y no a los animales de otra finca. Si un agricultor produce maíz que es vendido completamente para alimentar cerdos de otras fincas, el efecto de los abonos sobre la calidad biológica de su maíz le es tan indiferente como en el caso de los productos destinados a nutrir al hombre.

Pero en el caso en que los animales sean alimentados ante todo con alimentos producidos en la propia finca, la cuestión del valor biológico (y de sus variaciones por el hecho de los aportes de abono) toma una enorme importancia para el agricultor. En efecto:

— El animal tiene un valor comercial.

— El agricultor ve rápidamente el efecto de las aplicaciones erróneas de abonos sobre la salud de sus animales.

Vamos a ver la aplicación de nuestra tercera ley de la prioridad de la calidad biológica en el caso de un animal particular de finca, el animal que pasta.

**La calidad biológica de la hierba,
mucho más que su rendimiento,
hace el cultivo fructífero**

Nosotros hemos dicho ya que el animal que pasta es un animal de laboratorio de primer orden, que admirablemente nos hace ver la influencia de los abonos sobre la calidad biológica de la hierba y, por ahí, sobre la salud del animal.

Pero el animal que pasta, además, nos ha hecho ver de manera sorprendente la importancia de nuestra nueva tercera ley: él nos ha mostrado que la calidad biológica de la hierba debía tener la prioridad, y de lejos, sobre el rendimiento de la hierba.

No es la cantidad de hierba producida en la hectárea la que determina el beneficio del agricultor, sino la cantidad de carne, de leche o de lana que permite producir esta hierba. Luego la producción de carne, de leche y de lana es estrictamente función de la calidad biológica de la hierba. Además, esta calidad biológica de la hierba va a obrar profundamente sobre la salud del animal que pasta. Ahora bien, esta buena salud es el factor económico de producción de carne, leche y lana.

Tomando de nuevo la expresión de Deherain, citada más arriba, nosotros diríamos:

«La calidad biológica de la hierba, mucho más que su rendimiento, hace el cultivo fructífero.»

Esta negligencia de la prioridad de la calidad biológica, en el caso de la aplicación de los abonos a los pastos, ha tenido consecuencias desfavorables para los abonos. Los agricultores europeos

que han tenido dificultades con la salud de los animales después de las aplicaciones erróneas de abonos sobre los pastos son remisos a utilizar abonos sobre sus pastos. Se estima que actualmente no hay un diez por ciento de los pastos franceses que reciban nitrógeno.

En el caso de los pastos, la prioridad de la calidad biológica tiene, por consiguiente, un valor comercial muy neto.

**Fácil aplicación de las tres
nuevas leyes a los pastos**

En numerosas fincas se han doblado y triplicado los rendimientos de la hierba aplicando grandes cantidades de abonos nitrogenados y potásicos. Pero, al mismo tiempo, la producción de leche y de carne ha decaído porque los animales de pastos eran atacados por múltiples enfermedades, las más corrientes: diarrea, esterilidad, tetania de la hierba, deformaciones óseas, distrofia muscular, ataxia, etc.

La situación en tales fincas sólo puede ser rectificada dando la prioridad a la calidad biológica de la hierba, como exige la tercera ley, y aplicando cuidadosamente mis otras nuevas leyes:

- Ley de restitución de los elementos «desaparecidos».
- Ley del máximo.

Por ejemplo, si los excesos de abonos nitrogenados han hecho desaparecer el cobre asimilable (tabla 1 y figura 3), será necesario restituir el cobre en los pastos por aporte de abono cúprico. Igualmente se aconsejará al agricultor llevar abonos magnésicos para restituir el magnesio asimilable que ha hecho desaparecer el abono potásico.

Asimismo será necesario indicar al agricultor que tenga en cuenta la ley del máximo y no hacer aportes exagerados de cal,

pues su exceso va a causar esterilidades en los animales debido a las carencias de manganeso (tabla 19).

Las calidades biológicas intermediarias

A primera vista, uno parece encontrarse en presencia de dos posiciones diferentes en lo que concierne a la influencia de los abonos sobre la calidad biológica:

a) *Facilidad* de dar la prioridad a la calidad biológica en el caso de los alimentos producidos por los animales de la misma finca.

b) *Dificultad* de dar esta prioridad a la calidad biológica en el caso de los alimentos destinados al hombre o a los animales situados en otras fincas.

No obstante la situación, en el segundo caso, está lejos de no tener esperanza, pues hay calidades biológicas *intermediarias* que, indirectamente, van a ayudarnos a mejorar la *verdadera* calidad biológica de los alimentos destinados al hombre o a los animales.

Hemos dicho que el término *calidad biológica* debe ser comprendido en su sentido más amplio y que engloba las calidades diversas e *intermediarias*, tales como: gusto, aspecto, buena conservación, resistencia a condiciones atmosféricas adversas (frío, lluvia, sequedad, etc.), a insectos, a bacterias, a virus, etc.

Ahora bien, se sabe que los abonos mal aplicados reducen a veces estas calidades biológicas *intermediarias*, al mismo tiempo que disminuyen la calidad biológica *alimenticia*.

Las carencias de cobre producen graves consecuencias en el animal

Hemos visto (tablas 1 y 7) que los abonos nitrogenados y los fosfóricos tenían tendencia a causar carencias de cobre. Estas, como ya lo hemos mencionado, tienen consecuencias muy graves sobre

la salud de los animales: esterilidad, ataxia enzoótica, fracturas óseas, etc. Las carencias de cobre en los animales se han multiplicado en el transcurso de los últimos años. Si nosotros no poseemos aún muchos elementos concernientes a los efectos de estas carencias de cobre sobre la salud del hombre, no se duda que, como en casos análogos, las alteraciones metabólicas observadas en los animales se producen en el hombre. Además, mi convicción personal es que el trastorno del metabolismo del cobre es una de las causas del cáncer.

Comprendemos, pues, toda la importancia de evitar que nuestras aplicaciones de abonos causen desequilibrios del metabolismo del cobre.

Una planta sin síntomas patológicos de carencia de cobre puede ser nociva para el animal

Las carencias de cobre causan en la planta una enfermedad llamada *enfermedad de los puntos blancos*, pero parece (véase, por ejemplo, la nota de la tabla 7, para los agrios) que lo más frecuente es que estos síntomas patológicos de la planta no aparecen más que cuando la cantidad de cobre de la materia seca es inferior a 4 millonésimas (p. p. m.).

Luego, los síntomas de carencia en el animal que consume determinada planta parecen surgir más a menudo cuando el nivel de cobre de la materia seca de esta planta desciende por bajo de 8 millonésimas (p. p. m.). Se ha observado también ataxia enzoótica en carneros que ingirieron hierba que contenía, en la materia seca, 12 millonésimas (p. p. m.) de cobre, pero que, al mismo tiempo, era muy rica en molibdeno y en sulfato.

Pero, en todos los casos, la hierba que causa estos graves trastornos del metabolismo del cobre en el animal no presenta, en la mayoría de los casos, ningún síntoma de carencia de cobre.

Es probable que sea lo mismo para las demás plantas y que no aparezca ninguna disminución de su rendimiento, mientras que su calidad biológica verdadera se encuentra gravemente disminuida.

El cobre influye sobre dos propiedades biológicas intermediarias

Parecerá, por consiguiente, que nos encontramos frente a un caso típico donde el contenido en cobre de la planta es tal que daña gravemente la salud del animal (y probablemente la del hombre) mientras que el rendimiento de esta planta no es afectado. Excepto para los animales de la finca, hay esperanza de que se pueda en esta cuestión del cobre darle prioridad a la calidad biológica sobre el rendimiento.

Una ligera carencia de cobre se hace sentir felizmente sobre dos calidades biológicas intermediarias que tienen un carácter comercial, a saber:

- Buena conservación.
- Resistencia a las condiciones atmosféricas adversas.

El cobre y la fragilidad de la «tela» de la cebolla

En los suelos carentes de cobre asimilable, ya sea de modo natural (suelos abonados), ya sea debido a los aportes exagerados de abonos nitrogenados y de superfosfatos, la «tela» de la cebolla es extremadamente frágil e impide no sólo su buena conservación, sino toda manipulación, en particular la selección mecánica. Es, por ejemplo, lo que se produce en algunas tierras negras de los alrededores de Montreal, que son bastante pobres en cobre asimi-

lable. Después de algunos años de aplicación de abonos nitrogenados y fosfóricos, las cebollas tienen una «tela» muy quebradiza y un color pálido que le hacen perder todo valor comercial.

Es necesario aplicar la nueva ley de restitución de los alimentos asimilables desaparecidos, es decir, de hacer aportes de abonos cúpricos para que las cebollas tengan una «tela» sólida, de un bello color rojo anaranjado.

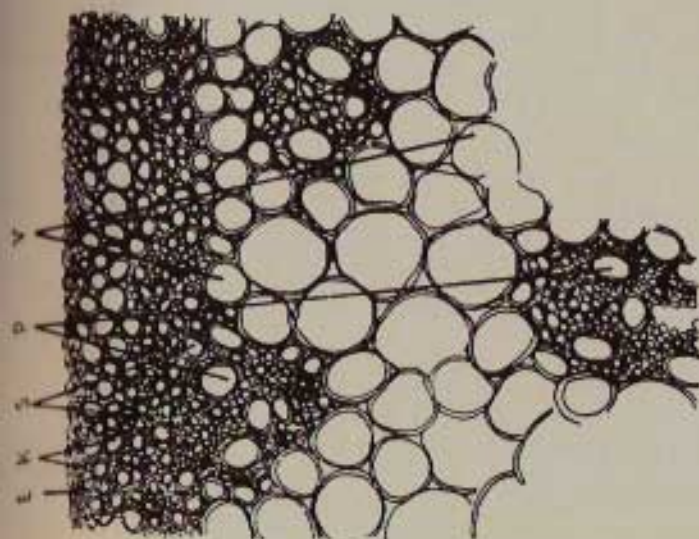
El agricultor, sin preocuparse del valor biológico alimenticio, puede obtener una mejor conservación de la cebolla restituyendo a su suelo el cobre asimilable desaparecido.

La aplicación del abono cúprico con la del nitrogenado modifica la estructura celular del tallo de la avena

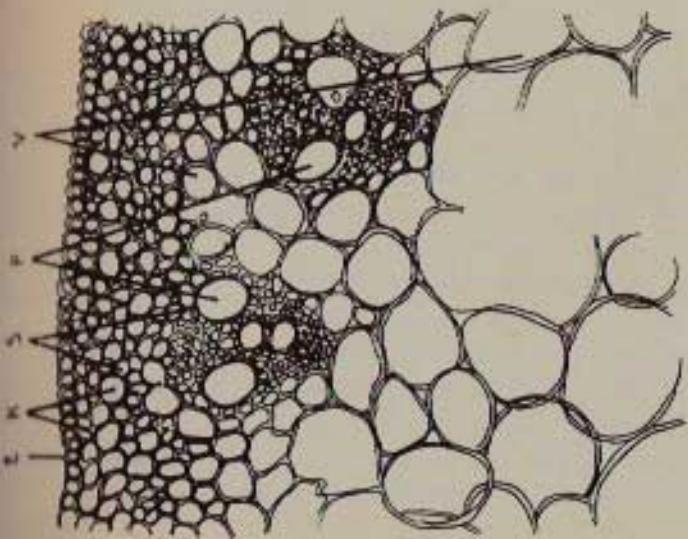
El abono nitrogenado tiene tendencia al encamado de los cereales, lo que causa algunas veces pérdidas enormes al agricultor en el caso de estaciones húmedas. Por temor a esta alteración, el agricultor limita las aplicaciones de abono nitrogenado a sus cereales, lo cual es el instrumento más eficaz de aumentar el rendimiento en grano de estos cereales. El encamado, desde el punto de vista del rendimiento, representa una doble pérdida para el agricultor.

Los investigadores soviéticos han abierto una nueva vía que permite comprender el efecto de los abonos nitrogenados en el encamado y encontrar así los métodos para impedirlo. Parece que el abono nitrogenado, en éste y otros casos, hace desaparecer el cobre asimilable, lo que favorece el encamado.

Vemos en la tabla 20 que el abono nitrogenado [45 Kg/Ha. de nitrógeno (N)] disminuye el grosor del parénquima de la corteza y del anillo del esclerénquima que reduce así la dureza del tallo. Pero la aplicación de abono cúprico (25 Kg/Ha. de sulfato de cobre), al mismo tiempo que el abono nitrogenado, permite



ABONO NITROGENADO CON COBRE



ABONO NITROGENADO, SOLO

FIG. 10

Influencia de la aplicación de abono cúprico en la estructura celular del espacio internodal de la avena.

N. B.—1) Se trata del examen microscópico de un corte del tercer espacio internodal del tallo de la avena en período de crecimiento. 2) Letras: E = epidermis; K = parénquima de la corteza; S = anillo esclerenquimatoso; P = abertura de los vasos; V = parénquima interno. 3) Para los detalles experimentales, véase la tabla 20, concerniente a la misma experiencia. (Según POLUKHINA, Izv. Timir. Sol'skikh Akad. 1: 205, 1961.)

aumentar considerablemente estos dos grosores, que incluso duplican a aquellos que tenían antes de la aplicación del abono nitrogenado. Por ejemplo, el espesor del anillo esclerenquimatoso, que estaba reducido de 1,59 a 0,61 micrones por el aporte de abonos nitrogenados, aumenta debido al aporte simultáneo de abono cúprico con abono nitrogenado y pasa a 3,49 micrones, es decir, más del doble del valor inicial antes de la aplicación del abono nitrogenado.

El examen microscópico de un corte del tercer internudo muestra claramente el efecto de la aplicación de abono cúprico en la estructura celular: véase (figura 10) que debido al aporte de abono cúprico la célula del parénquima de la corteza primaria y del anillo del esclerenquima tienen paredes más gruesas y son además más cerradas, dando así rigidez a la paja.

El abono cúprico reduce la tendencia al encamado causado por el abono nitrogenado

Después de las indicaciones de los investigadores rusos, la precipitación, que en las condiciones de esta experimentación se producía más aún que con la aplicación de abono nitrogenado, desaparecía cuando se aplicaba el abono cúprico junto con el abono nitrogenado. En otras palabras, gracias a la restitución del cobre, que hace desaparecer el abono nitrogenado, nosotros mejoramos una calidad biológica intermedia y particular: la resistencia al encamado, resistencia que el abono nitrogenado había disminuido.

Si las observaciones de los investigadores rusos son confirmadas, no habrá dificultad en que el agricultor aplique cobre a sus cereales al mismo tiempo que el abono nitrogenado. Podemos esperar que mejore la calidad biológica verdadera de los granos de cereales, lo que, por ejemplo, evitará la necesidad de agregar co-

TABLA 20

INFLUENCIA DEL ABONO CÚPRICO SOBRE EL ESPESOR DEL PARÉNQUIMA DE LA CORTEZA Y DEL ANILLO ESCLERENQUIMATOSO

		ABONO		
		NO	Nitrógeno	Nitrógeno + Cobre
Espesor del parénquima de la corteza ...	en micras	0.47	0.41	0.97
	relativo	100	87	206
Espesor del anillo esclerenuquimatoso	en micras	1.59	0.61	3.49
	relativo	100	38	219
Encamado				
		Grande	Grande	Nula

N. B. 1) La avena estaba cultivada en turberas bajas, pobres en cobre asimilable.

2) La cantidad de nitrógeno (N) aplicado era de 45 Kg./Ha.

3) Fueron aplicados 25 Kg./Ha. de sulfato de cobre.

4) En los tres casos, la avena ha recibido las mismas cantidades de abono de bajo-fosfo-potásico (50 Kg./Ha. de P_2O_5 , 120 Kg./Ha. de K_2O).

5) El tallo estaba en período de crecimiento.

6) Véase figura 10, concerniente a la misma experiencia.

Según POLUKHINA: Izv. Timir. Sel'skohl. Akad., 1: 205 (1961).

bre a las raciones de cerdos alimentados con estos cereales, que actualmente parece ser cada vez más necesario.

Dos progresos importantes de la industria de los abonos

Dos cualidades biológicas *intermediarias* nos ayudarán en el futuro a que se fabriquen cada vez más abonos nitrogenados con cobre incorporado. A decir verdad, uno de los más importantes fabricantes de abonos nitrogenados de Europa lanzó al mercado hace más de diez años un abono nitrogenado con cobre que hizo honor a la industria química. El desarrollo de un abono semejante no puede más que contribuir a luchar contra las carencias de cobre que, como acabamos de decir, se han desarrollado en el transcurso de los últimos años.

La acumulación de abono potásico en numerosos suelos y los desequilibrios que de ello resultan en los alimentos, tanto de los animales como de los hombres, es problema que nos inquieta. Esto es mayor cuando se ha cometido el gravísimo error de *purificar* los abonos potásicos que, naturalmente, contienen magnesio y sodio.

Las carencias de magnesio, que aparecen con frecuencia en diversos suelos de legumbres y frutas, han llevado a algunos «avezados» de la industria potásica a volver atrás y a aconsejar el empleo de los abonos no purificados: kainita, silvinita, etc.

Vemos de este modo desarrollarse, por razones mercantiles, abonos a los cuales se han agregado los elementos (en este caso, cobre o magnesio) que van a permitir que entre en función automáticamente la ley de restitución de los elementos asimilables desaparecidos bajo la influencia del fertilizante clásico (nitrógeno o potasio). Tales abonos mejorarán seriamente la calidad biológica, aunque no sea la meta a seguir por estos aportes.

Hacia los abonos equilibrados

Se habla de abonos *completos* cuando contienen estos tres elementos: nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K).

No parece demasiado utópico considerar que, en cercano día, la industria química, por sí misma o forzada por los poderes públicos, se vea obligada a fabricar abonos verdaderamente completos, que yo llamaría, a falta de una palabra mejor, abonos *equilibrados* (o armónicos).

Estos abonos contendrán, además de los tres fertilizantes clásicos (N, P, K), otros elementos cuya forma asimilable haga desaparecer los efectos nocivos procedentes del empleo uniteral de aquéllos.

Existe actualmente un abono *equilibrado* de este tipo para las remolachas: además de los tres fertilizantes base (N, P, K) contiene boro, que el potasio tiene tendencia a hacer desaparecer (véase tabla 4).

El desarrollo de estos abonos puede contribuir no solamente a la salud de los animales, sino repercutir en ciertas calidades biológicas *intermediarias* de sus productos que se reflejen en un valor comercial. Es exactamente el caso de la «*podredumbre del cogollo de la remolacha*», causada por la carencia de boro.

Se aducirá que estos abonos *equilibrados* deberán tener una composición variable según las plantas, los suelos, etc. Esto es exacto; pero la misma objeción se hace a los abonos *completos* y esto no impide su empleo universal.

SEPTIMA PARTE

HACIA UNA NUEVA ORIENTACION DE LA QUIMICA AGRICOLA

**Para convencer a los poderes públicos
de la necesidad de los abonos equilibrados**

Es necesario, ante todo, convencerlos de que estos abonos no sólo favorecerán específicamente el rendimiento y ciertas calidades *intermediarias* de producción, como acabamos de ver, sino que también aumentarán la circunstancia biológica real, que se reflejará en una mejor salud de los animales y sobre todo de los hombres.

Los poderes públicos sólo se convencerán si todo ello se les demuestra, logrando que los químicos agrícolas emprendan los estudios necesarios concernientes a la influencia del suelo y de los abonos en la calidad biológica de los alimentos, es decir, sobre la sanidad del ganado y de la especie humana.

**Hasta ahora, la química agrícola
sólo ha estudiado lo relacionado
con el rendimiento**

Hasta ahora, la química agrícola se ha interesado muy poco por esta cuestión. Podemos decir que la ha descuidado casi totalmente. Conforme a la concepción que hemos expuesto con anterioridad, la química agrícola, en sus investigaciones sobre los abonos, ha consagrado casi todo su esfuerzo a la cuestión del rendimiento.

En el Tercer Congreso Mundial de Fertilizantes, celebrado en Heidelberg, en 1957, el investigador alemán Nehring dijo: «La mayoría de los trabajos sobre fertilizantes están enfocados ante todo sobre el efecto que ejercen con respecto al rendimiento de los vegetales.»

Hemos descuidado el estudio de la influencia de los abonos sobre la salud

Por muy extraordinario que esto pueda parecer, el efecto de los abonos sobre la calidad biológica de los alimentos, es decir, su influencia en la salud de animales y hombres, ha sido olvidada casi por completo. En su reciente obra, *Ernahrung und Stoffwechsel der Pflanze* (Nutrición y metabolismo de la planta), K. Mengel, de la Universidad Justus Liebig (Giessen), escribió: «Las investigaciones concernientes a la influencia del nivel de diversos minerales sobre el organismo del hombre y de los animales están aún en sus comienzos.»

Dicho de otro modo, desde los descubrimientos de Boussingault y de Liebig, hace más de cien años, se han consagrado múltiples trabajos al estudio de la influencia de los abonos sobre el rendimiento de las plantas, pero se ha descuidado casi por completo el estudio de la influencia de estos abonos sobre la salud del hombre y de los animales.

Muchos niegan aún la influencia de los abonos en la salud

Algo peor; muchos continúan negándola. Podemos aun leer, en una revista técnica europea del mes de agosto de 1963, bajo la pluma de una eminencia científica, la frase siguiente: «El abono tiene acción sobre los rendimientos de las cosechas y no sobre la composición de las plantas, es decir, sobre su valor alimenticio.»

Un desequilibrio mínimo en el suelo puede reaccionar desfavorablemente en la salud de los animales

No se puede creer que todavía sea posible hacer tales afirmaciones cuando hemos visto que es suficiente una aplicación exagerada de calcio (tabla 5) para que la cantidad de manganeso de la planta se divida por cuatro y que ello proporcione como resultado la esterilidad de los animales.

Sabemos hoy que, a consecuencia de la aplicación abusiva de potasio en los pastos, los animales pueden llegar a contraer la tetania pratenso.

Basta con agregar al suelo un abono cúprico, que aumente en una millonésima (p. p. m.) el porcentaje de cobre del suelo, para que la ataxia enzoótica sea erradicada.

La aplicación de un abono de cobalto que aumente la cifra de cobalto del suelo una décima de millonésima, repito, hace desaparecer la anemia perniciosa («pining») de los animales.

Este último ejemplo es suficiente para mostrar con qué fuerza una debilísima variación en los equilibrios minerales del suelo es suficiente para zaberir la salud de los animales: una décima de millonésima de cobalto asimilable en mayor o menor cantidad en el suelo y los animales tendrán un buen estado de salud o morirán. Ahora bien, un aporte exagerado de cal hace desaparecer una fracción importante del cobalto asimilable, como en el caso del manganeso, aunque de una manera mucho menos señalada.

Distribución geográfica de ciertas «enfermedades de civilización»

Una posición de réplica consiste en decir: «Sí, admitimos que los abonos actúan de una manera marcada en la salud del animal; pero no ocurre igual con el hombre de hoy, que come

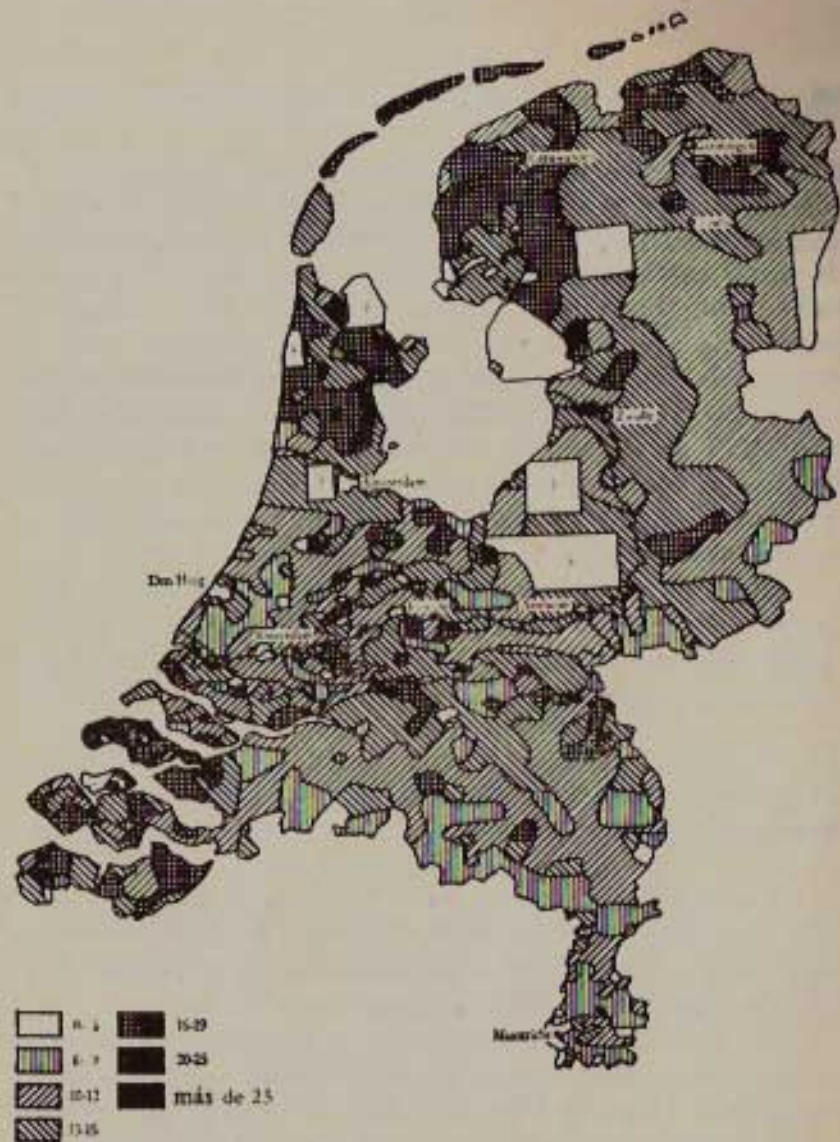


V = Microgramos de iodo por litro de agua de suelo.
 H = Agua de tierra de Buyère.
 A = Agua de zonas de lluvia.
 ~ = Agua de río.
 ||| = Región donde el bocio es frecuente.

FIG. 11

Distribución geográfica del bocio en Holanda.

(Según HEITZHE. *Artiologie, Pathogenese und Prophylaxe der Struma*. Munich, 1954.)



□	0-1	■	16-20
▨	2-3	■	20-25
▩	10-12	■	más de 25
▧	13-15		

Muertos por carcinoma, por municipalidad y año, para 10.000 habitantes, en el período 1930-1934. La superficie en blanco no se tuvo en cuenta por falta de datos

FIG. 12

Distribución geográfica del cáncer en Holanda.

(Según TROMP. *Experientia*. 10: 510. 1954.)

productos fabricados por suelos muy diferentes: carne de Uruguay, naranjas de California, plátanos de las Antillas, etc.»

Nosotros lo admitimos y, no obstante, el mapa geográfico de ciertas enfermedades de civilización, como el bocio, del cual nadie discute el origen alimenticio, permanece muy señalado en países civilizados. Para convencerse de ello basta con mirar el mapa de la figura 11, el cual representa la distribución geográfica del bocio en Holanda. Esta repartición está extremadamente señalada, y no obstante se puede afirmar que los holandeses de las zonas de bocio consumen productos fabricados por otros suelos que no son los que ellos habitan: se trata de naranjas de España o de manzanas de Italia.

Además, encontramos en Holanda (fig. 12) un reparto geográfico del cáncer, al parecer cierto: en esta enfermedad de la civilización parece cada vez más probable que la alimentación (incluyendo el agua) juegue un papel fundamental.

El suelo y el abono

«hacen» al animal y al hombre

Sólo estos dos mapas del bocio y del cáncer en Holanda (se podrían mostrar otros análogos en otros países) son suficientes para demostrar cómo la salud del hombre moderno permanece ligada al suelo a través de la alimentación.

Nadie discute que en los tiempos en que el hombre se nutría exclusivamente de productos alimenticios locales, el viejo refrán campesino: «El suelo hace al animal», se aplicaba al hombre, y entonces debiera enunciarse así: «El suelo hace al animal y al hombre.»

Acabamos de ver que, a pesar de la diversidad de las nutriciones, la geografía de ciertas enfermedades del metabolismo permanecen ligadas a las condiciones locales, de las cuales la más importante es la naturaleza del suelo.

Hemos dicho con anterioridad que el abono hace al animal, ya que modifica profundamente los equilibrios minerales del suelo. Debemos, pues, concluir lógicamente que: «El suelo y el abono hacen al animal y al hombre.»

Generalización en el mundo de los métodos standard de aplicación de los abonos

Por consiguiente, cuando decimos que nuestras aplicaciones de abono no ejercen influencia general sobre la salud del hombre, debido a que éste ingiere una alimentación variada, producto de suelos diferentes, nos olvidamos de que nuestros métodos de aplicación de los abonos son uniformes en todos los países de técnica avanzada. Se puede incluso afirmar que estos métodos tienen tendencia a generalizarse en el mundo entero.

Igualmente puede decirse que en Europa la generalización de nuestros métodos actuales de aplicación de los abonos debe conducirnos rápidamente a consumir los productos vegetales que tengamos, si es que no los tenemos ya:

- cuatro veces más de potasio,
- dos veces más de ácido fosfórico,
- mitad menos de magnesio,
- seis veces menos de sodio,
- tres veces menos de cobre, etc., etc.,

que hace un siglo, sin hablar de modificaciones de composición orgánica.

Las grandes modificaciones en la composición de los alimentos no pueden dejar de ejercer una acción notable y constante en la salud del hombre, tanto más cuando de estos cambios importantes en la composición de la planta resultan igualmente trans-

formaciones (en general menos señaladas) de composición mineral y orgánica de los productos alimenticios de origen animal.

Por lo tanto, no nos hagamos ilusiones; nuestros métodos de aplicación de los abonos modifican mucho y en el mismo sentido la composición de los elementos, bien o mal, según nuestra capacidad de aplicar convenientemente o no los abonos y, por consiguiente, que ellos influyan bien o mal en la salud de los hombres.

No nos cansamos de repetir: el abono, al igual que el suelo, hace al hombre del mismo modo que al animal.

La nueva química agrícola orientada hacia la calidad biológica

Si admitimos, y espero haberles convencido de ello, que la calidad biológica debe tener prioridad sobre el rendimiento, debemos llegar lógicamente a la conclusión de que en el futuro la química agrícola debe ser orientada ante todo hacia el estudio de la influencia de los abonos sobre la calidad biológica.

Es por demás imperdonable que veamos progresar un número de enfermedades angustiantes de nuestra civilización: bocio, artero y cardiopatías, cáncer, carie dental, trastornos endocrinos diversos, etc., que parecen tener como causa principal la alimentación.

Así, no podemos separar esta orientación tan deseable de la química agrícola de otra nueva orientación, al menos tan deseable, de la medicina.

Medicina terapéutica, preventiva y protectora

La medicina de nuestros días es ante todo *terapéutica*: ella trata de restablecer la salud. Además, desde Pasteur, se ha desarrollado una medicina *preventiva*, que está representada por las

diversas medidas de higiene, combinadas con el empleo de las vacunas.

La verdadera medicina del futuro es la medicina *preventiva*, la cual se esfuerza por mantener la salud, que, como decía Alexis Carrel, «es un estado natural».

Esta medicina preventiva tiene como primera meta la de mantener el metabolismo del individuo, que es condición de la salud.

Agreguemos que la medicina preventiva, debido a la prolongación de la vida, tiene además una tarea que es corolario del primero: demorar la vejez de los tejidos y contribuir así a impedir las enfermedades del metabolismo, cada vez más frecuentes, cuando la edad avanza.

La medicina preventiva es inseparable de la nueva química agrícola

Recordemos que hemos dado la definición siguiente de la calidad biológica:

La calidad biológica representa la suma de los factores individuales en la planta, que contribuyen al mantenimiento del metabolismo del ser vivo, animal u hombre, que consuma esta planta.

Ahora bien, la nueva orientación de la química agrícola consiste en no dar más prioridad al rendimiento, sino a la calidad biológica, que representa en un alimento el conjunto de factores que contribuyen al mantenimiento de un metabolismo normal.

Comprendemos entonces mejor que esta nueva química agrícola desemboque exactamente en la misma meta que la medicina preventiva, es decir, en el mantenimiento de un metabolismo normal en el hombre.

En otras palabras, la base primera de la medicina preventiva es una alimentación adecuada *elaborada* por un suelo equilibrado, que suministra productos de alta calidad biológica, lo que signi-

fica que la nueva química agrícola, orientada preferiblemente hacia la calidad biológica, es el fundamento mismo de la medicina *preventiva*, la medicina del futuro.

El químico agrícola y el médico se ignoran

La consecuencia lógica de esta meta común es que en el futuro el químico agrícola y el médico colaboren estrechamente. Actualmente, en lugar de *colaborar*, no es exagerado decir que ellos se *ignoran* totalmente:

- *El químico agrícola*, como hemos visto, no se preocupa más que de vez en cuando de la influencia de los abonos sobre la salud, si es que llega a admitir que esta influencia existe.
- *El médico* no tiene en cuenta el suelo que ha *fabricado* los alimentos que él prescribe para la dieta de su paciente; ahora bien, las legumbres que él recomienda podrán tener los minerales completamente desequilibrados por los aportes excesivos de abonos potásicos, o la leche que él receta podrá contener un factor anti-tiroideo, porque las vacas habrán consumido una col pastosa («chou moellier») de un suelo que tenía la presencia de un factor semejante.

Dos consecuencias curiosas de la no colaboración del químico agrícola y del médico

Esta ignorancia recíproca del químico agrícola y del médico puede incluso llegar a hechos bastante sorprendentes en las muy raras y excepcionales tentativas de la medicina *preventiva*, no reales, y que calificaría gustosamente de medicina *preventiva indirecta*.

Citemos dos:

- Para luchar contra el bocio, los servicios médicos aconsejan agregar iodo a la sal, pero no se preocupan de estudiar y de conocer la influencia de los abonos en el contenido de iodo de los alimentos, lo cual, sin embargo, puede variar en proporciones que van de uno a cincuenta.
- Para tratar de detener el progreso de la caries dental, se aconseja (con todos los riesgos que esto acarrea) administrar un poco menos de una millonésima (p. p. m.) de flúor en el agua de bebida, reconociendo la importancia que tiene una cantidad ínfima sobre uno de los males más corrientes de la civilización. Ahora bien, los estudios concernientes a la influencia de nuestros abonos sobre el contenido en flúor de los alimentos no se han comenzado todavía.

Por estos dos casos se ve, pues, lo urgente que sería que los químicos agrícolas y los médicos colaboraran para suministrar a todos los hombres una alimentación de alta calidad biológica, suficientemente equilibrada en iodo y en flúor, en vez de emplear métodos *indirectos*, onerosos, nunca eficaces y que desencadenan algunas veces peligros.

Una gran barrera separa los estudios de agronomía de los de medicina

Cuando la Universidad de Bonn (Alemania) me hizo el honor de concederme el título de «Doctor Honoris Causa», creí que el mejor homenaje que podía rendir a mi ilustre predecesor francés en este título, Luis Pasteur, era el de escoger, para mi discurso de la solemne recepción, el asunto siguiente: «La agricultura, guardián de la salud de los hombres».

Dije en mis conclusiones, en presencia de expertos agrónomos y médicos de la célebre Universidad: «Nuestros métodos agro-

nómicos son determinados por la salud del hombre. Lo infortunado es que, en todos los países del mundo, una gran barrera separa la agricultura de la medicina, y aún más si ambas se encuentran en la misma Universidad.»

«Polvo eres y al polvo volverás»

Y añadía, para terminar mi discurso: «Cuánto me gustaría ver grabada a la entrada de cada centro de estudios agronómicos la expresión de Brillat-Savarin: "El destino de los pueblos depende de lo que comen", a lo cual añadiría: "Y del suelo que *fabrica* estos alimentos".»

Mas cuánto, igualmente, me gustaría ver en el futuro, grabado a la entrada de cada facultad de medicina, el siguiente texto de las Escrituras: «*Polvo eres y al polvo volverás.*»

No se trata solamente de una enseñanza religiosa y filosófica. Todos los polvos, es decir, todos los elementos minerales de nuestro cuerpo, han estado previamente en el suelo, y es finalmente la buena proporción y el buen acoplamiento de estos polvos de nuestro cuerpo lo que permite un metabolismo normal, es decir, la salud.

La química agrícola determina la buena proporción de los polvos del organismo

Cuatro años después de este acontecimiento no puedo por menos que repetir la frase, modernizada y completa, de Brillat-Savarin: «El destino de los pueblos depende de lo que comen y del suelo que *fabrica* estos alimentos.»

Volviendo a tomar la ley única que liga las dos antiguas y las tres nuevas leyes científicas de aplicación de abonos, yo la modificaría y diría: «El destino de los pueblos depende de lo que comen y del equilibrio de los elementos minerales del suelo, equilibrio que nosotros nos esforzamos en mantener al máximo con

el aporte de abonos, al objeto de obtener una alta calidad biológica de la planta.»

Es, pues, ante todo, la química agrícola la que, manteniendo este equilibrio óptimo de los elementos minerales del suelo, va a determinar en los organismos la buena proporción y feliz integración de los *polvos* orgánicos, permitiendo así un metabolismo normal, fin principal de la medicina preventiva.

Nuestro destino depende de nuestra capacidad para utilizar bien los abonos

Arriesgándome a lucir grandilocuencia, sacaría la conclusión lógica de estas últimas consideraciones, diciendo:

El destino de los pueblos, y por consecuencia el de nuestra civilización, depende en gran parte de nuestra capacidad para utilizar bien los abonos minerales.

Esta afirmación puede, desde el primer instante, parecer exagerada y paradójica y, sin embargo, estoy perfectamente convencido de que es exacta. Para convencerse mejor de ello, volvamos hacia los filósofos de la historia.

La decadencia de las civilizaciones ha seguido a la concentración de la población en metrópolis gigantescas

Es bien raro hallar que los filósofos estén de acuerdo sobre muchos puntos y aún sobre uno solo. Teniendo eso en cuenta, advirtamos cómo todos los filósofos de la historia —Grousset, en Francia; Spengler, en Alemania, y Toynbee, en Inglaterra— están de acuerdo en destacar que la decadencia de las civilizaciones fue, en el pasado, la consecuencia inevitable de la concentración de poblaciones en las grandes ciudades.

Si bien los filósofos de la historia coinciden en admitir que el desarrollo de las enormes metrópolis (Babilonia, Atenas, Cartago, Roma, etc.) acarrió la ruina de las civilizaciones, no nos han explicado, infortunadamente, las razones científicas y técnicas que produjeron la ruina de esas civilizaciones, del hecho de la colosal concentración urbana.

En efecto, no bastará con comprobar este destino trágico de las civilizaciones, que, según Spengler, sería ineluctable. Debemos ensayar a determinar las causas técnicas de esta decadencia. Quizá, entonces, estaremos en condiciones de encontrar remedios.

«Roma arrojó en sus alcantarillas la fertilidad de Sicilia»

No obstante, Liebig, uno de los fundadores, con Boussingault, de la química agrícola, había recordado que las civilizaciones prosperan y mueren junto con su suelo. El nos lo explica en una de sus fórmulas admirables, diciéndonos: «Roma arrojó en sus alcantarillas la fertilidad de Sicilia.»

Quería decir con ello que cada navío que llevaba a Roma el trigo de Sicilia conducía al mismo tiempo el ácido fosfórico, el magnesio y el cobalto del suelo de Sicilia, y que estos elementos minerales, en vez de regresar al suelo con los excrementos, iban a perderse para siempre en las alcantarillas de la ciudad de los Césares.

Sicilia, que fue el granero de Roma, se convirtió así en una de las tierras más pobres del mundo.

Carestías secretas de los pueblos

Trátese de Roma o de otras grandes metrópolis del pasado, la monstruosa concentración urbana causó una exportación acumulativa de los elementos minerales del suelo. Aun si las cosechas

permanecieran bastante productivas durante un cierto tiempo, el suelo no producirá, sin embargo, más que una nutrición incompleta (diremos, por ejemplo, deficiente en iodo y cobalto), de débil calidad biológica, la cual hace disminuir la energía y la vitalidad de las poblaciones, del mismo modo que el suelo de un prado que va siendo despojado progresivamente del ácido fosfórico o del cobre asimilables motiva la existencia de animales cada vez menos vigorosos y de inferior vitalidad.

En otros términos, el «agotamiento» de los elementos minerales del suelo, por el hecho de su «exportación» hacia las alcantarillas de las gigantescas metrópolis, desgasta lentamente a los hombres al producir en ellos carencias latentes, que el investigador americano Albrecht denomina hambres *clandestinas*, las cuales abaten a los hombres más despacio pero con igual eficacia que las *verdaderas* hambres o carestías.

París y Montreal lanzan por sus alcantarillas la fertilidad de Normandía y de la cuenca del San Lorenzo

Nuestra civilización, que ha llegado en Europa y en el continente americano al logro de gigantescas concentraciones urbanas, se encuentra colocada frente a los mismos problemas que las civilizaciones pasadas y desaparecidas. París y Montreal lanzan por sus alcantarillas la fertilidad de Normandía y de la cuenca del San Lorenzo tan segura e inevitablemente como Roma arrojó por sus alcantarillas la fertilidad de Sicilia.

Podemos decir que hoy en día, tanto en Europa occidental como en América del Norte, al menos el 90 por 100 de las materias que integran el excremento humano no vuelve más a la tierra de donde saliera, sino que van a perderse para siempre como aguas residuales.

Los abonos minerales trastornan las conclusiones de los filósofos de la historia

Mas, en el caso de nuestra civilización, no todo está perdido como en el caso de las civilizaciones precedentes. Gracias al genio de nuestros químicos nos encontramos en presencia de un nuevo factor que las civilizaciones anteriores no consideraron nunca. Se trata de un fenómeno de consecuencias incalculables, las cuales, según nuestra capacidad, podrán ser excelentes o catastróficas. Este fenómeno es el empleo de abonos químicos minerales, que permiten restituir los elementos sustraídos del suelo por las cosechas, las que, a su vez, los transportan hacia las alcantarillas de las metrópolis gigantes.

Hasta hoy ninguna civilización precedente había tenido la posibilidad de reemplazar así, en el suelo, de manera artificial, los elementos minerales que han sido extraídos de aquél para no regresar jamás.

La aparición de los abonos minerales trastorna, así, las conclusiones de los filósofos de la historia.

Beneficios de los abonos

El empleo de los abonos minerales representa uno de los más grandes descubrimientos de los tiempos modernos, quizá el más grande descubrimiento, pues al obrar profundamente sobre el equilibrio de los suelos y, por ello, sobre nuestra salud, juega un papel decisivo en el destino de nuestra civilización.

Repetiremos lo que hemos dicho al comienzo: nadie puede negar que estos abonos han permitido un aumento considerable de la producción y una disminución del precio de costo de los productos alimenticios; han contribuido poderosamente a la elevación del nivel de vida y, así, han actuado profundamente so-

bre la vida de los individuos. Pero los mismos pueden hacer todavía mucho más: pueden, como acabamos de decir, *impedir el "agotamiento" de los suelos que todas las civilizaciones precedentes han conocido.*

Peligros de los abonos

Mas, ¡ay!, este descubrimiento, que puede salvar nuestros suelos y mantener nuestra salud, corre el riesgo de convertirse en una desgracia si continuamos considerando la aplicación de los abonos nada más que desde el punto de vista mercantil, dirigida al rendimiento como fin principal, sin ocuparnos de la conservación de los suelos y de la calidad biológica del producto.

La acumulación de potasio en ciertos suelos, el empobrecimiento de éstos en magnesio asimilable, la desaparición del cobre asimilable a consecuencia de aplicaciones abusivas de abonos nitrogenados y de superfosfatos, etc., constituyen hechos inquietantes si no angustiosos.

Lejos de mantener la fertilidad de los suelos y de mejorar la calidad biológica de los productos, los abonos, si continuamos empleándolos mal —como sucede demasiado a menudo en la actualidad—, hacen correr el riesgo de acelerar la decadencia de los suelos y de los hombres. Graves avisos nos han sido dados ya con lo sucedido en los animales; dichas señales de peligro se llaman, por ejemplo, esterilidad, tetania de la hierba, etc. El desarrollo de ciertas enfermedades del metabolismo en la especie humana, llamadas enfermedades de la civilización y debidas, ante todo, a la alimentación, constituyen una imperativa advertencia de ponerse en guardia.

Aplicación juiciosa de los abonos

Para que nuestros abonos se conviertan en un beneficio de cada individuo y de nuestra civilización completa, es urgente y necesario que los mismos sean aplicados correctamente. He ensayado de contribuir al logro de este fin formulando mis tres nuevas leyes científicas de aplicación de los abonos. ¡Ojalá su aplicación pueda permitir que este prodigioso descubrimiento sea una bendición para la humanidad en vez de convertirse en una odiosa desgracia!

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	<u>Págs.</u>
TABLA 1.	35
1. Desaparición del cobre asimilable después de la aplicación de abonos nitrogenados a la hierba (<i>ray-grass</i>) y restitución por el aporte de abonos cúpricos	35
" 2. Desaparición del cinc asimilable debido a la aplicación del ácido fosfórico	37
" 3. El abono potásico hace desaparecer los macroelementos: Magnesio, calcio y sodio asimilables	38
" 4. Desaparición del boro asimilable debido al aporte de abono potásico	39
" 5. El aporte de carbonato cálcico hace desaparecer el manganeso asimilable	41
" 6. El sulfato de amoniaco hace «reaparecer» el manganeso asimilable desaparecido	43
" 7. La restitución de cobre al suelo atenúa los efectos desfavorables de un exceso de ácido fosfórico sobre el rendimiento de la naranja	60
" 8. El exceso o insuficiencia de abono potásico disminuyen el rendimiento de la hierba	62
" 9. El rendimiento de la col blanca no cesa de aumentar con los aportes crecientes de abonos nitrogenados, pero más allá de un aporte óptimo de abono el valor biológico de la proteína bruta decrece	81
" 10. La cantidad de abono nitrogenado que permite el máximo rendimiento de las espinacas, disminuye grandemente el valor biológico de la proteína	82
" 11. Un exceso o déficit de manganeso disminuye el contenido en vitamina C de las coles de Bruselas	84
" 12. Aportes insuficientes o excesivos de calcio disminuyen el contenido en caroteno de las hojas de remolacha	87
" 13. Poca o elevada cantidad de abonos potásicos disminuyen el contenido en caroteno de la planta	88
" 14. El abono de sodio puede aumentar o disminuir grandemente el contenido en caroteno de las hojas de remolacha	89
" 15. Mucho o poco abono nitrogenado disminuyen el contenido en riboflavina (vitamina B ₂) de las espinacas.	90

	<u>Págs.</u>
" 16. Consecuencias del efecto antagónico de los abonos nitrogenados de cobre sobre la calidad biológica de la hierba y el contenido en cobre del suero sanguíneo del animal que paca	95
" 17. Influencia del abono con ácido fosfórico sobre el aumento de peso de conejos y ovejas alimentados con forraje de soja	96
" 18. El exceso de abono potásico hace decaer el contenido en magnesio del suero sanguíneo de las vacas que pacen y contribuye de este modo a la aparición de la tetania de la hierba	98
" 19. Los aportes excesivos de calcio al suelo disminuyen la fertilidad de las vacas	100
" 20. Influencia del abono cúprico sobre el espesor del parenquima de la corteza y del anillo esclerenquimatoso.	126

FIG. 1. Se puede cuadruplicar el rendimiento con un aporte juicioso de abono mejor que con una cantidad cinco veces superior	51
" 2. La insuficiencia o el exceso de manganeso disminuirán el rendimiento de la soja	55
" 3. El exceso o déficit de cobre disminuyen el rendimiento de la avena	56
" 4. El rendimiento de trigo disminuye por exceso o insuficiencia de abono nitrogenado	57
" 5. La insuficiencia o exceso de ácido fosfórico disminuye el crecimiento de las plantas de naranjas amargas.	58
" 6. El exceso de abono potásico, que hace desaparecer el boro asimilable, disminuye el rendimiento de la soja.	65
" 7. Un exceso o déficit de calcio provocan carencias de magnesio	66
" 8. Influencia de los aportes de manganeso sobre el contenido en vitamina C de las coles de Bruselas	83
" 9. El suelo y el abono hacen al animal	101
" 10. Influencia de la aplicación de abono cúprico en la estructura celular del espacio internodal de la avena.	124
" 11. Distribución geográfica del bocio en Holanda	134
" 12. Distribución geográfica del cáncer en Holanda	135