EFECTO DEL ENCALADO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL TRIGO EN CHILE (*)

por

ELIAS LETELIER ALMEYDA (**)

INTRODUCCION

Desde mediados del siglo pasado empezó a preocupar a científicos y agricultores en nuestro país el problema de la necesidad de cal y fosfatos de los suelos. Así Gay (12) en 1865 citando cifras analíticas obtenidas por Bossingault en muestras enviadas de Chile señala la deficiencia que en estos 2 elementos fertilizantes acusan dichas tierras, al compararlas con el patrón europeo generalmente aceptado en aquella época.

Le Feuvre (15) en 1877, comparando también con las condiciones europeas, señala la escasez de rocas calcáreas formadoras de suelos en Chile, y destaca la importancia de la cal como enmienda del suelo, recalcando su importancia en lo que se refiere a la obtención de un buen estado de granulación en los suelos arcillosos y a la descomposición de la materia orgánica.

Cuando los escritores agrícolas de ese tiempo hablan de la cal se refieren generalmente al carbonato de calcio libre en el suelo, dando por aceptado que un suelo fértil necesita contener cierta cantidad de calcárea, cantidad variable según la textura del suelo.

(*) Trabajo recibido para su publicación en Diciembre de 1953. Tesis para optar al título de profesor extraordinario de la Cátedra de Suelos y Abonos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile.
La ejecución práctica de los ensayos de campo descritos en este trabajo fué realizada en su mayor parte por los Administradores y Ayudantes de criadero de las Estaciones Experimentales del Departamento de Investigaciones Agrícolas. Los cálculos estadísticos fueron ejecutados por Eliana de Pavez. Las determinaciones de laboratorio estuvieron a cargo de Enrique Russi y José Infante, agrónomo y químico respectivamente del Laboratorio de Investigaciones Agrícolas. A todas estas personas el autor agradece su valiosa colaboración.

(**) Ingeniero Agrónomo. Sección Suelos. Departamento de Investigaciones Agrícolas.

Valenzuela (31) y Opazo (21) continúan usando el concepto de cal especialmente en este sentido, recomendando la aplicación de cal en todos los suelos que no contienen calcárea.

Estos 2 autores, enumerando la acción de las enmiendas calcáreas señalan el efecto que esta tiene para evitar la fijación del fósforo en forma de compuestos de fierro y aluminio y advierten la importancia que esta propiedad puede tener en las arcillas rojas de la región de la Frontera. Opazo introduce en su discusión el concepto de acidez activa (pH), aunque en la determinación de la necesidad de cal usa más bien el porcentaje de CaO en el suelo, considerando que este porcentaje no debe ser inferior a 3% en las tierras arcillosas y a 1% en las arenosas. Este último autor opina que el 90% de los suelos chilenos necesitan cal e incluso la recomienda para suelos arcillosos de la región Norte.

Mathei (18) revisa en forma bastante completa la acción de la cal como enmienda química y física; da especial importancia a la acción indirecta de la falta de calcio sobre el raquitismo del ganado y destaca la importancia de este problema para Chile; atribuye a la falta de cal algunas deficiencias y enfermedades del ganado en el sur de Chile. Aunque este autor usa el concepto de acidez activa, parece inclinarse a recomendar cal en forma bastante general.

Elgueta, en 1938 (9), opina que el problema de la cal es, en los suelos ácidos del sur, previo a cualquier otro; sin embargo, también recomienda la encaladura en los suelos neutros de la región central.

La enumeración anterior es suficiente para darse cuenta de que todos los agrónomos desde mediados del siglo pasado hasta 1940 fueron fuertes propulsores del uso del encalado en la agricultura chilena. Aunque generalmente reconocían que el contenido del calcio en el suelo era más que suficiente para asegurar el normal desarrollo de muchas cosechas sucesivas, estimaban que la acción de la cal como enmienda física y química era de primordial importancia para asegurar la fertilidad de los suelos del país.

Debe reconocerse que no eran sólo especulaciones teóricas lo que los llevaban a esa conclusión: ellos tenían el ejemplo de Europa, donde las mejores regiones agrícolas y ganaderas se encuentran en suelos de abundante contenido de carbonato de calcio.

Estos mismos agrónomos fueron también grandes propulsores del empleo de fosfatos en la región sur del país. Bajo la influencia de estas opiniones, el consumo de cales y abonos fosfatados ha subido rápidamente desde principios de este siglo. Sin embargo, proporcionalmente la demanda de abonos fosfatados ha subido mucho más, si se considera que estos abonos son mucho más caros y que se recomiendan en dosis muy inferiores a las recomendadas para la cal. En tanto que la eficacia de los abonos fosfatados ha sido evidente e inmediata, no ha sucedido lo mismo respecto a las encaladuras; algunos agrónomos y agricul-

tores (32 y 33) han manifestado dudas respecto a la necesidad de esta enmienda; esta situación llevó a la Sociedad Agronómica de Chile a la publicación en 1945 de un número especial de su revista "Simiente" (8) en el que se reunieron las opiniones de un grupo de especialistas nacionales. Estos especialistas son también bastante partidarios de la cal; pero, en tanto que los agrónomos antiguos pedían "presencia" de carbonato de calcio", los últimos se conforman con una "acidez activa no muy desarrollada" (pH, 6,5) o con un conveniente "grado de saturación de bases" en los coloides arcillosos: incluso reconocen la posibilidad de efectos perniciosos de la encaladura en suelos neutros o alcalinos. Este nuevo punto de vista limita ya la necesidad de encalado a suelos situados al sur de la provincia de Santiago. Estos agrónomos insisten poco en la acción de la cal como mejorante físico de las tierras, refiriendo especialmente su acción benéfica a la corrección de los efectos químicos de la acidez del suelo, como son la fijación de los fosfatos y la liberación de substancias tóxicas.

En el plano internacional el concepto de necesidad de cal ha experimentado una evolución parecida: en tanto que antes se recomendaba indiscriminadamente la aplicación de enmiendas calcáreas, actualmente se pretende solamente neutralizar el exceso de acidez, conformándose algunos autores con lograr un pH de 6 (17); actualmente no se atribuye a la acidez un efecto pernicioso directo sobre las plantas superiores como no sea en límites extremos de acidez o alcalinidad; se estima en cambio que este efecto es indirecto y relacionado con la fijación en el suelo de algunos nutrientes (fósforo), o con la liberación de substancias tóxicas (compuestos de aluminio y manganeso) (17 y 25).

Algunos autores (1 y 2) admiten incluso la posibilidad de mantener una agricultura eficiente en suelos francamente ácidos siempre que exista un nivel elevado de fertilidad y materia orgánica.

En cuanto a los efectos de la cal como mejorante físico del suelo, los autores modernos son bastante prudentes en sus recomendaciones: Russell (25) dice que en general, la experimentación no ha comprobado efectos benéficos en la encaladura sobre la granulación del suelo y Lyon y Buchman (17) opinan que estos efectos sólo serían notorios si se aplicaran cantidades de enmienda muy superiores a las usadas corrientemente. Demolon (7), luego de revisar la investigación relacionada a este problema concluye que la cal no obra del mismo modo en todos los suelos y que su acción se ejerce en concomitancia con la materia orgánica.

La exposición anterior tiende a demostrar que el concepto de beneficio derivado del encalado está en evolución y que el llamado "problema de la cal" dista mucho de ser simple. La antigua y tradicional correlación entre suelos calcáreos y suelos fértiles, si bien ha sido de indudables beneficios en la intensificación de la agricultura, no es tan absoluta como se había pensado.

De todo esto, se llega a la conclusión de que cada país debe tratar de resolver "su" problema de la cal basándose en una amplia y bien estudiada experimentación en su propio medio agrológico y climático. Esto es lo que ha pretendido hacer en Chile el Departamento de Investigaciones Agrícolas.

Al efecto inició una serie de experimentos el año 1940, los resultados de una parte de los cuales ya han sido publicados (16).

Dos son los principales objetivos de estos ensayos: avaluar el efecto del encalado sobre el cultivo inmediato y medir el efecto residual de la aplicación de cal sobre el cultivo subsiguiente a la aplicación, cultivo que en Chile es generalmente una pradera a base de leguminosas.

Los resultados ya publicados se refieren a ensayos de 4 elementos en que la cal fué aplicada sola o en combinación con nitrógeno, fósforo, o potasio.

Estos ensayos se hicieron en trigo y papa y se vió el efecto residual de algunos de los verificados sobre trigo. Posteriormente se han efectuado ensayos de dosis de encaladura en trigo combinados con dosis de aplicación de fosfato con objeto de esclarecer la interacción entre estos dos factores. El principal objeto del presente trabajo es presentar y discutir los resultados de estos experimentos.

Para presentar en conjunto los resultados hasta ahora obtenidos se hace un resumen de los experimentos ya publicados.

En un trabajo posterior se dará cuenta de los resultados en lo que se refiere al efecto residual en estos mismos ensayos.

Debe reconocerse, que este programa experimental no estará completo hasta que no se emprendan ensayos de alimentación del ganado a base de pastos provenientes de praderas encaladas y sin encalar.

Importancia agronómica del encalado en Chile

En este capítulo se pasará una breve revista a los diversos factores que han promovido la práctica del encalado, indicando en cada caso la importancia que puede tener cada uno de esos factores en la agricultura chilena.

La principal función del calcio en la agricultura es la de elemento nutritivo de las plantas cultivadas. Aunque este rol del calcio es fundamental, aparece, sin embargo, como el menos importante en la práctica ya que generalmente se encuentra en el suelo en forma aprovechable en cantidades muy superiores a las necesidades inmediatas de las plantas.

Las cantidades totales que se encuentran en el suelo son superiores generalmente a las de cualquier otro elemento nutritivo, excepto el potasio y el fierro, pero en tanto estos 2 últimos pueden encontrarse inmovilizados en alto grado, constituyendo la parte aprovechable una muy pequeña parte del total, el calcio generalmente se presenta aprovechable en una proporción bastante elevada.

La cantidad de CaO contenida en la capa arable de una Há. de suelo se calcula entre 12.000 y 30.000 Kg. (Lyon y Buckman). En Chile en extracciones hechas con ácido clorhídrico son muy raros los promedios departamentales inferiores a 0,1% y estos se encuentran sólo en las provincias de Osorno y Llanquihue (21): las cifras inferiores a 0,2% son raras al norte de Concepción; esta cifra representa unos 5.000 Kg. de CaO por Há.; de 140 extractos hechos con licor de Morgan en el laboratorio del Departamento de Investigaciones Agrícolas, sólo 33 acusaron valores inferiores a 1.000 partes por millón equivalente a unos 2.500 Kg. de CaO por Há.

Con excepción de las leguminosas, las plantas extraen menos calcio que potasio. La extracción de una cosecha de 200 qq. de trigo puede estimarse según diversos autores en unos 10 a 12 Kg. Por lo menos un 80% de este óxido de calcio se encuentra contenido en la paja, de modo que vuelve en parte por vía animal al suelo, y podría volver casi íntegramente mediante un buen aprovechamiento de los residuos. Las leguminosas extraen unas 5 veces más calcio que las gramíneas. Aún considerando la extracción hecha por las leguminosas, extracción que en gran parte vuelve al suelo con el estiércol, cabe considerar al calcio como el elemento nutritivo más favorecido en cuanto a las reservas que contiene el suelo y a la proporción del total que se encuentra aprovechable. Es poco probable que dentro de la agricultura chilena se presenten problemas graves de deficiencia de calcio en las plantas cultivadas.

En cuanto al contenido de calcio de los productos vegetales y su relación con la alimentación del hombre y del ganado es importante señalar las siguientes circunstancias: no existen muchos datos respecto al contenido de calcio de los alimentos y forrajes chilenos. El contenido en CaO de nuestro principal alimento, el trigo, parece encontrarse ligeramente bajo los promedios europeos, asemejándose en cambio a los valores norteamericanos, si bien los datos son escasos para sacar una conclusión definitiva. Demolón (6) cita para Francia una oscilación entre 70 y 190 mg. por 100 gr.; Morrison da para EE. UU. un promedio de 42 mg de CaO por 100 gr. Elgueta da para diversos puntos de Chile valores entre 50 y 89 mg. por 100 gr. (10) y Henríquez y Budnik (13) dan un promedio para Chile de 43 mg. por 100 gr.; se trata de un promedio de un número bastante reducido de muestras. Pennacchiotti y Vargas (22) analizaron 74 muestras de trigos chilenos encontrando un promedio de 67 mg. de Ca en 100 gr. (94 gr. de CaO); estos autores citan el promedio encontrado en Chile por Schmidt-Habel, 35 mg. de Ca por 100 gr.

En cuanto a los forrajes, las gramíneas chilenas por lo menos parecen estar también dentro de lo reconocido como normal. Rogers (24) muestra varios análisis de diversas gramíneas crecidas a orillas del lago

Llanquihue cuyo % de CaO en la materia seca varía entre 0,37 y 0,63%. La cifra de 0,38% es considerada normal para el thimoty en EE. UU.

Pennacchiotti, Vargas y otros (23) dan una lista de determinaciones efectuadas por ellos en muestras de diversos forrajes chilenos; los valores no difieren fundamentalmente de los encontrados por Morrison en EE. UU. (19), pero son inferiores a los valores europeos (6); Black y otros (3) dicen que "las deficiencias de calcio y magnesio no son lo suficientemente serias en ninguna parte de EE. UU. como para afectar la salud del ganado vacuno de engorda". Si se toma en cuenta el contenido corriente de los suelos chilenos en calcio, suficiente en general desde el punto de vista de la nutrición de las plantas, habría que suponer que en nuestro país tampoco sean de temer especialmente las enfermedades provocadas por carencia de calcio, a menos que estas sean inducidas por factores indirectos tales como carencia de vitamina D. Sin embargo, las observaciones de algunos profesionales (18 y 28) y agricultores, hacen muy conveniente la investigación directa de este problema. Es posible que la mayoría de los casos de raquitismo que se presentan en el sur de Chile, sean provocados por deficiencias de fósforo y no de calcio.

La adición de cal disminuye la concentración de iones de hidrógeno, es decir, la acidez activa del suelo. Desde que se ha comprobado que, en soluciones nutritivas las plantas pueden desarrollarse bien en pHs que varían entre 4 y 8 (25), se ha reconocido que el efecto dañino de una acidez elevada debe considerarse indirecto y proveniente de la liberación o fijación de algunos elementos nutritivos o tóxicos.

Especialmente la Escuela de Long Ashton, dirigida por Wallace, ha puesto énfasis en que la distinta capacidad de las diversas plantas para soportar la acidez depende de su relativa necesidad fisiológica por los elementos nutritivos que se fijan o liberan en correlación con el grado de acidez activa y de su relativa resistencia a aquellos elementos tóxicos cuya concentración en la solución del suelo depende también del pH. Esto es de esencial importancia pues significa que en muchos casos, no será estrictamente necesario corregir la acidez, para remediar efectos perniciosos correlacionados con un pH bajo, sino que podrá obtenerse el mismo efecto mediante una adecuada provisión de fertilizantes o mediante la adición al suelo de suficiente cantidad de materia orgánica, la que es capaz de competir eficientemente dentro del complejo físico químico del suelo en tal forma de dejar algunos elementos necesarios en forma mucho más aprovechable. Tal es el caso del fósforo que es fijado por el ión férrico que se encuentra químicamente muy activo en los suelos ácidos. Aslander (1) ha dado comprobación experimental a estas suposiciones: él ha establecido que, en Suecia, los suelos ácidos son perfectamente productivos y no requieren de aplicaciones de cal siempre que tengan un elevado tenor en materia orgánica y en elementos

nutritivos. También en California se estima que cultivos reputados como altamente calcípetos (alfalfa, betarraga) producen muy buenos rendimientos en suelos ácidos de alto contenido orgánico (5). Aslander y otros autores (29) han logrado disminuír notablemente la fijación del fósforo en terrenos ácidos mediante la adición de materia orgánica a los fertilizantes fosfatados. La acción de la materia orgánica como contrarrestadora de la fijación del anión fosfórico se efectuaría según Williams (35), no por fijación de este anión en el coloide húmico, cuya capacidad a este respecto es muy limitada sino por combinación del fósforo en forma orgánica, a través de la actividad microbiana, y su posterior liberación por descomposición de los compuestos orgánicos. Dicha acción sería más bien lenta; un efecto más inmediato se podría explicar por la competencia que el anión húmico y los ácidos orgánicos ejercen respecto al anión fosfórico para fijarse a las cargas positivas de los sesquióxidos de fierro y aluminio (7 y 29).

Es sabido que la agricultura chilena tiene una gran necesidad de abonos fosfatados, especialmente de Maule al Sur. Siendo esta zona de suelos más o menos ácidos, es presumible que esta necesidad de fósforo provenga, por lo menos en parte, de la fijación provocada por el hierro libre. Es esta, entonces, la zona que tendría necesidad de encalado por este motivo; cabe esperar también que esta necesidad sea menor en los suelos de mayor contenido de materia orgánica y en aquellos que hayan recibido dosis fuertes de abonos fosfatados. El grado de acidez del suelo en el que se empieza a manifestar la fijación del fósforo por el hierro y el aluminio libre ha sido estimado por Truog (30) en 6,5. Lyon y Buckman (17) admiten un pH de 5,6 como todavía libre de fijación excesiva. Russell (25) estima que este límite no se puede fijar desde que las diversas plantas tienen distinta capacidad de resistencia a la acidez del suelo (vale decir en este caso, diversas exigencias fisiológicas en cuanto al fósforo y distinta capacidad de extraer este elemento del suelo). Este mismo autor da para el trigo un pH óptimo de 6.

Wainer (34) ha determinado el pH de 1.400 muestras de suelos chilenos tomados de Norte a Sur del país; su trabajo muestra claramente la disminución del pH de Norte a Sur.

Si aceptamos el pH óptimo para el trigo dado por Russell, pH 6, como límite de la necesidad de cal en Chile, las cifras determinadas por Wainer indicarían la zona de Curicó como aquella al Sur de la cual habría que encalar.

Si se considera el pH óptimo para el trébol, aproximadamente 6,5, habría necesidad de cal al sur de la provincia de Colchagua.

Si bien la exportación de calcio por las cosechas es relativamente escasa, la pérdida en las aguas de drenaje es considerable. Cifras obtenidas de experimentos en lisímetros (7 y 17) hacen subir esta pérdida a unos 300 Kg. de CaO/Há. al año para rotaciones normales en los países

en que se efectuaron los experimentos. No hay datos que permitan calcular dicha pérdida en nuestras condiciones, pero es muy probable que ella no sea de consideración en la región central y que vaya aumentando hacia el sur, donde tal vez alcance cifras semejantes a las citadas anteriormente. La importancia que se atribuya a esta pérdida depende de la importancia que se atribuya a la acidez del suelo y a la posibilidad y economía de contrarrestar sus malos efectos mediante otros sistemas culturales que no sean la corrección directa del pH.

Es lícito suponer que algunos suelos hayan alcanzado un estado de equilibrio entre el calcio eliminado en las aguas de drenaje y el que entra paulatinamente al sistema activo del suelo procedente del intemperismo del material original. Desde un punto de vista conservacionista, y si no se atribuye un papel directo a la acidez por sí misma, el problema de la pérdida del calcio por drenaje es menos importante que el de la pérdida por drenaje del azufre, elemento que es eliminado por drenaje en forma más alarmante que el calcio, si se considera la proporción relativa de reservas del suelo y necesidades de las cosechas en ambos elementos nutritivos.

El papel del encalado en la formación y estabilidad de una estructura granular estable en el suelo arable es poco claro y como dice Russell: "las experiencias de laboratorio no han, hasta el momento, demostrado los beneficios prácticos que los agricultores siempre han atribuído a las aplicaciones de cal". Este mismo autor, opina, basándose, en observaciones de otros investigadores que el efecto favorable que a veces se observa en la granulación del suelo después del encalado, se debe a efectos secundarios derivados de un incremento en la actividad biológica del suelo. En los ensayos de aplicación de cal efectuados por el Departamento de Investigaciones Agrícolas no se ha observado a simple vista una mejora en la granulación en ninguno de los suelos en que se han efectuado los ensayos, uno de los cuales es bastante arcilloso: la tierra roja de Collipulli.

Siempre se ha estimado a la cal como un estimulante de la vida del suelo; esta acción es importante especialmente en la nitrificación y en la fijación del nitrógeno. En los ensayos efectuados en Chile se ha notado sólo excepcionalmente cierta interacción entre nitrógeno y cal, a pesar de que muchos suelos del sur del país reúnen las condiciones de tener un alto nivel de materia orgánica, un bajo nivel de nitrógeno aprovechable en la época en que este es necesario y, al mismo tiempo tienen un pH generalmente más bajo que el óptimo corrientemente asignado a las bacterias nitrificadores y fijadores de nitrógeno. Es posible, sin embargo, que le sea dado a la cal desempeñar este papel en nuestro país, cuando se habiliten las grandes extensiones de ñadis (suelos pantanosos) que existen en el sur, especialmente en las provincias de Osorno y Llanquihue.

Queda por considerar el efecto negativo que pueden tener las aplicaciones de cal cuando estas se efectúan sobre suelos que ya están cercanos o han pasado del límite de la neutralidad. Estos efectos se refieren especialmente a la fijación en forma no aprovechable de algunos elementos nutritivos, especialmente el fósforo, el potasio, el fierro y el manganeso.

No hay observaciones ni se ha notado en los ensayos efectuados en Paine, pH 7,5, una interacción entre cal y fósforo o potasio. En cambio, hay alguna base para estimar que las clorosis por carencia de fierro y manganeso se presentan con alguna frecuencia en los valles del Maipo y del Mapocho, regados con aguas que contienen bastante cal y que alcanzan frecuentemente pHs superiores a 8 (27).

Experimentación nacional anterior a este trabajo

Los únicos ensayos sobre el asunto de que se trata realizados anteriormente en el país que por su extensión geográfica y su repetición durante varios años, tienen importancia agronómica, son los realizados por el Departamento de Investigaciones Agrícolas, ensayos de los cuales se ha informado en "7 años de Investigaciones Agrícolas" (16). En estos experimentos se ensayaron independientemente los 4 elementos fundamentales (N, P, K, Ca) y todas sus combinaciones posibles (16 en total incluyendo al testigo). En el cuadro Nº 1 se resume el efecto medio de

CUADRO Nº 1

Estación	Efecto medio de							Nº de años de ensayo	Promedio de unidades fertilizantes aplicadas Kg/Há.			
	N	P	K	Ca	PCa	KCa	NCa		N	P_2O_5	K_2O	CaO
Ovalle	—0,1	—0,1	0,1	—0,3	0,1	0,4	1,0	4	32	63	60	581
Los Andes	1,7	0,1	0,7	0,2	2,5	—0,1	—1,5	5	32	65	60	492
Paine	7,0	1,4	0,9	—0,2	—0,4	1,1	—1,5	3	35	77	53	745
Ninquihue	3,2	1,1	—0,3	—0,3	—1,2	0,0	1,1	1	32	60	90	1000
Cauquenes	2,5	1,9	1,3	1,1	—0,2	0,0	0,5	5	32	65	60	492
Quilpolemu	—0,2	6,8	—1,3	2,8	1,2	—1,5	—2,8	1	50	100	50	900
Chillán	6,0	—0,6	0,3	0,2	—1,2	—0,3	—0,4	3	32	53	60	441
Los Angeles	1,4	10,3	0,5	0,0	—0,1	0,6	—0,1	2	32	75	60	960
Collipulli	1,1	6,0	0,9	2,5	0,6	—0,1	—0,4	6	33	69	57	593
Victoria	3,7	3,1	0,6	1,4	0,0	—0,1	—2,5	5	32	65	60	492
Temuco	0,3	1,3	0,3	1,2	0,6	1,3	—0,1	4	32	53	60	385
Osorno	1,5	5,7	0,9	0,2	—2,6	0,0	—0,7	6	33	69	57	647
Centinela	1,1	3,2	—1,4	—1,6	—1,1	—2,0	1,1	1	32	60	60	920

Efecto medio de los diversos elementos y sus interacciones con calcio en los ensayos de 4 elementos en trigo (1940-1946). Qq.mm/Há.

los elementos aplicados en cada una de las Estaciones; además se ha calculado —a base del cuadro de la página 186 de "7 años de Investigaciones Agrícolas")— las interacciones entre el calcio y los demás elementos fertilizantes. Puede notarse que, en la mayoría de las Estaciones al sur del Maule hay un efecto favorable de la aplicación de cal. Este efecto es, sin embargo, muy inferior al obtenido en las mismas Estaciones por medio de la aplicación del fósforo. En Collipulli, Victoria y Quilpolemu es donde se ha obtenido un mayor efecto absoluto del encalado; en Cauquenes el efecto también ha sido comparativamente considerable si se toma en cuenta el bajo rendimiento medio de esta estación: 5,8 qq/Há. En Los Angeles, Osorno y Centinela no hubo prácticamente efecto de la cal. En general, el efecto de las interacciones es bastante inferior al de los elementos mismos y resulta difícil saber si algunos de los efectos obtenidos tienen algún significado; cabe sí, hacer notar que la mayoría de las interacciones N Ca son negativas y algunas son de cierta importancia (Quilpolemu, Victoria). Las dosis de aplicación de cal en estos ensayos fueron aumentando de año en año y es por esto que el promedio de unidades aplicadas en las diversas Estaciones es bastante variable, dependiendo del número de años de ensayos y de cuales hayan sido los años en que se realizaron los ensayos en cada una de las Estaciones. Este aumento gradual de la dosis de aplicación no ha tenido un efecto claro sobre los rendimientos como puede apreciarse en el cuadro Nº 2 en que se vé el efecto de la encaladura en cada uno de los años en que se efectuó el ensayo.

El efecto de las dosis de encalado se complica por el hecho de que en los primeros años se aplicó cal apagada y en los 3 últimos años, carbonato de calcio. Sin embargo, el efecto del carbonato no ha sido inferior al de las otras formas de encalado, como se puede apreciar comparando las cifras de 1943 y 1944, años en que las dosis de aplicación fueron muy similares.

En resumen, estos ensayos dejan bastante bien establecida la necesidad de cal en gran parte de los suelos al sur del río Maule, pero al mismo tiempo acusan claramente un efecto bastante menor de la cal sobre el cultivo del trigo que el de los abonos fosfatados y nitrogenados. Los efectos de interacción con otros elementos y de dosis son poco claros y de significación dudosa, lo que no es raro, ya que los ensayos anteriores a 1947 fueron diseñados solamente para investigar la importancia relativa de los diversos elementos fertilizantes en las distintas zonas del país. La dilucidación de los problemas más específicos relacionados con el encalado, tales como dosis e interacción con otros elementos fué dejada para la experimentación posterior, parte de la cual es materia del presente trabajo.

La época de aplicación de la cal en los ensayos anteriormente descritos fué casi siempre 1 mes o 15 días antes de la siembra. Sin em-

CUADRO Nº 2

EFECTO MEDIO EN LOS DIVERSOS AÑOS DE LA APLICACION DE CAL EN LOS ENSAYOS DE 4 ELEMENTOS EN TRIGO (1940-1946) QQ.MM/HA.

Año	Kg. CaO aplicados	Forma de aplicación	ESTACION												
			Ovalle	Los Andes	Paine	Cauquenes	Ninquihue	Quilpolemu	Chillán	Los Angeles	Collipulli	Victoria	Temuco	Osorno	Centinela
1940	270	Cal apagada		—0,4		1,6					3,9	—1,1	1,2	0,0	
1941	270	Cal apagada	—0,6	0,0	—0,5	1,7			0,0		1,5	1,4	2,2	—0,1	
1942	270	Cal apagada	—0,2	0,4		0,3			0,7		3,6	1,3	1,6	—3,2	
1943	920	Carbonato	—0,4	2,3		0,1			—0,6	0,7	1,6	2,8	—0,5	0,9	—1,6
1944	1.000	Carbonato	—0,1	—1,2	0,0	1,7	—0,3			—0,7	3,9	2,6		3,5	
1945	1.400	Carbonato			0,0						0,4				
1945	1.420	Carbonato												0,1	
1946	1.100	Carbonato													
1946	900	Carbonato						2,8							

bargo, en Collipulli en 1945 se aplicó en el barbecho anterior a la siembra, obteniéndose ese año un efecto de la cal bastante más bajo que el obtenido otros años en esa misma estación. En el ensayo efectuado en Quilpolemu, en cambio, se aplicó la cal junto con la siembra y el resultado fué bastante satisfactorio, sobre todo si se considera el bajo rendimiento del trigo en ese ensayo, 7 qq/Há.

Algunos de estos ensayos de 4 elementos en trigo se dejaron para medir el efecto residual de los abonos en la empastada de trébol, que acostumbra seguir al trigo en nuestras rotaciones. El efecto residual de los abonos sobre el trébol resultó muy parecido en sus líneas generales al efecto obtenido sobre el trigo el año anterior, con la salvedad de que no se notó efecto residual del nitrógeno (el que había sido aplicado en forma nítrica).

El fósforo se mantuvo casi siempre como el elemento crítico para el trébol con manifiesta superioridad sobre la cal en Cauquenes, Collipulli, Victoria y Osorno.

Sin embargo, en uno de los 2 ensayos de efecto residual efectuados en Collipulli, la cal pasó a ser el elemento crítico, en forma más notable aún que lo que había sido el fósforo para el trigo el año anterior.

Fuera de los ensayos en el terreno, el Departamento de Investigaciones Agrícolas ha probado la acción de los fertilizantes N, P, K y de la cal en experimentos en maceteros provenientes de diversos suelos representativos de la provincia de Bío-Bío (26). Los suelos eran especialmente trumaos, arcillas rojas y arenas. La cal se aplicó en una dosis aproximada de 5.000 Kg. de CaO por Há. y las plantas usadas en los experimentos fueron trigo, cebada y trébol.

En general, la aplicación de cal acusó resultados ligeramente negativos, especialmente en el caso del trébol; el autor lo atribuye a que estos 5.000 Kg. de CaO muy bien mezclados en el suelo y aplicados en forma de Ca (OH)2 pudieron ejercer un efecto muy superior a la cal aplicada en la forma en que se hace corrientemente en el campo.

Descripción de los ensayos realizados y resultados obtenidos

Los ensayos en el terreno cuyos resultados se indican en este trabajo se realizaron todos en bloques sembrados con 5 repeticiones; los rendimientos han sido analizados según el método del análisis de la variancia de Fisher; las parcelas fueron del ancho de la máquina sembradora(aproximadamente 2 m.) por 5 m. de largo, con excepción de los verificados en 1947 que tuvieron 10 m. de largo. En cada Estación Experimental los ensayos se verificaron en potreros a los cuales les correspondía siembra de trigo de acuerdo con la rotación corriente del fundo; estos potreros habían recibido abono por parejo para el cultivo anterior de trigo, o sea, unos 4 años antes. La cantidad de abonos reci-

bida con anterioridad a los ensayos, es en realidad superior al promedio de los respectivos fundos de cada región aunque no extraordinaria. En el caso de los fosfatos, es muy improbable que este hecho tenga mucha significación, dada la respuesta siempre constante que experimentan estos suelos a la abonadura fosfatada después de cada rotación; los abonos nitrogenados no tienen efecto residual en estos suelos y en cuanto a la cal, las cifras de pH qué se señalan más adelante indican que esta no había sido aplicada en cantidad suficiente como para producir un cambio importante en la acidez activa salvo tal vez en Cauquenes. Hay, sin embargo, un efecto general de las abonaduras anteriores y de las buenas prácticas culturales que es conveniente considerar: es probable que estas hayan producido indirectamente un aumento del nivel general de fertilidad del suelo, especialmente en lo que se refiere a sus condiciones físicas: granulación, capacidad de retención de agua, etc. De acuerdo con las leyes de crecimiento de los vegetales (Michsterlich) el efecto de los abonos en estos suelos sería superior en cantidades absolutas a aquellos similares que no hubieran sido cultivados en la misma forma; este es uno de los motivos de porqué los gráficos correspondientes a los resultados de estos ensayos se presentan en forma de porcentajes; otros motivos son: eliminación de las variaciones estacionales y comparación adecuada de los resultados en las diversas estaciones.

Suelos en que se realizaron los ensayos:

Cauquenes: Topografía de lomajes. Suelos primarios derivados de material granítico. Textura franco-arenosa. Agricultura de secano. Rotación: a base de trigo, 2 o 3 años de pasto, barbechándose en el último de estos años —trigo—. Hasta hace poco, había únicamente pasto natural; en los últimos años se ha introducido el trébol encarnado y la pimpinela.

Precipitación media anual: 800 mm. concentrada especialmente entre Mayo y Septiembre. Este fundo presenta cierto grado de erosión; esta circunstancia, así como las condiciones climáticas y el régimen cultural tienen por efecto el que el nivel de la materia orgánica sea bajo: más o menos 3%. La acidez del suelo de la Estación experimental parece haber variado debido a las aplicaciones de cal efectuadas en el barbecho. Así, en las determinaciones efectuadas entre 1940 y 1944 el pH era inferior a 5 (16). En cambio, en las determinaciones efectuadas en 1951 y 1952 sobre parcelas testigos de los ensayos que se describen aquí, el pH fué alrededor de 6. Serie de Suelos: "Cauquenes".

Quilpolemu: Suelo del mismo origen que el de Cauquenes pero de textura algo más arcillosa. Existe en esta región una vegetación natural más abundante derivada de un mejor régimen pluvial.

La rotación que se sigue en el fundo en que se hizo la experiencia es algo más larga que la que se sigue en Cauquenes. El grado de erosión

es menor al de Cauquenes en el potrero en que se efectuó la experiencia. Cultivo de secano.

Es probable que la materia orgánica sea superior a Cauquenes y el pH algo superior (6,8).

Se trata de un predio privado, en que no existía la costumbre de aplicar abonos.

Serie de Suelos: "Cauquenes".

Los Angeles: Es un "trumao", o sea un suelo de textura franco-arenosa fina, de origen volcánico y de deposición probablemente eólica, muy permeable y fácil de trabajar. Agricultura de riego con la siguiente rotación: chacra —trigo asociado con trébol— trébol 2 o 3 años — chacra o nuevamente trigo con trébol—. El pH es poco más de 5,5 y parece haber variado muy poco con las anteriores aplicaciones de cal. El nivel de materia orgánica es alrededor de 16%.

Precipitación media anual: 1.300 mm. Series de suelos: "Humán" y "Arrayán".

Collipulli: Suelo arcilloso, rojo, de deposición glacial y material de origen volcánico. Presenta cierto grado de erosión, pero ha sido mejorado en los últimos 12 años mediante una buena rotación cultural que incluye 2 o 3 años de trébol encarnado entre los cultivos de trigo. Secano.

Precipitación media anual: 1.300 mm., concentrada entre Mayo y Septiembre. El pH es alrededor de 5,5; parece haberse elevado un poco con las aplicaciones de cal. La materia orgánica es de alrededor de 8%.

Serie de suelos: "Collipulli".

Victoria: "Trumao" depositado sobre material glacial que se encuentra a poca profundidad. Lomajes con cultivo de secano y rotación a base de trigo y 2 o 3 años de trébol rosado.

Secano. Precipitación media anual: 1.700 mm., concentrada de Mayo a Septiembre. El pH es de más o menos 5,8 y la materia orgánica alcanza 11%. Serie de suelos: "Victoria".

Chufquén: Este suelo pertenece a la misma serie que Collipulli pero debido a su topografía no presenta erosión.

Además es regado y se sigue una rotación a base de trigo y trébol rosado en vez de trébol encarnado como en Collipulli: No se tienen análisis de este suelo; probablemente el contenido de materia orgánica y el pH sean superiores a los de Collipulli. En este fundo se coloca cal y abonos en cantidades superiores a las empleadas en las Estaciones Experimentales.

Temuco: "Trumao" regado poco profundo, de topografía plana.

Rotación: trigo y 2 o 3 años de trébol rosado. El pH, cercano a 6, parece haber subido algo con las anteriores aplicaciones de cal. Materia orgánica muy elevada, superior a 18%.

Serie de suelos: "Temuco". Precipitación media anual: 1.350 mm.

Osorno: "Trumao" de secano, muy profundo y orgánico (más de

18%). Precipitación: media anual 1.350 mm., con bastantes lluvias de primavera y verano. Rotación a base de trigo y 3 años de pradera (trébol y pasto ovillo). pH, alrededor de 5,7. Serie de suelos: "Osorno".

Curvas de titulación potenciométrica de los suelos ensayados

En muestras tomadas de las parcelas testigos de los ensayos efectuados en 1949 y 1950 se determinó en el laboratorio el poder tampón de los suelos ensayados en relación al pH.

Los datos analíticos obtenidos se encuentran en el cuadro Nº 3. Puede observarse que existe una muy buena correlación entre los resultados obtenidos en las 2 muestras de cada estación. Es, por lo tanto, permisible obtener un promedio que refleje la conducta de cada uno de estos suelos en cuanto a su capacidad para alterar su pH por medio de la adición de bases; estos promedios están representados por medio de curvas en el gráfico Nº 1.

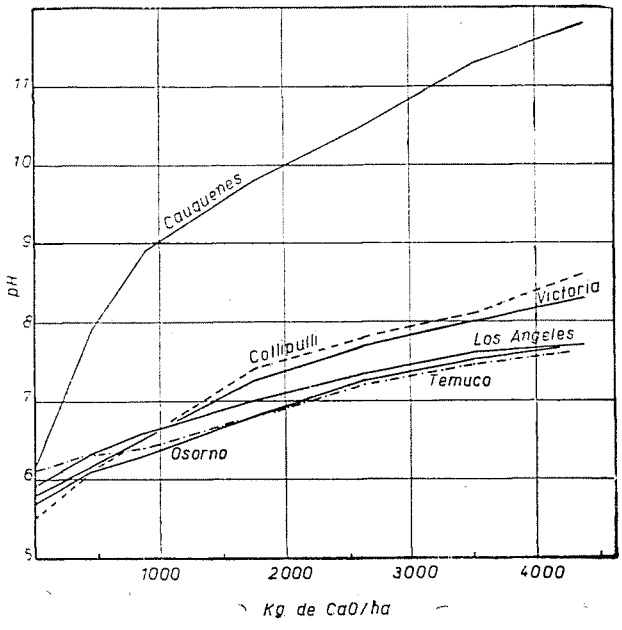


GRAFICO Nº 1
Titulación potenciométrica de los suelos ensayados.

Las curvas de titulación potenciométrica expuestas en este gráfico indican la resistencia de cada uno de estos suelos para alterar su pH cuando son tratados por dosis crecientes de hidróxido de calcio. Como es sabido, esta resistencia o capacidad "tampón" de los suelos está directamente relacionada con su contenido en coloides y con su nivel de materia orgánica. Los resultados expresados en el gráfico Nº 1 com-

CUADRO Nº 3

TITULACION POTENCIOMETRICA DE LOS SUELOS ENSAYADOS pH OBTENIDO POR LA AGREGACION DE HIDROXIDO DE CALCIO (EN EL LABORATORIO)

Suelos		cc de Ca $(OH)_2$ N/40 por 2 gr. de suelo: 0	½	1	2	3	4	5
		Correspondencia en Kg. de CaO por Há. 0	441	883	1765	2648	3531	4413
Cauquenes	1950	6.28	8,02	8,82	9.52	10,48	11.18	11.68
"	1951	6.03	7.93	9.00	10.00	10,92	11.51	11.85
Los Angeles	1949	5.90	6,15	6.50	6.92	7,32	7.50	7.65
"	1950	5.90	6.40	6.65	7.15	7.40	7.68	8.10
Victoria	1949	5.90	6.25	6.61	7.18	7.55	7.94	8.20
"	1950	5.70	6.07	6.52	7.35	7.83	8.01	8,40
Temuco	1949	5.95	6.10	6.25	6.63	7.01	7.15	7,35
"	1950	6,21	6.45	6.61	7.10	7.45	7 74	7,89
Osorno	1949	5.60	5.97	6.25	6.85	7.40	7.65	7.90
"	1950	5.85	6.20	6.41	6.75	7.13	7.41	7.98

prueban en sus líneas generales este aserto: Cauquenes, suelo arenoso y de bajo nivel orgánico es fácilmente alterado por las aplicaciones de cal. No sucede lo mismo con los trumaos y con la arcilla roja de Collipulli, que oponen una mayor resistencia físico-química a la acción del encalado. El suelo rojo de Collipulli, a pesar de ser más arcilloso que los trumaos altera su acidez activa con mayor facilidad que aquellos, lo que es tal vez, un índice de su menor contenido orgánico. Entre los trumaos, la curva de Victoria es la que más se asemeja a la de Collipulli, y es también, de esos suelos, el de menor contenido en materia orgánica. Las curvas de Los Angeles, Temuco y Osorno, suelos de alto contenido orgánico, son las que representan un mayor poder tampón; sobresale especialmente en este sentido la de Temuco.

Descripción de los ensayos

Los ensayos de 1947 fueron simples y consistieron en dosis crecientes de carbonato de calcio recibiendo las parcelas tratadas una aplicación general de fósforo y nitrógeno; para la dosis más alta, se agregó un tratamiento sin fósforo ni Nitrógeno (cuadro Nº 4).

Los abonos fosfatados fueron aplicados con la siembra tanto en los ensayos de 1947 como en los posteriores. El salitre en 2 aplicaciones: una con la siembra y la otra a principios de primavera. La cal se aplicó junto con la siembra excepto en 2 casos: en Temuco, 1947, donde se

CUADRO Nº 4

ENSAYO DE DOSIS DE ENCALADURA EN TRIGO. 1947

Nº	Abonos aplicados	Rendimiento qq/Há.			
		Los Angeles	Temuco	Osorno	Centinela
1	N P	16,0	27,2	40,1	63,0
2	N P Ca_1	15,8	24,5	43,0	61,0
3	N P Ca_2	16,0	27,5	44,6	57,0
4	N P Ca_3	14,7	28,2	42,7	61,0
5	N P Ca_4	14,9	27,2	43,3	63,5
6	Ca_4	12,9	23,9	38,4	51,5
7	Testigo sin abono	11,7	21,0	39,7	52,0
Dif. Sign. P. 5%		3,6	5,8	No hay	2,2

N = 200 Kg./Há. salitre sódico = 32 Kg./Há. N. nítrico.
P = 500 Kg./Há. fosfato Melón = 92 Kg./Há. P_2O_5 soluble al Joulié.

Ca_1 = 1.250 Kg./Há. carbonato de calcio = 538 Kg./Há. CaO.
Ca_2 = 2.500 Kg./Há. carbonato de calcio = 1.076 Kg./Há. CaO.
Ca_3 = 5.000 Kg./Há. carbonato de calcio = 2.152 Kg./Há. CaO.
Ca_4 = 10.000 Kg./Há. carbonato de calcio = 4.304 Kg./Há. CaO.

OBSERVACIONES: La cal fué aplicada y enterrada inmediatamente antes de la siembra en Los Angeles, Osorno y Centinela. En Temuco se aplicó 2 meses antes.

aplicó 2 meses antes y en Chufquén, 1948 en donde se aplicó con la cruza del barbecho.

Los ensayos de 1948 y siguientes (cuadros Nº 5, 6, 7 y 8) fueron factoriales, haciéndose variar tanto las cantidades de cal como de fosfato aplicadas. Se hizo esto en la sospecha de que, dado el pH ácido de los suelos ensayados, podía existir interacción entre la encaladura y la absorción del fósforo en el suelo.

El fosfato empleado fué el llamado comercialmente "Melón" que es un fosfato fundido preparado por la acción a alta temperatura del sulfato de sodio y la cal sobre la apatita. Este fosfato es bastante aprovechable por las plantas. Contiene más o menos un 22% de P_2O_5 total y un 18 a 20% soluble al citrato de amonio neutro o amoniacal. Además contiene alrededor de un 30% de CaO, lo que se ha tomado en cuenta al especificar en los cuadros y gráficos las cantidades de óxido de calcio aplicadas.

Las cantidades de abono saplicadas en 1947 se indican en el cuadro Nº 4. Las cantidades de carbonato de calcio y fosfato Melón aplicadas en los ensayos de 1948 y posteriores fueron las siguientes (*):

(*) Estas cantidades son promedios de todos los ensayos. Las cantidades variaron ligeramente de año en año debido a variaciones de concentración en los abonos.

CUADRO Nº 5

ENSAYOS DE DOSIS DE APLICACION DE CAL Y FOSFORO AL TRIGO. 1948. RENDIMIENTOS EN QQ./HA.

			Ca_0	Ca_1 500 K. CaO/Há.	Ca_2 1000 K CaO/Há.	Ca_3 2000 K. CaO/Há.	Ca_4 4000 K. CaO/Há.
P_0							
P_1 = 50 Kg., P_2O_5 + 90 Kg. CaO/Há.							
P_2 = 175 Kg., P_2O_5 + 315 Kg. CaO/Há.							
P_3 = 300 Kg., P_2O_5 + 540 Kg. CaO/Há.							
Cauquenes							
		P_0	15,2	17,6	16.2	15,0	19,2
Rend. del testigo:	8,4	P_1	16,5	18,0	15,5	19,3	18,1
Dif. Signif. P. 5%:	5,0	P_2	20,1	19,3	17,8	20,9	19,9
		P_3	22,1	21,3	20,1	19,0	20,2
Quilpolemu							
		P_0	10,7	15,3	12,3	14,7	17.0
Rend. cal testigo:	8,3	P_1	19,7	16,5	17,5	17,3	17.0
Dif. Signif. P. 5%:	5,6	P_2	16,8	17,5	16,3	17,0	18,3
		P_3	20,0	16,5	17,8	18,3	23.8
Los Angeles							
		P_0	25,6	26,9	27,4	30,1	31,0
Rend. del testigo:	23.9	P_1	31.5	33.5	32,9	34,0	33.3
Dif. Signif. P. 5%:	5,3	P_2	38,5	38,3	39,5	41,7	37,3
		P_3	41,7	42,6	42,1	43,0	45,6
Collipulli							
		P_0	12,5	14,0	14,4	15,0	19.5
Rend. del testigo:	10,6	P_1	18,1	22,1	23,9	22,8	23.0
Dif. Signif. P. 5%:	4,0	P_2	27,6	30,3	29,4	33,3	33,4
		P_3	32,9	34,9	30,4	35,4	33.5
Victoria							
		P_0	17,1	25,3	22,6	28,2	28.8
Rend. del testigo:	21,8	P_1	24,7	35.9	30,6	35,3	33.5
Dif. Signif. P. 5%	10.6	P_2	31,8	37,9	32,1	29,1	34.7
		P_3	45,6	39,7	28,8	30,6	46,8
Chufquén							
		P_0	25,1	23,8	24,6	22,9	27.0
Rend. del testigo:	21,2	P_1	25,1	30,2	30,4	25,5	24,8
Dif. Signif. P. 5%	6,7	P_2	32,8	31,4	35,2	32,6	33,5
		P_3	31,3	40,5	35,4	29,7	30,6
Temuco							
		P_0	31,1	32,2	31,6	29,4	36.7
Rend. del testigo:	24,4	P_1	29,4	34,4	33,9	35,0	35.0
Dif. Signif. P. 5%:	8,6	P_2	35,0	40.0	36,9	35,8	44,4
		P_3	40,5	34,4	37,8	38,3	42.2
Osorno							
		P_0	38,9	41,9	40,4	45,2	44.7
Rend. del testigo:	38,6	P_1	39,4	43,3	42,5	46,4	42,7
Dif. Signif. P. 5%:	No hay	P_2	45,4	45,2	45,0	46,2	47,8
		P_3	46,2	46,4	48,7	45,1	47,3

NOTA: Todos los tratamientos menos el testigo recibieron una aplicación de salitre sódico de 300 Kg./Há. (48 Kg. de N nítrico).

Ca_1 = 1188 Kg. de carbonato de calcio de 42% de CaO
Ca_2 = 2376 Kg. de carbonato de calcio de 42% de CaO
Ca_3 = 4752 Kg. de carbonato de calcio de 42% de CaO
Ca_4 = 9504 Kg. de carbonato de calcio de 42% de CaO
P_1 = 258 Kg. de fosfato Melón de 19,3% de P_2O_5 soluble al citrato de amonio.
P_2 = 903 Kg. de fosfato Melón de 19,3% de P_2O_5 soluble al citrato de amonio.
P_3 = 1548 Kg. de fosfato Melón de 19,3% de P_2O_5 soluble al citrato de amonio.

Resultados de los ensayos. — Los resultados, expresados por los rendimientos obtenidos, se encuentran en los cuadros Nº 4, 5, 6, 7 y 8. Como el diseño de los ensayos de 1947 es distinto de los de 1948 adelante, se analizarán separadamente los resultados de 1947.

Ensayos de 1947 (cuadro Nº 4). — En Los Angeles, hubo un buen efecto de la aplicación de abonos fosfatados y nitrogenados. En presencia de estos abonos, la cal no ha producido efecto positivo; por el contrario, se acusa una ligera tendencia a un efecto depresivo de las dosis altas. La cal aplicada sola, en la dosis máxima (10.000 Kg. de carbonato por Há.) produjo un aumento de rendimiento de 1,2 qq/Há., no significativo para el nivel de 5% de probabilidades.

En Temuco, hubo un buen efecto positivo de N P; como en Los Angeles, no hubo efecto de la cal en presencia de N P; ligero efecto, no nignificativo de la cal aplicada sola en la dosis más alta.

En Osorno, ningún tratamiento produjo efectos significativos. No hay ningún efecto de N P ni de la cal aplicada sola. En presencia de N P, los tratamientos con cal tuvieron rendimientos ligeramente superiores a N P solo.

En Centinela, se acusó un gran efecto de N P. No hubo ningún efecto de la cal ni en presencia ni en ausencia de N P.

En resumen, en 1947, hubo en 3 de las 4 estaciones en que se realizaron ensayos, un marcado efecto de la aplicación conjunta de abonos fosfatados y nitrogenados. En cambio, la encaladura no produjo efectos significativos.

Ensayos de 1948, 1949 1950 y 1951 (cuadros Nº 5, 6, 7 y 8)

Cauquenes:

1948.—Efecto muy notable de la cal aplicada sola y algo menor, en presencia de una aplicación de 50 Kg. de P_2O_5. En presencia de aplicaciones mayores de fósforo, la cal no incrementa los rendimientos. El

CUADRO Nº 6

ENSAYOS DE DOSIS DE APLICACION DE CAL Y FOSFORO AL TRIGO. 1949. RENDIMIENTOS EN QQ./HA.

			Ca_0	Ca_1 500 K. CaO/Há.	Ca_2 1000 K CaO/Há.	Ca_3 2000 K. CaO/Há.	Ca_4 4000 K. CaO/Há.
P_0							
P_1 = 50 Kg., P_2O_5 + 90 Kg. CaO/Há.							
P_2 = 175 Kg., P_2O_5 + 315 Kg. CaO/Há.							
P_3 = 300 Kg., P_2O_5 + 540 Kg. CaO/Há.							
Cauquènes							
		P_0	7,1	8.4	8.8	8,3	9,7
Rend. del testigo:	7,0	P_1	9,4	9,7	10,8	9,6	9,3
Dif. Signif. P. 5%:	2,5	P_2	8,1	8,7	10.8	10,6	9 6
		P_3	9,3	9,8	10,5	10,4	11,8
Los Angeles							
		P_0	10,9	9,9	8 7	8.2	9,7
Rend. del testigo:	9,1	P_1	18,1	15,6	14,5	15,3	14,9
Dif. Signif. P. 5%:	3,6	P_2	19,0	13,8	14,1	13,3	17.5
		P_3	18,9	18,4	18,3	19,3	20 2
Collipulli							
		P_0	10,5	12,0	17,9	14,0	11,8
Rend. del testigo:	12,2	P_1	13,9	13,5	13,8	13.8	13,5
Dif. Signif. P. 5%:	3,8	P_2	17,9	19,4	17,7	20.5	19 3
		P_3	23,4	21,1	19,2	22,0	23 1
Victoria							
		P_0	17,9	13,4	12,3	13,4	17,0
Rend. del testigo:	19,1	P_1	15,2	15,0	16,6	16,6	15 4
Dif. Signif. P. 5%:	8,4	P_2	22,7	20,9	21,6	20,2	22,3
		P_3	26,1	24,8	21,4	20,9	23 6
Temuco							
		P_0	41,2	42,9	47,1	42,9	42,9
Rend. del testigo:	44,1	P_1	40,9	46,2	45,9	41,8	40,0
Dif. Signif. P. 5%:	6,8	P_2	45,3	43,8	46,5	46,2	41 2
		P_3	51,2	51,2	48,2	48,5	41 2
Osorno							
		P_0	16,2	16,1	15,3	16,2	13,8
Rend. del testigo:	17,5	P_1	16,8	16,2	17,9	15,1	16 9
Dif. Signif. P. 5%:	5,9	P_2	19,8	19,9	21,8	20,5	20,0
		P_3	24,2	21,2	21,5	25,6	22,7

NOTA: Todos los tratamientos menos el testigo recibieron una aplicación de salitre sódico de 300 Kg./Há. (48 Kg. de N nítrico).

efecto de la aplicación de fósforo es también muy grande, especialmente cuando no se aplica cal, o en presencia de dosis menores de 4.000 Kg. de CaO por Há.

En presencia de 4.000 Kg. de CaO por Há. no hay prácticamente efecto del fosfato. Parece acusarse en este ensayo un efecto de reemplazo

mutuo o equivalencia de la cal y del fosfato que podría expresarse así: cuando se ha aplicado bastante cal, no ha sido necesario aplicar fosfato y cuando se ha aplicado bastante fósforo, no ha sido necesaria la encaladura.

1949.—Rendimiento del trigo menor que en el año anterior.

Efecto también menor en cantidades absolutas del fósforo y de la cal. A diferencia de lo sucedido en 1948, en este año los efectos de aplicación de fósforo y de la encaladura tienden a complementarse, en vez de reemplazarse mutuamente; así la fórmula que produce el más alto rendimiento es la que reúne la dosis más alta de P y de Ca.

1950.—Efecto muy grande de la encaladura y aún mayor del fósforo, que casi hace doblar el rendimiento en ausencia de cal. El efecto del fósforo es menor, en presencia de dosis elevadas de cal y el efecto de la cal desaparece en presencia de dosis elevadas de fósforo.

O sea, hay un efecto de reemplazo, parecido al de 1948, pero ahora, la cal no es capaz de reemplazar completamente al fosfato; en cambio las dosis altas de fósforo, hacen inútil el empleo de cal.

1951.—Efecto marcado del encalado y mayor aún de la aplicación de fosfato. El efecto del fosfato tiende a disminuír en presencia de aplicaciones altas de cal y el efecto de la cal casi desaparece en presencia de aplicaciones fuertes de fósforo. Es decir, la tendencia general de este ensayo es muy parecida a la de 1950.

Quilpolemu:

1948.—Hay un gran efecto del fosfato y algo menor, de la cal. Se nota interacción de reemplazo, aunque no total ni para la cal ni para el fósforo. Así, el efecto de P disminuye en presencia de dosis altas de Ca y lo mismo sucede al efecto de Ca en presencia de dosis altas de P; vendría a ser un resultado intermedio entre Calquenes 1949 y Cauquenes 1950.

Los Angeles:

1948.—Hay un enorme efecto de la aplicación de fosfato (15 qqm/Há. para la dosis más alta), el que prácticamente se mantiene, en todos los niveles de encalado. Hay cierto efecto de la cal en ausencia de P, o en presencia de la dosis más alta, pero no en las intermedias; es probable que este efecto sea parcial o totalmente un reflejo del error experimental.

1949.—Gran efecto de la aplicación de fósforo, el que se mantiene sensiblemente igual, para cualquier nivel de encaladura. La cal no ha tenido ningún efecto positivo. Por el contrario se nota cierto efecto negativo, superior al margen de error de 5%, especialmente para las dosis de 500 y 1.000 Kg. de CaO por Há.

CUADRO Nº 7

ENSAYOS DE DOSIS DE APLICACION DE CAL Y FOSFORO AL TRIGO. 1950. RENDIMIENTOS EN QQ./HA.

			Ca_0	Ca_1	Ca_2	Ca_3	Ca_4
P_0				500 K.	1000 K	2000 K.	4000 K.
P_1 = 50 Kg., P_2O_5 + 90 Kg. CaO/Há.				CaO/Há.	CaO/Há.	CaO/Há.	CaO/Há.
P_2 = 175 Kg., P_2O_5 + 315 Kg. CaO/Há.							
P_3 = 300 Kg., P_2O_5 + 540 Kg. CaO/Há.							
Cauquenes							
		P_0	12,1	17,5	17,0	18,8	19,4
Rend. del testigo:	8,8	P_1	17,6	23,2	21,8	22,2	22,6
Dif. Signif. P. 5%:	5,3	P_2	19,6	22,0	22,5	20,8	22,1
		P_3	23,1	21,8	20,7	23,3	23,9
Los Angeles							
		P_0	12,7	11,5	12,3	11,2	10,6
Rend. del testigo:	12,4	P_1	15,2	13,6	14,0	15,0	13,3
Dif. Signif. P. 5%:	4,6	P_2	17,8	17,8	14,2	15,0	16,9
		P_3	19,1	16,1	19,3	16,5	17,3
Collipulli							
		P_0	16,7	24,9	23,9	25,3	26,4
Rend. del testigo:	16,9	P_1	24,4	25,4	30,7	28,6	30,7
Dif. Signif. P. 5%:	9,6	P_2	31,0	27,6	30,7	30,8	33,1
		P_3	30,0	33,1	36,3	33,1	34,0
Victoria							
		P_0	13,2	20,6	12,6	20,0	16,5
Rend. del testigo:	16,2	P_1	25,3	24,1	24,4	26,5	28,8
Dif. Signif. P. 5%:	10,3	P_2	25,0	26,5	33,2	30,0	34,1
		P_3	32,4	28,5	27,1	32,6	33,2
Temuco							
		P_0	45,5	41,9	42,2	41,1	45,3
Rend. del testigo:	43,9	P_1	43,3	48,0	47,2	50,6	49,2
Dif. Signif. P. 5%:	8,9	P_2	47,5	49,2	48,6	49,4	49,7
		P_3	60,5	50,0	50,6	53,1	56,1
Osorno							
		P_0	27,8	29,3	26,9	27,2	29,4
Rend. del testigo:	24,1	P_1	31,4	29,3	33,4	28,4	32,9
Dif. Signif. P. 5%:	1,1	P_2	33,6	36,4	32,9	34,4	38,2
		P_3	43,0	41,1	41,0	46,5	46,3

NOTA: Todos los tratamientos menos el testigo recibieron una aplicación de salitre sódico de 300 Kg./Há. (48 Kg. de N nítrico).

Victoria:

1950.—Efecto notable del fósforo, similar para cualquier nivel de encaladura.

No hay ningún efecto positivo del encalado. Por el contrario, parece haber cierta tendencia a un efecto negativo. Esta tendencia, aunque

CUADRO Nº 8

ENSAYOS DE DOSIS DE APLICACION DE CAL Y FOSFORO AL TRIGO. 1951. RENDIMIENTOS EN QQ./HA.

			Ca_0	Ca_1	Ca_2	Ca_3	Ca_4
P_0				500 K.	1000 K	2000 K.	4000 K.
P_1 = 50 Kg., P_2O_5 + 90 Kg. CaO/Há.				CaO/Há.	CaO/Há.	CaO/Há.	CaO/Há.
P_2 = 175 Kg., P_2O_5 + 315 Kg. CaO/Há.							
P_3 = 300 Kg., P_2O_5 + 540 Kg. CaO/Há.							
Cauquenes							
		P_0	16,2	18,4	19,0	18,8	21 6
Rend. del testigo:	11,8	P_1	21,6	22,1	21,7	24,1	22,1
Dif. Signif. P. 5%:	2,6	P_2	24,2	24,8	26,4	25,7	25,3
		P_3	24,9	25,3	26,8	26,2	26,7

NOTA: Todos los tratamientos menos el testigo recibieron una aplicación de salitre sódico de 300 Kg./Há. (48 Kg. de N nítrico).

no supera los límites del error experimental de 5%, se mantiene constante para todos los niveles de abonadura fosfatada.

Collipulli:

1948.—Enorme efecto de la aplicación de fósforo (20 qq/Há). La magnitud de este efecto acusa cierta tendencia a disminuír cuando se aumenta la dosis de encalado. El efecto del encalado es apreciable, 7 qq. en ausencia de P; este efecto tiene una tendencia clara a disminuír en presencia de dosis crecientes de fósforo, siendo prácticamente nulo cuando la dosis de fósforo alcanza a 300 Kg. de P_2O_5 por Há.

1949.—Gran efecto de P, constante para los diversos efectos de aplicación de cal. Efecto de la cal algo errático y limitado a los casos en que no se aplicó fósforo.

1950.—Efecto muy grande del fósforo; este efecto disminuye claramente en presencia de encaladuras crecientes. Gran efecto del encalado en ausencia de fósforo (10 qq/Há.); este efecto tiende rápidamente a desaparecer en presencia de fosfatos. Así, para la dosis más alta de fósforo, el efecto de la encaladura es sólo de 4 qq/Há.

1948.—Sobreponiéndose a un error experimental bastante elevado se nota un efecto muy considerable del fósforo (28 qq/Há.), que tiende a disminuír en presencia de dosis crecientes de cal. El efecto de la cal, bastante elevado en ausencia de fósforo, pasa a ser prácticamente nulo cuando se aplica fósforo aún en la dosis mínima.

1949.—Ningún efecto de la encaladura. El efecto del fósforo, bastante grande, fluctúa erráticamente en presencia de diversas dosis de cal, pero estas fluctuaciones están muy por debajo del error experimental.

1950.—El efecto del fósforo alcanza a superar el error experimental que es muy elevado en este ensayo; como en el año anterior,

las fluctuaciones son erráticas y no significativas en presencia de diversas dosis de cal. No hay efecto significativo de la aplicación de cal.

Chufquén:

1948.—No hay efecto significativo de la cal. Hay un efecto considerable del fósforo el que varía en forma errática en los diversos niveles de cal.

Temuco:

1948.—Efecto marcado de la aplicación de fósforo y uno no tan notable de la aplicación de cal. El error experimental, bastante elevado, impide ver claramente el efecto de la interacción entre ambos abonos.

1949.—Hay un notable efecto del fósforo especialmente con los niveles más bajos de aplicación de cal; este efecto pasa a ser ligeramente negativo al nivel de 4.000 Kg. de CaO por Há.

Sin embargo, aquí no ha habido un efecto de reemplazo, como en otros casos sino más bien un efecto negativo de las altas dosis de encaladura.

1950.—Efecto muy grande del fósforo. No hay efecto significativo de la aplicación de cal. Error experimental considerable.

Osorno:

1948.—A pesar de no ser significativo este ensayo para el nivel de 5% de probabilidades se nota un efecto marcado del fósforo en los 3 niveles más bajos de aplicación de cal. La cal también parece tener efecto en los 2 niveles más bajos de fósforo. Por lo tanto, parece existir un efecto de reemplazo, pero como en los casos similares, el fósforo puede reemplazar totalmente la aplicación de cal; en cambio la encaladura sólo puede llenar una parte del papel que puede ejercer el abono fosfatado.

1949.—No hay efecto de la encaladura. Hay efecto considerable de la aplicación de fósforo, el que se mantiene muy constante en los diversos niveles de encalado.

1950.—Efecto extraordinario de la aplicación de fosfato (hasta 19,3 qq/Há.); este efecto, aunque variable, se mantiene bastante constante en los distintos niveles de encaladura. El efecto de la cal alcanza a ser significativo para todos los niveles de aplicación de fósforo, si se comparan los tratamientos sin cal con los que recibieron 4.000 Kg. de CaO por Há. No hay interacción evidente y parece que en este caso los efectos de la aplicación de cal y de fosfato son aditivos.

Promedios de los resultados por estaciones

Los gráficos Nº 2, 3, 4, 5, 6 y 7 corresponden a promedios de los resultados obtenidos durante los ensayos de los años 1948, 1949, 1950 y 1951. El objeto de estos gráficos de promedios es eliminar al máximo el efecto del error experimental. Si bien los ensayos han sido suficientemente significativos como para que se acusen en general las diferencias entre los niveles inferiores y superiores de abonadura fosfatada o cálcica, no es posible, sin embargo, construír con los datos anuales de cada estación curvas que representen en forma suficientemente aproximada la tendencia de los fenómenos investigados. Las curvas de promedios obtenidas son, en general, bastante claras. Sin embargo, la confección de estas curvas elimina, no sólo el error experimental, producto de factores ajenos al ensayo, sino que también tiende a suavizar las respuestas diferentes que los tratamientos han dado en los diferentes años. Por lo tanto, el valor de estos gráficos, como pautas de generalización dependerá en cada caso de la magnitud de las diferencias entre los resultados de los diversos años, es decir de la interacción tratamientos-años. Con los datos de que se dispone no es posible determinar si estas diferencias deben atribuirse a factores climáticos, a diferencias de suelos u otros factores de orden cultural (época de siembra, preparación del suelo, etc.). En cada uno de los casos se cotejará por lo tanto la tendencia de las curvas promedios con el valor de las variaciones anuales alrededor de este promedio.

Para la comparación adecuada de los fenómenos entre las diversas estaciones los efectos en rendimiento se han expresado en porcentajes de la fórmula que no recibió fosfato ni cal (tratamiento 1).

El hecho de que las curvas de P_1, P_2 y P_3 no comiencen en la ordenada correspondiente a 0,0 Kg. de CaO por Há. se debe al 30% aproximadamente de CaO que contiene el fosfato Melón.

Cauquenes (Gráfico Nº 2). — Efecto marcado de la aplicación de cal y de fosfato. El efecto de la cal tiende a disminuír a medida que se aumenta la dosis de fósforo. En el nivel de 300 Kg. de P_2O_5 por Há. el efecto de la cal es prácticamente nulo. En cambio el efecto del fósforo, aunque se hace menor cuando se aplican encalados fuertes, siempre es de consideración. Hay aquí en promedio, lo que se ha llamado más atrás un efecto "de reemplazo", es decir el fósforo y la cal se substituyen mutuamente; en este caso la substitución de la cal por el fósforo es casi total para las dosis altas de fósforo; en cambio, la substitución del fósforo por la cal alcanza sólo a ser parcial. La curva media de esta estación refleja en forma general lo acaecido en 3 de los 4 años ensayados en esta estación. Como se vió al analizar los resultados anuales de Cauquenes en el año 1949, que fué el de menor rendimiento, hubo también efecto notorio de la aplicación de cal y fosfato, pero inferior a otros años y además con efecto aditivo, no evidenciándose interacción entre ambos tipos de abonadura.

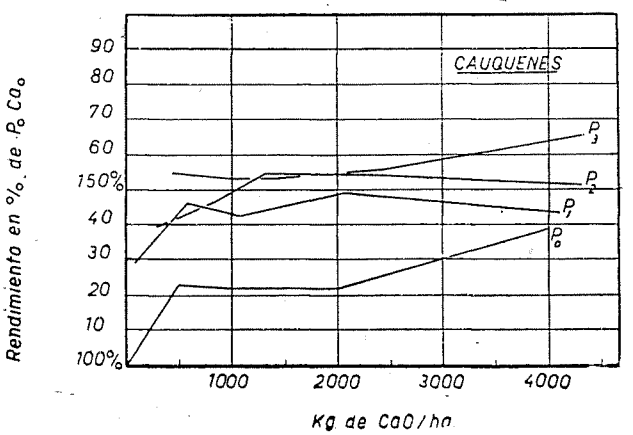


GRAFICO Nº 2
Cauquenes: Efecto medio de la aplicación de P y Ca en los ensayos factoriales de dosis de cal y fosfatos (1948, 1949, 1950 y 1951). P_1 = 50 Kg. P_2O_5/Há. P_2 = 175 Kg. P_2O_5/Há. P_3 = 300 Kg. P_2O_5/Há

Debe hacerse notar aquí que el resultado obtenido en Quilpolemu en 1948, en un suelo granítico como el de Cauquenes, en una zona cercana, coincide también en sus líneas generales con la tendencia del gráfico promedio de Cauquenes; ese ensayo acusó, efecto de la cal y del fósforo y efecto parcial de reemplazo.

Los Angeles (Gráfico Nº 3). — Las curvas promedios expresan bastante bien los resultados de los 3 años promediados y del año 1947 (no promediado): hay un efecto marcado de la aplicación de fósforo y un efecto ligeramente negativo de la aplicación de cal. Es significativo

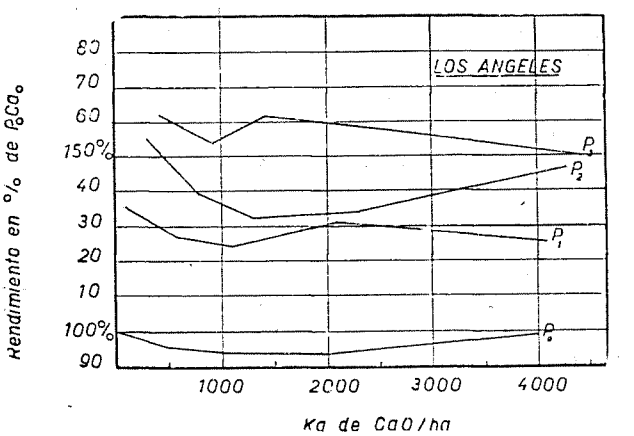


GRAFICO Nº 3
Los Angeles: Efecto medio de la aplicación de P y Ca en los ensayos factoriales de dosis de cal y fosfatos (1948, 1949 y 1950). P_1 = 50 Kg. P_2O_5/Há. P_2 = 175 Kg. P_2O_5/Há. P_3 = 300 Kg. P_2O_5/Há.

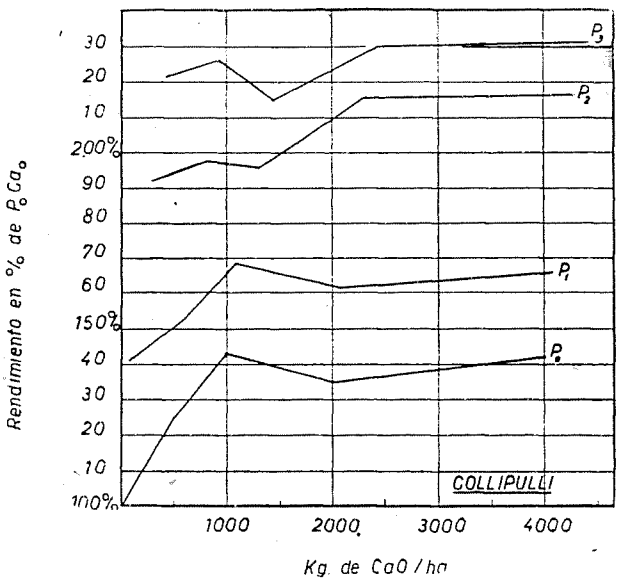


GRAFICO Nº 4

Collipulli: Efecto medio de la aplicación de P y Ca en los ensayos factoriales de dosis de cal y fosfatos (1948, 1949 y 1950). P_1 = 50 Kg. P_2O_5/Há. P_2 = 175 Kg. P_2O_5/Há. P_3 = 300 Kg. P_2O_5/Há.

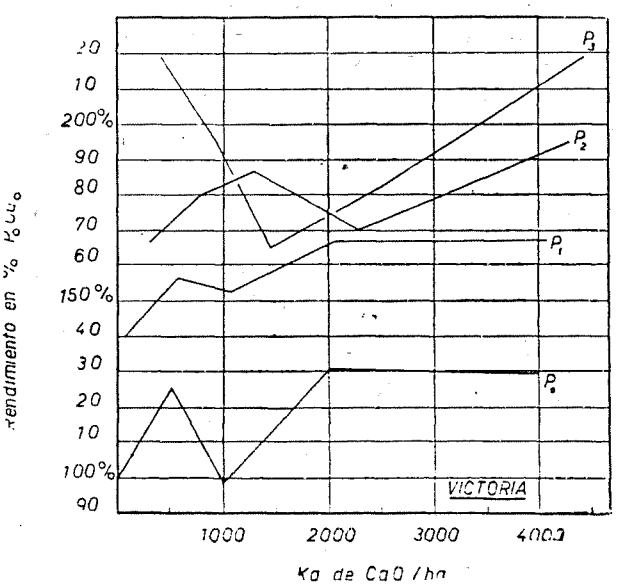


GRAFICO Nº 5

Victoria: Efecto medio de la aplicación de P y Ca en los ensayos factoriales de dosis de cal y fosfatos (1948, 1949 y 1950). P_1 = 50 Kg. P_2O_5/Há. P_2 = 175 Kg. P_2O_5/Há. P_3 = 300 Kg. P_2O_5/Há.

el hecho de que los promedios de Ca_0 (sin cal) son superiores a los promedios de Ca_4 (4.000 Kg. CaO/Há).

Collipulli (Gráfico Nº 4). — Las curvas promedias, extraordinariamente regulares, reflejan muy bien lo ocurrido en 2 de los 3 años ensayados: gran efecto del fósforo, que tiende a disminuír en presencia de encaladuras masivas y efecto menor de la cal que desaparece en presencia de grandes dosis de fosfatos. El año 1949 coincide con el promedio sólo en el gran efecto del fósforo; en ese año no hubo efecto claro de la encaladura, ni directamente, ni por interacción con el fósforo.

Los suelos de Collipulli son relacionados con los de Chufquén, fundo de la misma región, en que se hizo un ensayo en 1948. Los resultados de Chufquén coinciden bastante con los de Collipulli en 1949, es decir, hay un efecto notable del fósforo, independiente de la encaladura, la que no tuvo efecto; este ensayo se ajusta por lo tanto, al promedio de Collipulli sólo en lo que se refiere al gran efecto del fósforo.

Victoria (Gráfico Nº 5). — Las curvas medias de esta estación señalan 2 hechos generales a los 3 años en que se efectuó el ensayo: un marcado efecto del fósforo y un error experimental elevado, que se manifiesta en este gráfico por el cruce de las curvas correspondientes a P_2 y P_3, así como por las elevadas oscilaciones de la curva P_0. El efecto de la cal, así como su interacción con el fósforo, que se manifestaron en 1948 están no muy claramente representadas en las curvas P_0 y P_1.

Temuco (Gráfico Nº 6). — El efecto del fósforo que se observa en estas curvas promedias refleja lo ocurrido en los 3 años de ensayo.

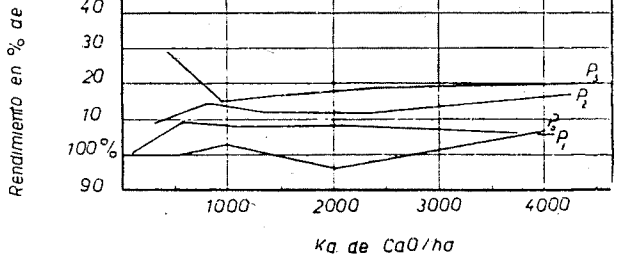


GRAFICO Nº 6

Temuco: Efecto medio de la aplicación de P y Ca en los ensayos factoriales de dosis de cal y fosfatos (1948, 1949 y 1950). P_1 = 50 Kg. P_2O_5/Há. P_2 = 175 Kg. P_2O_5/Há. P_3 = 300 Kg. P_2O_5/Há.

No hay efecto de la cal digno de tomarse en cuenta, lo que también coincide con los 3 años de ensayo.

Osorno (Gráfico Nº 7). — El efecto del fósforo reproduce los resultados de los 3 años de ensayo. Se puede decir también que el ligero

efecto de la cal está también representado en el gráfico si se considera que P_0 es siempre inferior a P_4.

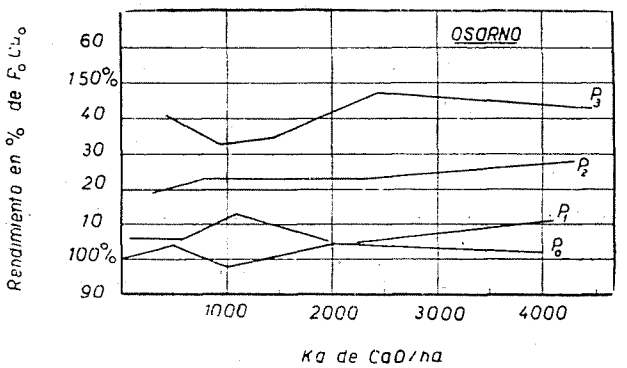


GRAFICO Nº 7
Osorno: Efecto medio de la aplicación de P y Ca en los ensayos factoriales de dosis de cal y fosfatos (1948, 1949 y 1950). P_1 = 50 Kg. P_2O_5/Há. P_2 = 175 Kg. P_2O_5/Há. P_3 = 300 Kg. P_2O_5/Há.

Resumiendo, estos gráficos promedios reflejan bastante bien la reacción de los diversos tipos de suelos ensayados a la encaladura y a la abonadura fosfatada. En efecto, se puede decir que salvo variaciones de importancia secundaria esta reacción tiende a ser constante en sus líneas generales dentro de cada uno de los suelos estudiados.

Promedios de todos los ensayos

El gráfico Nº 8 es un promedio de todos los gráficos promedios. Tiene, por lo tanto, sólo un valor relativo como pauta de pronóstico en un caso determinado; en cambio es muy interesante como medida general

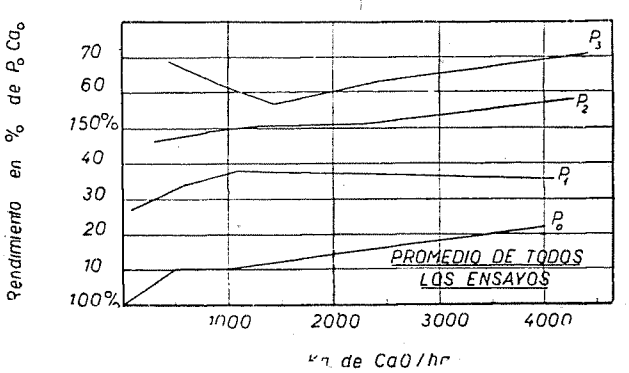


GRAFICO Nº 8
Ensayos factoriales de dosis de cal y fosfatos. Promedio de todos los ensayos. P_1 = 50 Kg. P_2O_5/Há. P_2 = 175 Kg. P_2O_5/Há. P_3 = 300 Kg. P_2O_5/Há.

de la importancia relativa de la encaladura y de la abonadura fosfatada en los suelos chilenos situados al sur del Maule. Se puede apreciar que el efecto del encalado es en conjunto muy inferior al que se puede esperar de la aplicación de fosfato. La dosis máxima de encalado que se ensayó (4.000 Kg. de CaO/Há.) no alcanza en promedio a producir el mismo aumento de rendimiento que produce una aplicación de 50 Kg. de P_2O_5/Há. Más aún, el efecto de la cal tiende a ser menos importante a medida que se aumenta la dosis de aplicación de fósforo.

En el gráfico Nº 9 se promedian todos los efectos de las diversas dosis de abonadura fosfatada en cada una de las estaciones experimentales (ensayos 1948 a 1951). Para trazar este gráfico se promediaron todos los valores P_0, P_1, P_2 y P_3 de cada estación durante todos los años considerados, hayan o no hayan llevado cal; esto ha permitido promediar un gran número de datos y obtener curvas muy regulares, seguramente muy representativas del fenómeno estudiado, sin introducir un error sistemático de importancia puesto que el efecto medio de la cal es muy reducido en comparación con el del fósforo.

Hay un hecho que resalta muy claramente de la observación de las curvas del gráfico Nº 9 y es el que en todos los trumaos y en el suelo rojo de Collipulli ni las más altas dosis de aplicación de fósforo, 300 Kg. de P_2O_5 por Há., parecen acercarse al rendimiento máximo posible Sa-

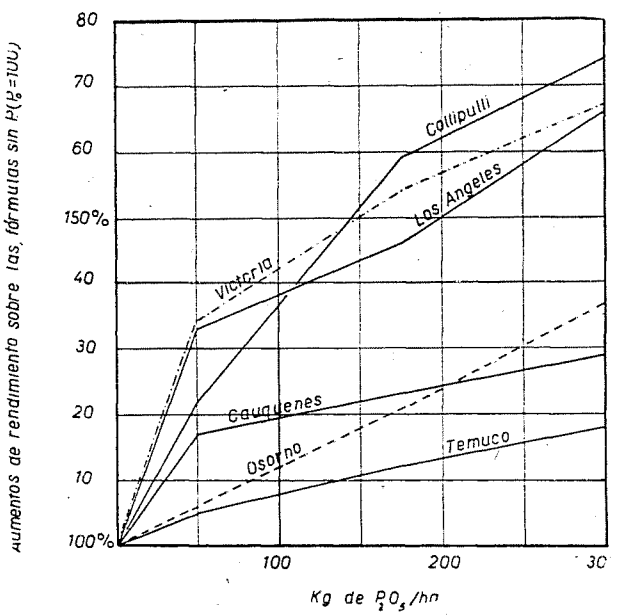


GRAFICO Nº 9
Efecto de la aplicación de fosfato en las diversas estaciones. Promedios de todas las aplicaciones de fósforo en los ensayos factoriales de dosis de cal y fosfato.

bido es que según Mitscherlich, la cantidad de P_2O_5 que es necesario aplicar a un suelo para obtener un incremento equivalente a la mitad del rendimiento máximo posible es de 50 Kg. de P_2O_5/Há. De los suelos ensayados, sólo el suelo granítico de Cauquenes parece aproximarse a esta ley; en los trumaos y en el suelo rojo de Collipulli habría que ubicar esta constante en alrededor de las 150 unidades de P_2O_5 por Há. El caso más extremo entre los considerados es el de Osorno en el que ni siquiera hay inflexión de la curva, existiendo una relación rectilínea entre la cantidad de fósforo aplicado y su efecto en el rendimiento.

El gráfico Nº 10 es un promedio general del efecto del fósforo en todas las estaciones. Aunque el valor agronómico de tal promedio es muy relativo, debido a las diferencias de suelos y condiciones culturales,

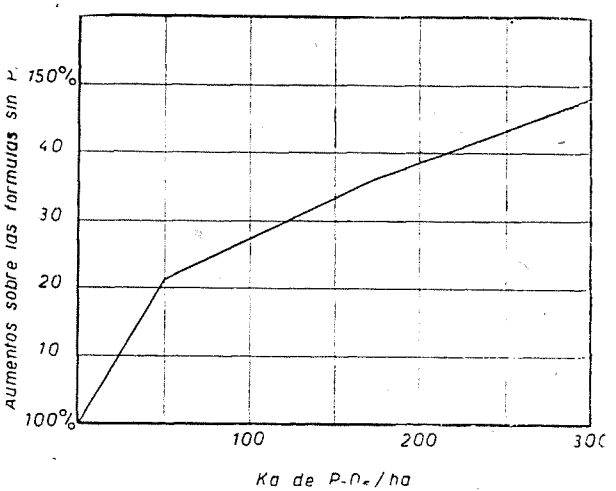


GRAFICO Nº 10
Efecto medio de la aplicación de fosfato en todas las estaciones, en los ensayos factoriales de dosis de cal y fosfato.

puede ser importante para un plan de política agraria en relación al uso de fertilizantes: se podría, por ejemplo, estimar muy probable la elevación en un 20% de los rendimientos de trigo al sur del Maule si se aplican anualmente a todos los suelos cultivados con este cereal 50 Kg. de P_2O_5 por Há.

Efecto del encalado en el pH de los suelos ensayados

En el cuadro Nº 9 se dan una serie de valores de pH de las parcelas experimentales (muestra promedio de las 5 repeticiones) determinadas después de 1, 2 y 3 años de la aplicación de la cal. Los datos después de un año se refieren solamente a Cauquenes. Son interesantes las siguientes observaciones:

CUADRO Nº 9

EFECTO DEL ENCALADO SOBRE EL pH
(en el campo)

Estación	Kg./Há. CaO	pH (determinaciones efectuadas en 1952)		
		Ensayos:		
		1949	1950	1951
Cauquenes	——		6,3	6,0
	2000		7,1	7,6
	4000		7,9	8,0
Los Angeles	——	5,9	5,9	
	2000	6,4	6,9	
	4000	6,5	6,8	
Collipulli	——	5,4	5,6	
	2000	6,4	6,1	
	4000	6,6	6,7	
Victoria	——	5,9	5,7	
	2000	6,2		
	4000	6,5	6,9	
Temuco	——	6,0	6,2	
	2000		6,2	
	4000	6,3	6,6	
Osorno	——	5,9	5,9	
	2000			
	4000	6,4	6,9	

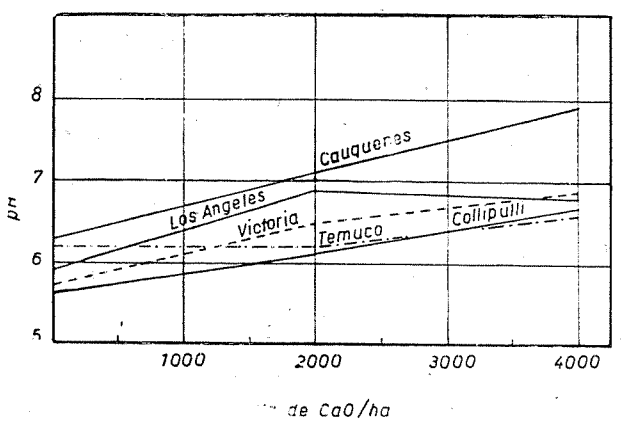


GRAFICO Nº 11
Efecto de la aplicación de cal en el pH de los suelos ensayados (efecto de campo).

Hay un efecto manifiesto del encalado sobre el pH en todos los suelos.

Este efecto es, por supuesto, mucho menos marcado que el obtenido en la titulación potenciométrica de laboratorio.

Las diferencias entre el valor del pH obtenido 2 y 3 años después de la encaladura son del mismo orden que el error de muestreo, es decir, de poca consideración. Incluso en el suelo arenoso de Cauquenes, prácticamente no hay diferencia entre los pH determinados 1 o 2 años después del encalado.

Basándose en los datos del cuadro Nº 9 se ha construído el gráfico Nº 11, el que debe compararse con el gráfico Nº 1 que ilustra el efecto de la aplicación de hidróxido de calcio en el laboratorio.

DISCUSION

En conjunto, los ensayos que se exponen en el presente trabajo vienen a comprobar los resultados obtenidos en los ensayos de "4 elementos" (N, P, K, Ca) realizados entre 1940 y 1946 por el Departamento de Investigaciones Agrícolas. En efecto, tal como en aquellos ensayos, en estos se aprecia efecto de la cal en algunas de las Estaciones situadas al sur del Maule. De los resultados de los citados ensayos se dedujo que la importancia del encalado en nuestra agricultura —a pesar de ser considerable en algunos tipos de suelos— es secundaria con respecto a la función que desempeñan las aplicaciones de fósforo y nitrógeno; lo mismo puede deducirse —en lo que respecta al fósforo— de los presentes ensayos: en tanto que en la totalidad de las estaciones ha habido en general un efecto notable del fósforo, sólo ha habido efecto manifiesto y constante de la cal en dos de ellas: Cauquenes (suelo granítico) y Collipulli (arcilla roja); son estas también las estaciones en que hubo un mayor efecto de la aplicación de cal en los ensayos 1940-1946. Este paralelismo entre las dos series de ensayos refuerza grandemente las conclusiones que se pueden sacar del conjunto de estos experimentos. Esto es más cierto si se considera que la tendencia general de cada estación en cuanto a su respuesta a la cal tiende a mantenerse de un año para otro, y esto, no sólo en lo que se refiere a la simple respuesta a la encaladura sino también a la interacción cal-fósforo. Las estaciones en que se verificaron los ensayos pueden caracterizarse en cuanto a su respuesta media al fósforo y a la cal en la siguiente forma:

Cauquenes. — Efecto del fósforo: grande. Efecto de la cal: regular. Interacción negativa entre cal y fósforo: el efecto de la cal se manifiesta sólo en los niveles bajos de fertilización fosfatada e inversamente, el efecto del fósforo es menor cuando se aplica cal. (Interacción de reemplazo parcial).

Los Angeles. — Efecto del fósforo: grande. Efecto de la cal: nulo, con cierta tendencia a ser negativo, especialmente en las dosis moderadas.

Collipulli. — Efecto del fósforo: muy grande. Efecto de la cal: regular. Interacción de reemplazo parcial entre cal y fósforo.

Victoria. — Efecto del fósforo: muy grande. Efecto de la cal: regular. Interacción de reemplazo parcial entre cal y fósforo.

Temuco. — Efecto moderado del fósforo. Efecto de la cal: errático y de poca importancia.

Osorno. — Efecto grande del fósforo. Efecto de la cal: errático y de poca importancia.

Los ensayos realizados fuera de las estaciones (Quilpolemu y Chufquén) comprueban en líneas generales la mayor parte de los sucedido en suelos similares de las Estaciones Experimentales (Cauquenes y Collipulli). En el caso de Chufquén, sin embargo, no hubo efecto de la cal.

Cabe preguntarse por qué en los ensayos de 4 elementos no se apreciaron sino excepcionalmente, interacciones de importancia y en cambio en el grupo de ensayos que se está discutiendo, ha resultado evidente la interacción entre fósforo y cal en algunos suelos. La explicación está en que dicha interacción se nota apreciablemente sólo cuando se comparan niveles muy bajos con niveles muy altos de aplicación de fósforo. Si se compara el efecto de la cal en niveles corrientes de aplicación de fósforo (50 Kg. P_2O_5 por Há.) con el efecto de la cal en ausencia de fósforo, la interacción es pequeña y desaparece totalmente dentro del error experimental, si se trata de un ensayo aislado.

Para niveles corrientes de abonadura fosfatada, los efectos de la cal y del fosfato pueden considerarse aditivos, y esto es lo que sucederá generalmente en la práctica.

Se ha dicho anteriormente que la interacción entre cal y fósforo que generalmente se manifiesta en Cauquenes y Collipulli y esporádicamente en Victoria y en otras estaciones es negativa, es decir, el efecto de la cal disminuye cuando se usan dosis altas de fósforo y, recíprocamente, el efecto del fósforo es menor cuando se usa cal que cuando no se usa. Desde el punto de vista del mecanismo del suelo, esto puede interpretarse de dos maneras: o bien la adición de uno de los elementos induce la inmovilización parcial del otro, o bien, ambos son intercambiables en cierto grado. Es poco probable que en el caso de que se trata exista inmovilización del fosfato por la acción de la cal; siendo tan grande la necesidad de fósforo en estos suelos, si la cal indujera la inmovilización de este elemento, el encalado produciría disminución de rendimientos y no aumentos como lo hace.

Como es muy poco probable que el efecto de la cal se deba a su función como nutriente puesto que este efecto continúa incrementándose con dosis muy superiores a las necesarias para la alimentación de la planta, es evidente que el efecto de esta enmienda es indirecto. La misma interacción observada con el fósforo, cotejada con la experiencia extran-

jera, lleva a la hipótesis de que este efecto indirecto consiste, muy probablemente, en la liberación parcial del fósforo absorbido por la porción coloidal del suelo, especialmente por los sesquioxidos de fierro y aluminio, o precipitado en forma de fosfatos de fierro y alùminio. Como es sabido, este tipo de fijación del fósforo aumenta con la acidez. Esto explicaría por qué la acción favorable de la cal va disminuyendo, casi hasta desaparecer, cuando se abona con cantidades muy grandes de fosfato: en este caso el fósforo liberado por la cal representa una fracción muy pequeña del total del fósforo aprovechable presente en el suelo, y su acción es por lo tanto pequeña de acuerdo con la ley de los rendimientos decrecientes.

Esta interacción negativa entre cal y fósforo ha sido observada también por Williams y Stewart (36) en suelos graníticos escoceces de gran poder de fijación del fósforo. Sin embargo, estos investigadores declaran, basándose en sus experimentos, que "aplicaciones normales de Ca CO_3 no parecen tener un efecto marcado o consistente en el nivel de fósforo fácilmente soluble". Si la solubilidad del fósforo coincidiera totalmente con su aprovechabilidad por la planta, esta conclusión de esos autores haría difícil la aceptación de la hipótesis adelantada más atrás respecto a la función de la cal en los suelos ácidos chilenos; pero, es probable que la cal actúe sobre el fósforo fijado en los coloides dejándolo en alguna forma que, aunque poco soluble en los extractantes corrientes, sea aprovechable por la planta.

Es evidente, sin embargo, que para tener una explicación satisfactoria de las interacciones observadas entre calcio y fósforo, se necesita un mayor número de antecedentes experimentales de campo y de laboratorio. No debe descartarse la posibilidad de que la toxicidad del aluminio, muy activo en condiciones de acidez, pueda jugar un papel importante en las relaciones mutuas observadas entre cal y fósforo. Los abonos fosfatados pueden obrar como una antitoxina del aluminio, precipitándolo (14); por lo tanto, en lo que se refiere a su acción sobre la toxicidad del aluminio, tanto la cal como los abonos fosfatados obrarían en el mismo sentido en los suelos del sur y podrían ser mutuamente reemplazables en su efecto por lo menos parcialmente.

El poder de fijación del fósforo de los suelos ensayados puede apreciarse también en el gráfico Nº 9. Puede observarse que las curvas de respuesta al fósforo de los suelos de trumaos y de la arcilla roja de Collipulli se caracterizan por la dificultad que presenta el trigo para acercarse al rendimiento máximo posible. Las experiencias de Mitscherlich en Prusia, llevaron a este investigador a la conclusión de que aplicando 50 Kgs. de P_2O_5 se podría alcanzar la mitad del incremento máximo posible; en el gráfico Nº 9 puede verse que con excepción de Cauquenes, la mitad del incremento máximo se obtiene en los suelos ensayados

aplicando por lo menos 150 Kg. de P_2O_5 por Há. Este fenómeno puede interpretarse en la siguiente forma: en estos suelos la fijación es tan activa que es necesario aplicar una cantidad mucho mayor para que la cantidad que quede en estado aprovechable se asemeje a la aplicada por Mistcherlich en Prusia. El suelo granítico de Cauquenes parece asemejarse más a las condiciones europeas; en efecto, allí la mitad del incremento máximo se alcanzaría con unas 50 unidades de P_2O_5 por Há.; además, con las aplicaciones máximas de fósforo usadas en el experimento se llega aparentemente muy cerca del rendimiento máximo posible. En el gráfico Nº 2 que resume los ensayos realizados en Cauquenes puede apreciarse que es en esta estación donde la aplicación de cal ha provocado un mayor aumento relativo comparándolo con el efecto máximo obtenido con la combinación de dosis elevadas de fósforo y de calcio; es probable que siendo en este suelo menor el poder de fijación, la encaladura sea capaz de contrarrestarlo en una proporción mayor.

La constancia de la conducta de los suelos de las diversas estaciones en cuanto a su reacción a la encaladura lleva a la conclusión de que el tipo de suelo constituiría por el momento la principal orientación para determinar la necesidad de cal de los suelos chilenos. En efecto, los ensayos se han realizado cada año en diversos potreros siguiendo la rotación cultural dentro de cada estación y la respuesta casi siempre se ha mantenido constante dentro de sus líneas generales. Sin embargo, debe presumirse que los suelos de los diversos potreros de cada estación tienden a conservar características de fertilidad semejantes debido a que están sometidos al mismo régimen cultural dentro del mismo clima.

El suelo granítico de Cauquenes ofrece un interés especial debido a que esta estación parece haber cambiado bastante su pH, debido a las encaladuras, desde que se realizaron los primeros ensayos de abonos en 1940; a pesar de esto la respuesta a la cal se ha mantenido constantemente elevada. Más aún, se han efectuado ensayos dentro de la serie de "4 elementos" y ensayos de "dosis de cal y fósforo" (cuyos resultados se dan a conocer en el presente trabajo) en el suelo granítico de Quilpolemu, situado a unos 50 Km. de Cauquenes, que se ha mantenido en una rotación cultural muy distinta, y la respuesta a la cal y al fosfato ha sido siempre semejante a la de Cauquenes.

En suelos semejantes a la arcilla roja de Collipulli se realizó también un ensayo de dosis de cal y fósforo (Chufquén, 1948), obteniéndose, como en Collipulli, una gran respuesta al fósforo, pero ninguna a la cal. Este suelo tiene un régimen cultural distinto a Collipulli, que probablemente conduce a la mantención de un mayor nivel de materia orgánica.

En suelos de trumao no se han realizado ensayos de esta naturaleza, fuera de las estaciones experimentales.

Sin embargo, 7 de los fundos experimentales del Departamento de Investigaciones Agrícolas, Chillán, Los Angeles, Victoria, Temuco,

Cañal Bajo, Barro Blanco (*) y Centinela se encuentran sobre suelos de trumaos de diversos tipos, lo que permite formarse una idea panorámica de la reacción de estos suelos al encalado. En general, y tomando en cuenta el conjunto de ensayos de "4 elementos" y de "dosis de cal y fósforo", puede decirse que la respuesta a la cal en estos suelos es más pequeña y sobre todo más errática que la observada en las arcillas rojas y en los suelos graníticos.

Resumiendo, puede decirse que, aunque el tipo de suelo constituye una orientación de gran valor para determinar la necesidad de cal en nuestros suelos, es conveniente saber qué factores son los que determinan la variabilidad de la reacción a la encaladura dentro de cada tipo; esta información permitiría obtener una mayor seguridad en el diagnóstico de la necesidad de cal.

Si —como parece muy probable— el papel del encalado en nuestros suelos ácidos es principalmente el de liberador parcial del fósforo fijado, cabe esperar: a) que la respuesta a la cal sea mayor en los suelos con bajo contenido de fósforo aprovechable y b) que la respuesta a la cal sea mayor mientras menor es el pH del suelo, puesto que la fijación del fósforo aumenta con la acidez. En el gráfico Nº 12 se ha tratado de establecer dentro de los datos de los ensayos de dosis de cal y fósforo presentados en el presente trabajo— una correlación entre esos 3 fac-

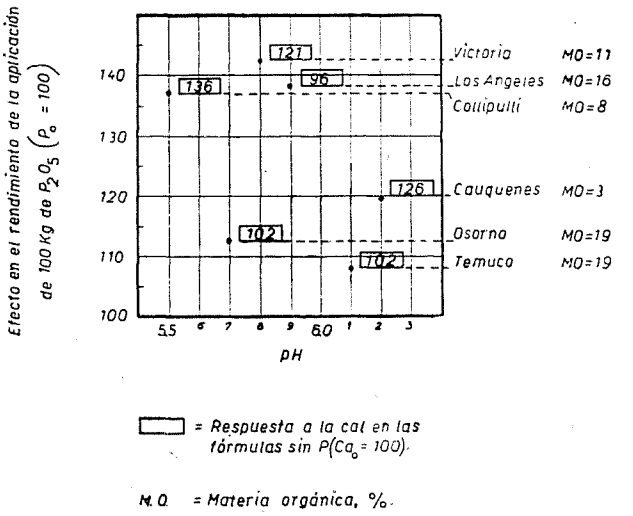


GRAFICO Nº 12
Relación entre pH, efecto de la fertilización fosfatada, efecto del encalado y materia orgánica en los suelos ensayados (ensayos factoriales de dosis de cal y fosfato.

(*) Cañal Bajo y Barro Blanco están cerca de Osorno y en general ambos han sido denominados "Osorno" en la descripción de los ensayos de ambos. Todos los ensayos de dosis de cal y fósforo se realizaron en Barro Blanco y los de 4 elementos en Cañal Bajo.

tores: necesidad actual de fósforo aprovechable (expresada por la respuesta media a la aplicación de 100 Kg. de P_2O_5 por Há. según el gráfico Nº 9), acidez activa y respuesta al encalado. Cabría esperar que las mayores respuestas a la cal se encuentren en niveles de bajo pH y hambre de fósforo aprovechable, y una respuesta menor en niveles más elevados de pH y de menor respuesta al fósforo; las estaciones de Victoria, Collipulli y Osorno se ajustarían a esta ley; no así Los Angeles, Cauquenes y Temuco. Se pensó que —considerando la importancia que puede tener la materia orgánica como inductora de la aprovechabilidad del fósforo, según lo han sugerido Aslander y otros investigadores— el nivel de materia orgánica podría explicar las excepciones a esta hipótesis: es posible que, en niveles elevados de materia orgánica, esta pueda reemplazar a la cal en su papel de liberadora del fósforo fijado a los coloides minerales. Esta podría ser la explicación de la conducta del suelo de Los Angeles (materia orgánica elevada) que nunca ha manifestado respuesta a la cal a pesar de su pH menor que 6 y de la avidez de fósforo que manifiestan las plantas en este suelo; del suelo de Temuco (materia orgánica elevada) cuya respuesta a la cal es insignificante a pesar de un pH de 5,7; y del suelo de Cauquenes (materia orgánica baja) cuya respuesta al encalado es considerable no obstante su pH elevado.

Por supuesto esto triple interacción con que se trata de explicar la reacción de los suelos chilenos al encalado, no puede darse por comprobada con los datos ordenados en el gráfico Nº 12; dichos datos representan sólo características medias aproximadas de los suelos ensayados pues no se determinaron correlaciones individuales para cada ensayo en lo que se refiere a respuesta a la cal y al fósforo, nivel de materia orgánica y pH. Además el número de casos es muy reducido.

Sin embargo, como la correlación sugerida por el gráfico Nº 12 coincide con las ideas que actualmente se tienen al respecto, ideas que derivan de una amplia experimentación internacional, puede considerarse dicha correlación como un complemento de cierta importancia para el diagnóstico de la necesidad de cal. La implicación práctica de esta correlación sería la siguiente: La respuesta a la cal es mayor mientras menores sean el nivel en materia orgánica, el contenido de fósforo aprovechable y el pH.

Es interesante comprobar que los 2 suelos de mayor contenido orgánico son los que presentan una menor necesidad de abonos fosfatados.

La posible respuesta de un suelo a la aplicación de cal constituye un problema distinto a la "cantidad" de cal que es necesaria para alcanzar la respuesta máxima; lo último depende del pH del suelo y de su poder tampón para cambiar su pH, puesto que la acción de la cal es indirecta y actúa por el cambio que produce en la acidez activa del suelo.

Observando los gráficos Nº 1 y 11 se puede notar que las diferencias entre el poder tampón de los diversos suelos se hace mucho menor en el terreno que en el laboratorio. Se mantiene la precedencia de los diferentes suelos en cuanto a su resistencia a alterar el pH. Sin embargo, en la primera parte de la curva el suelo de Collipulli y los trumaos con excepción de Temuco, no difieren grandemente de Cauquenes y aún el suelo de Los Angeles se presenta más alterable que el de Cauquenes.

A continuación y a partir del pH de las parcelas testigos se ha deducido del gráfico la cantidad de CaO necesaria para elevar la acidez en una unidad:

Cauquenes	2450 Kg. CaO por Há.
Los Angeles	2000 Kg. CaO por Há.
Victoria	2750 Kg. CaO por Há.
Collipulli	3750 Kg. CaO por Há.
Temuco	Altera muy poco su pH.

Demolon (7) da las siguientes cifras para Francia:

Tierras arenosas	1500 a 2000 Kg. por Há.
Tierras de "limón"	2000 a 3000 Kg. por Há.
Tierras arcillosas y humíferas	3000 a 4000 Kg. por Há.

Como se ve, existe coincidencia general con la experiencia extranjera, excepto en el caso de Cauquenes, que a pesar de ser un suelo arenoso y de presentar en el laboratorio un débil poder tampón, altera su pH con relativa dificultad cuando se le aplican dosis menores de 2000 Kg. de CaO por Há., que son las que generalmente se usan en la práctica.

Collipulli, que, como Cauquenes, en el conjunto del fenómeno estudiado presenta un menor poder tampón que los trumaos, lo que coincide con la titulación potenciométrica de laboratorio, también, como esa estación, no manifiesta esa propiedad para cantidades menores de 2000 Kg. de CaO.

Se diría que estas 2 estaciones: Cauquenes y Collipulli, aunque susceptibles de alterar más su pH que las demás, necesitan proporcionalmente una mayor aplicación de la enmienda para manifestar esta propiedad. Tal vez se podría buscar la explicación de este fenómeno en el hecho de que estas dos localidades son de secano y están situadas en la zona de sequía estival; es probable que, en estas condiciones, la descomposición del carbonato sea más lenta que cuando existe humedad y calor simultáneamente.

Hasta qué punto se puede deducir de la capacidad tampón de cada suelo, la cantidad de cal necesaria para alcanzar los rendimientos

máximos, es difícil determinarlo con datos de estos experimentos. En efecto sólo hay 3 estaciones que responden en promedio a la aplicación de cal (Gráficos Nº 2, 4 y 5); en una de ellas, Victoria, el error experimental es muy grande para poder sacar conclusiones al respecto, fuera de que en esta estación la reacción al encalado no ha sido constante en los diversos años de experimentación.

En Collipulli es donde la precisión del ensayo permite deducir con más seguridad la dosis óptima de aplicación de cal; ella estaría al nivel de los 1000 Kg. de CaO por Há.; de acuerdo con el gráfico Nº 11 esto correspondería a una elevación del pH hasta cerca de 6. En Cauquenes, la precisión del ensayo no es suficiente para deducir la dosis óptima de encalado, pero en todo caso, de acuerdo con el gráfico Nº 11, tiene que producir un pH superior a 6. Como el muestreo para la determinación del pH no se verificó sistemática y periódicamente después del encalado, no se puede dar mucho valor a estas cifras. Quizás la conclusión más valedera que se puede deducir es que en suelos de pH más o menos 5,5, del tipo Collipulli (y probablemente en los trumaos), 1000 Kg. de CaO por Há. aplicados al trigo son suficientes para obtener los beneficios máximos del encalado.

Es necesario, por último, insistir aquí sobre la posibilidad de que el encalado tenga efectos perniciosos en algunos suelos de nuestro país. Tales podrían ser los suelos de la zona central y norte, con pH superior a 7, debido al peligro de la inmovilización del fierro y manganeso. También es necesario tener cautela en la recomendación de cal en los trumaos y suelos arenosos de la región centro-sur; debe recordarse que en los ensayos de Los Angeles se insinúa cierta tendencia a un efecto negativo de la cal y que en los ensayos en maceteros muchos suelos de esta región acusaron también reacción negativa a la cal con dosis de aplicación que no serían excesivas en el campo.

Puede objetarse en los ensayos de dosis de cal y fósforo el hecho de que la cal fué aplicada casi siempre junto con la siembra en vez de serlo con anterioridad. Sin embargo, esta objeción no es tan grave si se considera que el efecto del tiempo sobre la actividad de la cal puede ser probablemente reemplazado por el factor cantidad; en las localidades en que el aumento de dosis de encalado no produjo ningún efecto, es difícil que se produzca alguno por el hecho de adelantar algunos meses la aplicación. Además en los 2 casos en que la cal se aplicó con anterioridad (Temuco, 1947 y Chufquén, 1948) no hubo efecto de la cal. En los ensayos de 4 elementos, 1940-1946 la cal se aplicó un mes antes de la siembra y en unos pocos casos, varios meses antes sin que ninguna de estas prácticas mejorara el efecto del encalado. Se ha visto también, que con la excepción de un ensayo de Collipulli, el efecto residual sobre el trébol, es muy semejante al obtenido el primer año sobre el trigo.

El efecto de aplicar cal viva o apagada en vez de carbonato no ha sido investigado sistemáticamente en nuestros suelos, pero la mayor facilidad de aplicación y economía del encalado en forma de carbonato hacen difícil que se pueda extender la aplicación de cal en aquellas formas.

Si bien los efectos del encalado en nuestros suelos que se han presentado y discutido en este trabajo se refieren a los obtenidos sobre el rendimiento del trigo, es probable que este efecto se repita en el cultivo de trébol que sigue al cereal, como lo indican los resultados hasta ahora obtenidos del efecto residual del encalado.

RESUMEN

En este artículo se resumen los resultados de los ensayos de "4 elementos de trigo" (N, P, K, Ca) verificados por el Departamento de Investigaciones Agrícolas entre los años 1940 y 1946 en lo que se refiere al efecto de la aplicación de cal. Además se presentan por primera vez los resultados obtenidos en los ensayos factoriales de "dosis de cal y fósforo en trigo". Se trata de interpretar los resultados de acuerdo con las ideas actualmente aceptadas respecto al efecto del encalado.

En los ensayos de "4 elementos" se encontró que la cal produce aumentos de rendimientos en los suelos ácidos situados al sur del Maule; este efecto es menos generalizado que el del nitrógeno y el del fósforo. Es importante en los suelos graníticos y arcillas rojas, pero errático y, en general pequeño, en los suelos volcánicos (trumaos). Dentro de este tipo de suelos, fué el de Victoria el que respondió mejor al encalado.

Los ensayos de "dosis de cal y abonos fosfatados" se limitaron a suelos situados al sur del Maule; y se verificaron entre 1947 y 1951; se ensayaron diversas dosis de aplicación de cal (desde 500 a 4000 Kg. CaO por Há) con diversas dosis de abonadura fosfatada (50 a 300 Kg. de P_2O_5 por Há). Todos los suelos ensayados respondieron notablemente a la aplicación de fósforo. Tal como en los ensayos de "4 elementos", la respuesta a la cal fué errática y, en general, pequeña, en los trumaos, y también, como en esos ensayos, dentro de este tipo de suelos fué el de Victoria el que respondió mejor al encalado.

Como en los ensayos de "4 elementos" hubo una respuesta bastante clara y constante al encalado en los suelos graníticos (Cauquenes) y en las arcillas rojas (Collipulli).

La respuesta a la cal en estos suelos (y también en los trumaos en las ocasiones en que hay respuesta) disminuye a medida que se aumenta la dosis de fósforo; para la dosis más alta de fósforo (300 Kg. de P_2O_5 por Há.) la respuesta a la cal es casi nula). Para dosis corrientes de aplicación de fósforo (50 Kg. de P_2O_5 por Há.) esta interacción es pequeña y en estos niveles ed abonado, puede considerarse que, prácticamente, se suman los efectos de la cal y del fósforo.

El efecto máximo de la aplicación de cal es de 40% sobre el testigo en Collipulli y de más o menos un 25% en Cauquenes. Este efecto se consigue con una aplicación de 1000 Kg. de CaO en forma de carbonato en Collipulli; en Cauquenes no se puede decir con precisión cual es la dosis necesaria para obtener el efecto máximo. Los efectos máximos del encalado sobre los rendimientos del trigo son similares a los efectos producidos por una aplicación de 50 Kg. de P_2O_5 en Cauquenes y Collipulli. El efecto máximo de la aplicación del fósforo no se alcanza a obtener en ninguna de las estaciones en que se verificó el ensayo; el efecto medio de la aplicación de 300 Kg. de P_2O_5 en todas las estaciones es de más o menos 60%; en Collipulli se eleva a más de 100%.

La interacción observada entre cal y fósforo puede atribuirse a un efecto de reemplazo parcial de la acción del fósforo por la de la cal en el suelo; este efecto se produciría a través de la disminución por el encalado de la fijación del fósforo en los suelos ácidos. Con dosis elevadas de fósforo aprovechable en el suelo, este efecto es muy pequeño de acuerdo con la ley de los rendimientos decrecientes.

Se trató de encontrar una relación entre el efecto de la aplicación de cal en los suelos ensayados, la respuesta a la aplicación de fosfatos, el nivel de materia orgánica y el pH; parece probable una inter-relación entre estos factores en el sentido de que las posibilidades de obtener una respuesta al encalado aumentan con los siguientes factores: cantidades reducidas de fósforo aprovechable; acidez del suelo; bajo nivel de materia orgánica.

Por el momento, la principal indicación de la necesidad de cal en los suelos ácidos chilenos, la constituye el tipo de suelo: probable respuesta en los suelos graníticos y arcillas rojas; resultado incierto en los trumaos. Los valores de pH, nivel de fósforo aprovechable y nivel de materia orgánica, deben considerarse como coadyuvantes al diagnóstico.

La cantidad de cal que es necesario aplicar en los suelos que responden al encalado para obtener el rendimiento máximo no ha sido claramente establecido por estos experimentos para los diversos tipos de suelos. Sólo en Collipulli este dato es bastante preciso: 1000 Kg. de CaO por Há. Es prudente hacer las recomendaciones alrededor de esta cifra, haciéndola variar de acuerdo con el pH, el poder tampón del suelo y tal vez, el nivel de precipitaciones en primavera y verano. Esto último porque se observó que en Collipulli y Cauquenes, lugares de sequía estival, la variación del pH por la acción de la cal es inferior a la que se puede esperar de la capacidad tampón de estos suelos.

Aunque las recomendaciones anteriores se refieren al probable efecto del encalado sobre el rendimiento del trigo, es probable que ellas puedan extenderse también al efecto sobre la empastada de trébol que sigue generalmente al cereal en Chile, pues los efectos residuales, sobre

el trébol, de la cal aplicada al trigo parecen ser bastante similares al efecto inmediato obtenido sobre el trigo.

Los ensayos realizados son representativos de una gran parte de los suelos agrícolas chilenos. Sin embargo, es posible que el efecto de la cal sea diferente en suelos vegosos, con cierto grado de descomposición anaeróbica de la materia orgánica. En estos suelos y en los "ñadis" del sur del país, cuando estos sean habilitados para el cultivo, la cal puede desempeñar un papel importante en la nitrificación del suelo y en su actividad biológica en general (20).

SUMMARY

The Departamento de Investigaciones Agrícolas carried on between the years 1940-1946 a series of field trials on the effect of the "four elements" (N P K Ca) on wheat; results of these trials are summarized in this article. Besides, results of a series of factorial field trials on the effect of "rates of aplication of lime and phosphorous fertilization" on wheat are presented by the first time.

An attempt at interpreting these results is made considering the modern criteria about the function of liming.

In the trials on "four elements" it was found out that lime increases yields in the acids soils, south of the Maule river; these increases are not so common as the increases induced by nitrogen or phosphorous. The effect of liming is important in granitic soils and in red clays but it is erratic and generally small in volcanic soils ("trumaos"); among the volcanic soils, that of Victoria was the one in which the response to lime was better.

Trials on "rates of aplication of lime and phosphorous" were located only in soils south of the Maule; they were carried on between the years 1947-1951. Several rates of aplication of lime (500 to 4000 Kg. CaO per Ha.) were tested combined with different amounts of phosphorous fertilization (50 to 300 Kg. P_2O_5/Ha.).

All the soils tested gave a big response to phosphorous. Same as in the "4 elements" trials, response to lime in "trumaos" was erratic and rather small, and was marked and constant in granitic soils and red clays. Response to lime in all the soils tested tend to decrease when the rate of phosphorous fertilization is increased. When the highest rate of phosphorous is used (300 Kg. P_2O_5/Ha.) response to lime nearly desappears.

When common rates of phosphorous fertilization are used (50 Kg. P_2O_5/Ha.) this interaction is small and practically the effect of the combined application of P and Ca amounts to the addition of the effects of P and Ca.

The maximum yield produced by liming ammounts to 40% over the control in Collipulli and about 25% in Cauquenes. This effect is reached when 1000 Kg. CaO (as carbonate) are applied in Collipulli; in Cauquenes it is not possible to say accurately at which rate of liming the maximum yield is obtained. The maximum yields induced by liming are about the same as the effect produced by 50 Kg. P_2O_5 in Cauquenes and Collipulli.

Maximum effects from phosphorous fertilization were not reached in any of the soils in which the trials were carried on.

The average increase of the yield produced using 300 Kg. P_2O_5/ Ha. was about 60% over the control; in Collipulli the increase was more than 100%.

The observed interaction between liming and rates of phosphorous fertilization is thought to be produced by a partial movilization of the phosphorous fixed in acid conditions, induced by lime.

When big amounts of available phosphorous exists in the soil this effect of liming is very small, according to the law of disminishing returns.

And attempt to study the relation between effect of liming, response to phosphorous fertilization, level of organic matter and pH is made.

It seems probable that there are more chances of getting a response to liming when the reserves of available phosphorous are reduced and when the pH and the level of organic matter are low.

At the present time, the best indication of lime response in chilean soils is the soil association: response is most common in granitic soils and red clays; response is uncertain in volcanic soils. The figures of pH, available phosphorous and level of organic matter can be used as and aid in the diagnosis of lime requirement.

The rate of liming necessary to reach the maximum yields in the soils where there is a response, has not been determined accurately in these experiments. Only in Collipulli this rate was determined with accuracy: 1000 Kg. CaO/Ha. Variations in recommended rates of lime seem advisable based on the pH, the buffer capacity of the soil and, possibly, the amount of spring and summer rainfall. The reason for this is that it was observed that the soils of Collipulli and Cauquenes changed their pH more slowly than it would be expected judging only by their buffer capacity.

Although this conclutions deals with the probable effect or liming on wheat yields, it is probable that they can be extended to the effect on the clover pasture which is grown generally after cereal crops in Chile.

Residual effects on clover of liming applied on wheat seems to have a big correlation with the effect obtained on wheat the previous year.

LITERATURA CITADA

1.—ASLANDER, A. — "Some new aspects of liming". Transactions of the fourth international Congress of soil Science. 1:243-246, 1950.

2.—ASLANDER, A. — "The availability of phosphates after standard fertilization". Transactions of the fourth international Congress of soil Science. 2:158-163, 1950.

3.—BLACK W., HETAL. — "Nutritional requirements of beef and dual purpose cattle". Year Book of Agriculture (Food and life) U. S. Dept. of Agr. 1939.

4.—COMBER, NORMAN M. — "The scientific study of the soil". 8-9, Arnold, Londres, 1948.

5.—COLE, RALPH C. — "Reaction of California Soils". California Agr. Exp. Sta. Bull. 712, 1949.

6.—DEMOLON, A. — "Croissance des vegeteaux cultivés". Dunod, Paris, 1950.

7.—DEMOLON, A. — "Dynamique du sol". Dunod, Paris. 1952.

8.—DIVERSOS AUTORES. — Número especial dedicado a la cal, "Simiente". **15**:99-130, 1945.

9.—ELGUETA, MANUEL. — "El mantenimiento de la fertilidad de los suelos". El Campesino. **70**:165-179, 1938.

10.—ELGUETA, MANUEL. — "Influencias que determinan la composición mineral del trigo". Agr. Téc. **4**:7-16, 1944.

11.—GAROLA, C. V. — "Engrais" Bailliere. Paris, 1903.

12.—GAY, CLAUDIO. — "Historia Fisica y politica de Chile". (Agricultura). Paris, 1865.

13.—HENRIQUEZ y BUDNIK. — "Influencia de los abonos en la composición quimica de los trigos". Agr. Téc. **12**:80-92, 1952.

14.—HARTWELL, SMITH y DAMON. — "The influence of crop plants on those which follow". Agricultural Experiment Station of the Rhode Island College". Bulletin 210, 1927.

15.—LE FEUVRE, RENE. — "Agrología", p. 238. Librería del Mercurio. Santiago. 1877.

16.—LETELIER, ELIAS. — "Abonos", en "7 años de Investigación Agricola". Dirección General de Agricultura. Santiago, 1950.

17.—LYON y BUCKMAN. — The nature and properties of soils". Mac Millan, Nueva York, 1943.

18.—MATHEI, ADOLFO. — "Suelos y Abonos". Nascimento. Santiago. 1931.

19.—MORRISON, F. B. — "Alimentos y Alimentación". Corporación de Fomento, Santiago, 1943.

20.—MULDER, E. G. — "Effect of liming of an acid peat soil on microbial activity". Transactions of the fourth international Congress of soil Science. **2**:117-121, 1950.

21.—OPAZO, ROBERTO. — "Monografia cultural de las diversas plantas agrícolas". Cervantes, Santiago, 1932.

22.—PENNACCHIOTTI, IRMA y VARGAS, MARTA. — "Estudio bromatológico de algunos cereales chilenos". Bol. del Inst. de Inv. Vet. 1, fascículo 6, 1951.

23.—PENNACCHIOTTI, IRMA: VARGAS, MARTA y otros. — Tabla de valores nutritivos de forrajes cultivados en el país. Bol. del Inst. de Inv. Vet. 1, fascículo 7. 1952.

24.—ROGERS, MARIO. — "Valor nutritivo de nueve especies y dos mezclas forrajeras en relación a su periodo de crecimiento". Agr. Téc. 12:11-15, 1952.

25.—RUSSELL, Sir E. JOHN. — "Soil conditions and plant growth". Longmans, Londres, 1950.

26.—SOTOMAYOR, INES. — "Ensayos de abonos en maceteros en los suelos de la provincia de Bio-Bio", Agr. Téc. **12**:46-63, 1952.

27.—SOTOMAYOR, INES. — "Ensayos preliminares en Chile sobre diagnóstico de deficiencias nutritivas en los vegetales por medio de inyecciones". Agr. Téc. **13**:155-158, 1953.

29.—THOMSON, L. M. — "Soils and soil fertility". Mc. Graw-Hill, Nueva York, 1952.
30.—TRUOG, EMIL. — "Soil acidity and liming". Year Book of Agriculture (Soils and men). U. S. Dept. of Agr. 1938.
31.—VALENZUELA, VICTOR M. — "Agrotecnia". Artes y Letras, Santiago, 1922.
32.—VOGEL, OTTO. — "Contenido en calcio de los suelos chilenos". El Mercurio, Enero, 1947.
33.—VOGEL, OTTO. — "¿Existe en realidad un problema de falta de cal en nuestros suelos". El Mercurio, Junio, 1945.
34.—WAINER, ALFREDO. — "Estudio sobre la relación pH-lluvia en Chile". Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, Santiago, 1945.
35.—WILLIAMS, E. G. — "Phosphate fixation". N. A. A. S. Quart. Rew. Summer, 1949.
36.—WILLIAMS, E. G. y STEWART, A. B. — "Studies on phosphate fixation in scottish soils". Jour. of Agr. Sc. **33**:180-189, 1943.