

RELAVES DE COBRE Y AGUAS DE RIEGO DEL RIO CACHAPOAL

Fusa Sudzuki Hills.
Ing.-Agrónomo.

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar que este trabajo ha sido posible, en primer término, por la acogida que él tuvo de parte del ex-Jefe del Departamento de Química y Suelo del Ministerio de Agricultura, Ing.-Agrónomo Sr. Elías Letelier, la cual se complementó durante el desarrollo de las investigaciones con sus valiosas sugerencias, opiniones e interpretaciones de resultados, entusiastamente secundado por la Ing. Agrónomo especializada en la acción fisiológica de elementos menores, Srta. Inés Sotomayor. Colaboró además, permanentemente la totalidad del personal de ese Departamento, y fué de especial importancia la considerable ayuda prestada por el Químico Sr. José Infante.

Es interesante dejar constancia de las facilidades que en el terreno mismo y en todo momento dieron a la autora todos los agricultores de la zona afectada por el problema del cobre de la ribera Norte del Río Cachapoal, a fin de ayudarla a cumplir los propósitos del trabajo.

Finalmente hay que hacer especial mención de la amplia colaboración prestada por Braden Copper Co. la cual puso a disposición de la autora personal técnico para facilitarle la comprensión del problema y elementos de transporte, sin que en ningún momento escatimaran la información que se les solicitará, a pesar de que los resultados de los trabajos pudieran ser adversos para los intereses de la firma.

A todos ellos, los más sinceros agradecimientos.

INTRODUCCION.

Para que el agua pueda considerarse apta para el riego, no debe producir, en forma inmediata o a largo plazo, desequilibrios químicos o cambios en la estructura física del suelo que impidan el desarrollo de los vegetales.

Si la tierra bajo riego presenta características convenientes para el cultivo, tales como textura adecuada, drenaje suficiente y los elementos indispensables para la nutrición de las plantas y, sin embargo, los cultivos que en ella se hacen presentan síntomas de daños fisiológicos, éstos pueden atribuirse a la presencia de factores limitantes para el perfecto metabolismo del vegetal. Estos factores pueden estar constituidos por el clima, cultivo no-racional del suelo, deficiencias o excesos de elementos menores, o por la calidad de las aguas de riego.

Las substancias que contenga el agua de riego pueden afectar considerablemente a la calidad del suelo, disminuir su permeabilidad o convertirlo en tierras salinas o alcalinas o, incluso, aumentar la necesidad de enmiendas para obtener rendimientos económicos.

El suelo es un complejo constituido por una enorme cantidad de productos químicos y biológicos que reaccionan entre sí según leyes establecidas, pero no del todo estudiadas en lo que se refiere a funciones de toxicidad.

El problema que afecta a la agricultura de la zona regada por las aguas contaminadas con los relaves de las Minas de Cobre de El Teniente, en la provincia de O'Higgins, ha sido juzgado hasta ahora sobre la base del contenido total de Cu en las aguas, sin considerar otros factores intrínsecos íntimamente ligados al problema, cuales son el complejo tierra y las respuestas de la planta.

En este trabajo se han tratado de establecer la o las causas por las cuales ciertos cultivos de la zona O'Higgins, regados con aguas contaminadas con tales relaves, presentan síntomas de un desequilibrio fisiológico, se ha intentado estudiar el problema en la forma más integral posible, considerando la mayor parte de los factores que se cree puedan intervenir en las deficiencias observadas en el campo.

Revisión de literatura.

Los productos tóxicos ocasionan daño a los vegetales no sólo por su presencia, sino que también por el desequilibrio que significa su intrusión en el complejo tierra y en el complicado sistema de absorción de las raíces.

Los suelos cercanos a minerales en explotación o expuestos a la acción de desechos industriales pueden afectarse en forma semejante (50) a aquellos

que presentan excesos de elementos menores. Se ha observado también que la práctica de pulverizar los citrus con sulfato de cobre durante muchas décadas, ha causado toxicidad en Florida (35) y también en viñas y hortalizas en Francia (3), (16).

Al hacer una detenida revisión de la literatura, se puede concluir que los metales no afectan siempre en forma independiente a las plantas. En la mayoría de los casos actúan en forma muy compleja. Su efecto depende de la concentración en que se encuentran, de la calidad del suelo, acidez intercambiable, de los demás iones de absorción y del tipo de planta. En todo caso actúan provocando desequilibrios en la absorción de los distintos iones que hay en el suelo. Así, en suelos arcillosos, el efecto del cobre es menor (21). El daño es mucho mayor en los suelos arenosos (33), donde los límites de toxicidad son menores, debido a su baja capacidad de fijación.

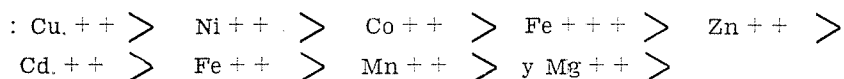
El pH del suelo es un factor de suma importancia en la fijación de los elementos: pero el cobre es menos susceptible a los cambios de acidez que el Zn, Mg y Mo (48). De aquí que, cualquiera que sea la cantidad de iones Cu que se encuentre en las tierras, ella es totalmente aprovechada por las plantas en un amplio margen de pH (1), (5), (16), y su escasa fijación en suelos ácidos debe producirse debido a la formación lenta de compuestos orgánicos de Cu (26).

Las plantas requieren para su crecimiento normal, de pequeñas cantidades de algunas sustancias minerales, cuyo aumento notorio causa grandes trastornos fisiológicos, siendo uno de los síntomas más frecuente la amarillez de las hojas (clorosis), por bloqueo en la síntesis de la clorofila o por su posterior destrucción. Se sabe que los productos tóxicos como Cu, Cd, Ni y Zn producen clorosis por deficiencia de hierro, según la sensibilidad relativa de las distintas plantas. Las aplicaciones foliares de hierro, devuelven el color verde a las hojas, pero no previenen la toxicidad del Cu en las raíces (45). Hewit (23) y Brown (7) establecen que existe un antagonismo entre Cu y Fe, lo que significaría para el caso estudiado, que el hierro que exista, tanto en el agua como en la tierra, haría disminuir notablemente los agudos daños fisiológicos producidos por el Cu.

Brown, et al. (7), Jaminsos (27) y otros, consideran que el fósforo aumenta la toxicidad del Cu. Este hecho podría ser explicado si se considera que el fósforo precipita al hierro (45), debido a lo cual el cobre quedaría en mayor libertad para ser absorbido por las raíces.

El problema presenta mayores complicaciones si se toma en cuenta que el Cu, u otro metal pesado, interviene en la relación Mo/N. Hewit (24) y Smith y Specht (45) consideran que una cantidad de Mo ligeramente superior a la normal, en presencia de nitratos aumenta la clorosis producida por toxicidad de Cu, Zn, Mn y Co. Estos autores tras una serie de ensayos logran establecer

una marcada influencia en la absorción de N, Mo y Fe, especialmente en presencia de metales pesados. Smith y Specht (45) y otros (44) dicen que de los elementos menores, el cobre parece ser el más potente productor de clorosis. De Kock (11), Hunter y Vergano (25), Hewit (23) y otros, han demostrado que la toxicidad del Cu se encuentra en primero o segundo lugar entre los metales pesados. El orden establecido para los compuestos metálicos, de acuerdo con sus efectos toxicos, es el siguiente:



Johnson y Graham (29), De Rose, et al. (14) y Allyn (2) dan las cifras de 5-15 pp.m. en la tierra como cantidades de Cu normalmente toleradas por la mayoría de las plantas. A su vez, el Dr. H.D. Chapman (*) (información personal), Smith y Specht (45), Tokuoque y Dyo (47), consideran que cualquier daño fisiológico que se presente en los vegetales puede atribuirse a la presencia de cantidades desde 0,1 pp.m. de Cu en solución en el agua de riego.

Origen de las aguas contaminadas.

El mineral El Teniente se encuentra situado a 2.230 metros de altura, en la falda de la cordillera de los Andes, al N.E. de Rancagua, en la comuna de Machali (34° de latitud al Sur y 71°,2 al Oste de Gr.). Desde 1907 el Mineral es explotado por la Braden Copper Co.

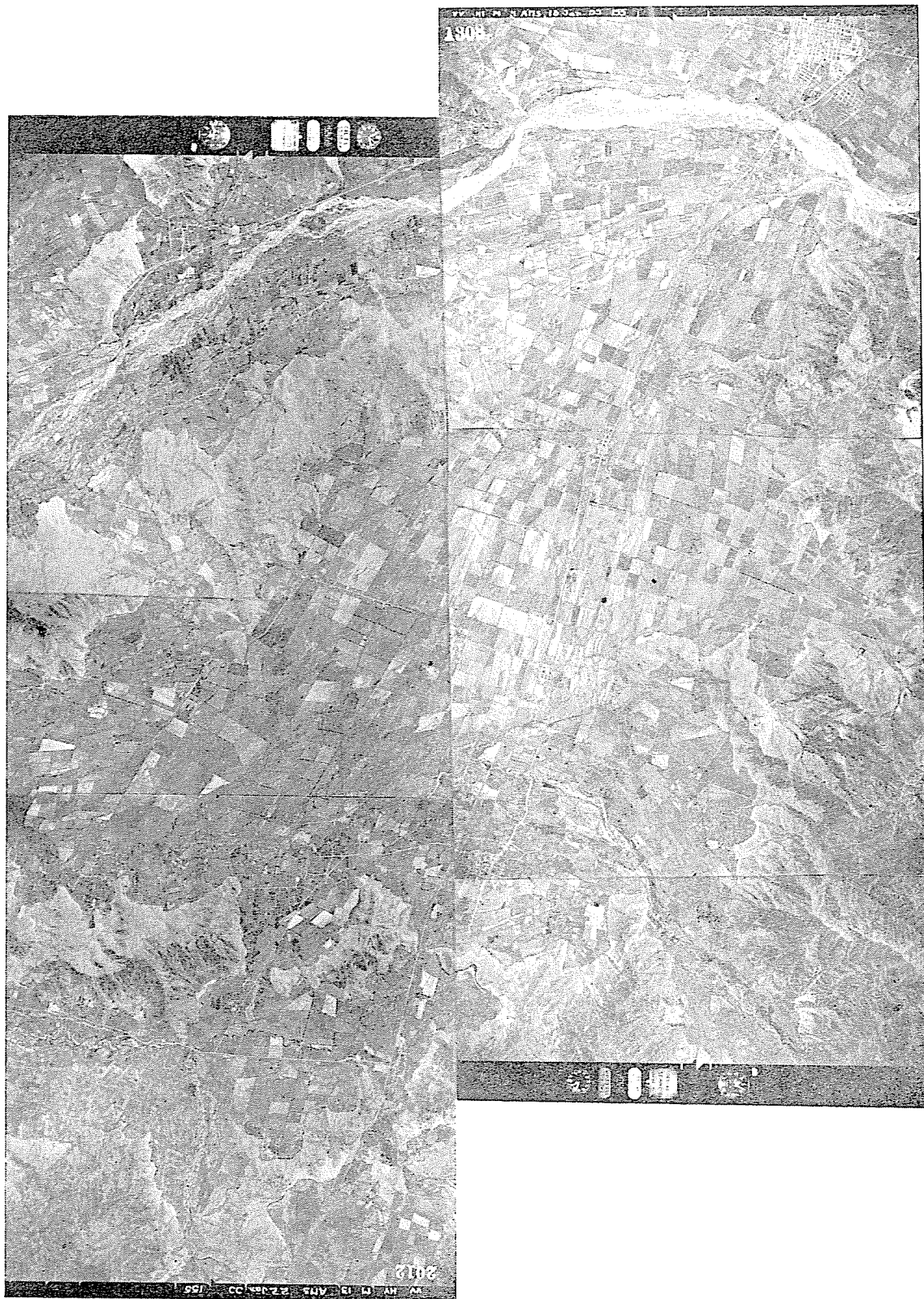
Para el beneficio de los minerales, se aprovechan las aguas del Río El Teniente y las del estero Cañón del Diablo. Ambas corrientes se unen al Río Coya, cuyas aguas, antes de esta confluencia, son empleadas en los usos domésticos de la población de Sewell.

Las aguas de El Teniente contienen 364,4 pp.m. de cobre total y tienen un pH 3,4, después de pasar por las minas.

Las aguas del Coya siguen hacia el Suroeste, recibiendo a diversos esteros, como el Barahona, Almendro, Alcaparrosa, etc. hasta juntarse con el Río Cachapoal.

El Estero Barahona, posiblemente debido a que sus aguas pasan por el antiguo tranque Barahona, donde se acumulaban los relaves del mineral, (tranque destruído por movimientos sísmicos del año 1928), reveló 487,3 pp.m. de cobre total al análisis de una muestra obtenida en Febrero de 1956 (cuadro N° 16)

(*) Professor of Soils and Plant Nutrition Citrus Experiment Station Riverside, California.-

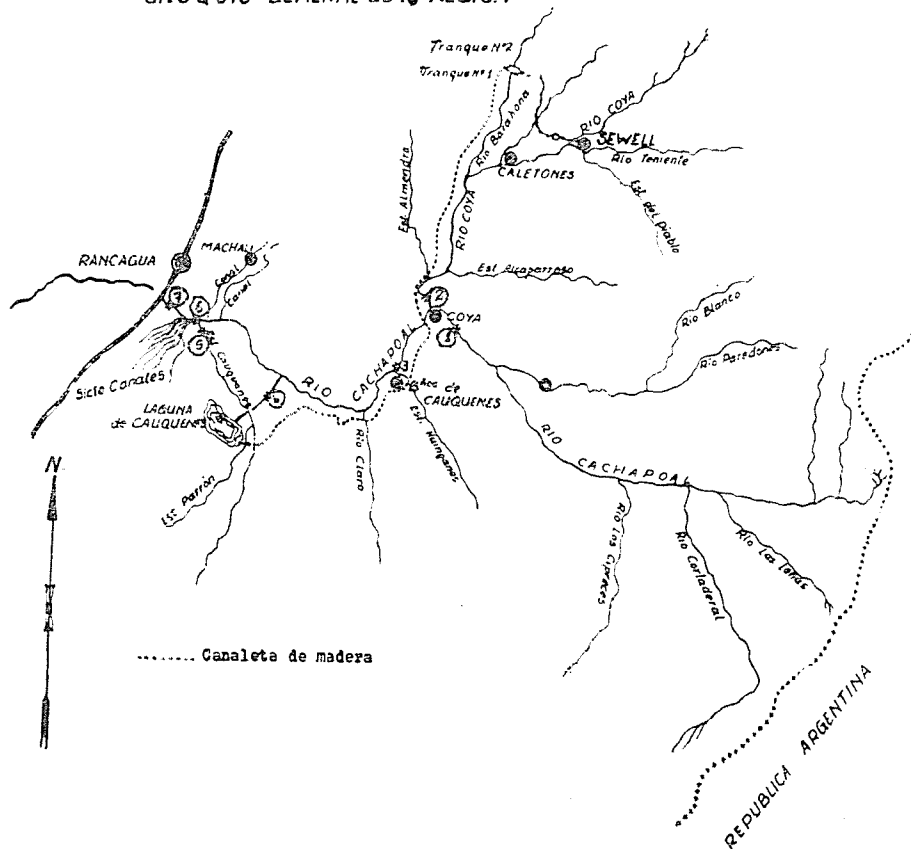


FOTOGRAFIA AEREA

El Río Cachapoal nace en el cerro de Los Pluquenes (4.460 m.s.n.m.) de un conjunto de ventisqueros, cuyos deshielos lo alimentan. Por el Sur recibe las aguas de los ríos Las Leñas y Cortaderal. Aguas abajo recibe al Río Cipreses, que se orienta en dirección Sur-Norte. Los Ríos Pangal y Coya le aportan las aguas de la parte Septentrional de la Hoya cordillerana. El Cachapoal, antes de recibir al Coya, contiene sólo 0,02 pp.m. de cobre y sus aguas son claras. El Coya inmediatamente antes de unirse al Cachapoal, contiene 6,9 pp.m. de cobre y a esta altura sus aguas son turbias, elevando el contenido del Cachapoal a 0,48-0,08 pp.m. (cuadro N° 17), al mismo tiempo que enturbia sus aguas.

En las inmediaciones de Coya, el Río Cachapoal lleva un caudal medio anual de 82,68 m³/seg. Los meses de máximo son de Noviembre a Marzo. Enero presenta el gasto mayor, con 171,5 m³/seg. Un rasgo muy característico de este Río es la brusca caída de su caudal en el mes de Abril. Agosto presenta el caudal mínimo de sólo 41,9 m³/seg. y las aguas empiezan a aumentar en Septiembre.

CROQUIS GENERAL de la REGION



Croquis Hidrográfico.

Los Nos. indican el lugar de colección de las aguas.
(ver cuadro N° 17).

Perjuicio que se atribuyen a los relaves del Mineral El Teniente.

En el Mineral El Teniente, diariamente se producen relaves que alcanzan a 4 metros cúbicos por toneladas de mineral, en circunstancias que se elaboran entre 30 y 36 mil toneladas diarias. {

Con el fin de evitar los daños de todo orden que acarrearía a la agricultura el arrojar a los ríos esta enorme cantidad de material estéril, la Compañía construyó, con los mismos relaves, tranques de retención del material sólido, los que sucesivamente fueron arrasados por las aguas en Agosto de 1913, Noviembre de 1914, Enero de 1915 y, en Junio de 1916.

En esta última fecha el material llegó al río Coya, se unió a las aguas del río Cachapoal y se introdujo a los canales de regadío, cubriendo algunos campos con una capa de sedimento fino.

El derrumbe que tuvo más serias consecuencias fué el del Tranque Barahona en 1928, que produjo enorme daño a la agricultura, inutilizando incluso parte de algunos potreros. Recientemente estos terrenos se están cubriendo lentamente de vegetación.

En Febrero de 1939 se empezó a utilizar como tranque de retención la Laguna de Cauquenes, para lo cual las colas o relaves se transportan por una canaleta de madera que recorre 42 kilómetros hasta vaciarse en dicha Laguna.

En la Laguna de Cauquenes el material en suspensión es decantado por un sistema de conos de doble fondo que funcionan por gravedad, separando las partículas gruesas de las finas.

Una vez decantada, el agua de la Laguna se vacía al estero Cauquenes, cuyas aguas se juntan a las del Cachapoal. Poco antes de esta confluencia, el primero tiene un pH 3,4 y contiene 141,2 a 148 pp.m. de cobre total.

Gracias al funcionamiento de la canaleta de madera, que teóricamente vacía todos los relaves de la mina El Teniente a la Laguna de Cauquenes, la única zona que actualmente podría considerarse como afectada por estos relaves, sería la de los fundos regados por los canales de la ribera Sur del Río Cachapoal, que corresponde a 27.000 há regadas directamente con los canales y a 10.000 há. regadas con derrames. Estos canales, que son siete, tienen sus bocatomas en el Cachapoal, más abajo de la desembocadura del Estero Cauquenes, que desagua a la Laguna del mismo nombre.

Los de la ribera norte captan al Cachapoal aguas arribas de la confluencia con el Cauquenes. Sin embargo, se han determinado contaminaciones con cobre en las aguas del Río Coya en muestras tomadas a la altura del pueblo de Coya, lo que significa que a la larga también debieran verse afec-

tados los suelos agrícolas regados por el Cachapoal que quedan ubicados en su ribera Norte.

Al recorrer los fundos de la ribera Sur, a primera vista no se observan daños en los cultivos, e incluso alguno de sus propietarios demostraron desconocer los supuestos perjuicios ocasionados por los relaves.

No obstante, la mayor parte de los agricultores de esa zona, consideran que sus cultivos, especialmente los anuales y de raíces poco profundizadoras, se resienten considerablemente al iniciar su desarrollo y, en especial después de algunos riegos.

Al hacer una cuidadosa revisión crítica de la zona, se observan evidentes diferencias entre las plantas ubicadas a entrada de aguas de riego y a su salida. Las primeras, especialmente si son anuales, presentan escaso desarrollo, amarillez y, en muchos casos, se comprueba su pérdida total. Estas manifestaciones también pueden observarse en trébol y alfalfa, aunque en menor grado. Este año cubre una franja irregular de unos 10-20 metros de ancho a lo largo de la acequia de entrada de aguas de riego, en la casi totalidad de los potreros recorridos. Además, en los cultivos ubicados más al interior de los potreros, pueden verse manchas de plantas cloróticas que van aumentando su espaciamento, hasta desaparecer a salidas de aguas de riego.

La frecuencia con que se observan estos perjuicios no tiene relación con la topografía del terreno, ni con su ubicación dentro de la zona afectada, pudiendo encontrarse en los más distintos puntos de la región, sin depender tampoco de la distancia a los canales de riego.

En síntesis, los síntomas que muestran las plantas anuales afectadas son los siguientes: plantas enanas, tallos púrpura y pequeñas hojas cloróticas con venas verdes. En trébol y alfalfa se observa escaso crecimiento y hojas con un pronunciado color dorado.

Manifestaciones de este tipo han sido descritas por De Kock (11), Chapman, Liebig y Vanselow (9) entre los síntomas que presentan las plantas afectadas por exceso de metales pesados y, en especial, por la acción específica del cobre.

De las numerosas observaciones efectuadas en la zona, puede deducirse que el mayor daño se presenta en los cultivos de trigo y avena, quedando en segundo término el maíz. Por su parte, el frejol se afecta con los primeros riegos, perdiendo las hojas inferiores. En cuanto a los trebolares y alfalfares, especialmente estos últimos, aparentemente no sufren en forma tan marcada, aunque hay manifestaciones de falta de vigor en las plantas, fenómeno éste que puede originarse también por causas ajenas a la materia en estudio.

La viña es otro cultivo que abunda en la zona en estudio. En él se pre-

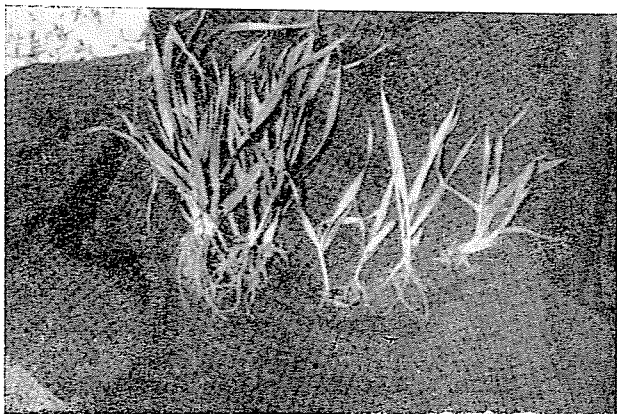
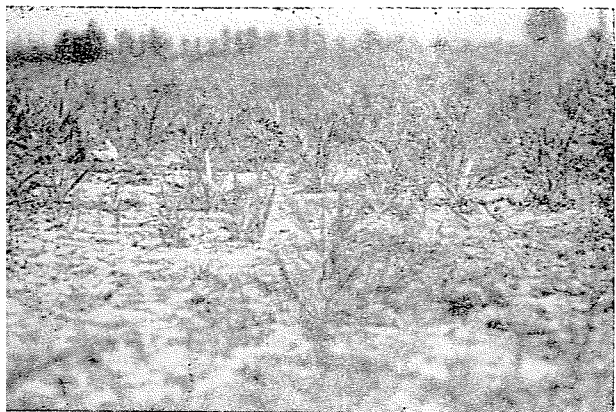
sentan dificultades durante los primeros tres años de vida. Dentro de este período las plantas crecen muy lentamente y en muchos casos hay necesidad de replantes (Informe personal del Ing. Agrónomo Sr. Armando Vieira, de la Sección Fruti-vinicultura del Depto. de Producción Agraria, Ministerio de Agricultura). Analizadas las tierras de algunas viñas, en distintos puntos, unos considerados "buenos" y otros "malos" por la calidad de las plantas, se determinaron cantidades de 2-5 pp.m. de cobre soluble para los primeros y cifras variables entre 20 y 30 pp.m. de cobre soluble para los segundos. En estos casos puede entonces sospecharse que un factor determinante del retardo en el desarrollo de las plantas, es el contenido de cobre del suelo

Aún cuando algunos agricultores de la zona expresan que hay evidentes daños en otros cultivos, la autora sólo ha constatado los señalados, sin que quiera significar que los demás no existen.

Depto. Produc. Agraria

VISTAS GENERALES DE UN POTRERO DE AVENA
FUNDO "SANTA TERESA DE LAS MERCEDES" REQUINOA

Regado con Canal Abra y Río Seco



Plantas normales y plantas afectadas,
correspondientes a un mismo potrero.

METODO DE TRABAJO.

Los cultivos anuales de raíces poco profundizadoras de la zona en estudio, presentan, sin lugar a dudas, síntomas de un marcado desequilibrio fisiológico. Este trastorno no afecta uniformemente a todas las plantas ubicadas dentro de los potreros afectados. Las plantas que más daños muestran, corresponden a las de entrada de aguas de riego en la casi totalidad de los potreros estudiados.

Al tratar de determinar si los daños observados en realidad son debidos a efectos de los relaves de cobre sobre los cultivos, se hace necesario estudiar por separado y en conjunto, dos factores que actúan en forma simultánea: la tierra y el agua.

En esta última debe estudiarse si efectivamente contiene dosis de cobre tóxicas para las plantas que se riegan con ella, u otro elemento proveniente de los relaves de las minas de cobre que pueda constituir causa de los daños observados en la zona.

A su vez, en el factor tierra, previamente hay que eliminar las causas intrínsecas que pudieran producir efectos de aparente toxicidad, como serían la presencia de capas impermeables o niveles freáticos a poca profundidad, o de sales que indujeran a considerarla como tierra salina o alcalina. Es necesario estudiar también si las tierras, independientemente del agua de riego, contienen cantidades de cobre susceptibles de dañar a los cultivos.

A.— ESTUDIOS REALIZADOS CON LA TIERRA

1.— *Sanidad del suelo.*

Se determinó mediante un barreno de 1,50 mts. de longitud, reconociendo la casi totalidad de los predios afectados y se tomaron las muestras especialmente a entrada y salida de aguas de riego, en tres o cuatro potreros de cada propiedad.

2.— *Análisis de las tierras.*

Las muestras de tierra se sometieron al análisis de rutina para determinar su calidad agrícola (Cuadro Nº 1), determinación de cobre total por método yodométrico (Cuadro Nº 2) y cobre aprovechable por el método de Morgan con Alfa-benzoinoxime.

Los análisis de las tierras se efectuaron en la Sección Suelos del Depto. de Producción Agraria del Ministerio de Agricultura. Se empleó el método de Peach con solución extractiva de Morgan (31).

3.— Posibilidades de toxicidad.

Relación planta-procedencia de la tierra.

La tierra que se usó en todos los trabajos realizados en esta investigación, se obtuvo en la siguiente forma:

Se recorrieron todos los fundos afectados en la ribera Sur del Río Chapoal, colectando tierras de diferentes potreros a 0,30 cm. de profundidad. Se consideró como "Tierra A" a aquella que se colectó a entrada de aguas de riego y como "Tierra B" a la muestra representativa a salidas de aguas de riego.

Los ensayos que se realizaron en el presente trabajo, se hicieron en maceteros con cinco repeticiones y el agua para riego se calculó a base de la capacidad de campo de las distintas tierras. Como control se usó tierra de Santiago, cuyas características se consignan en los cuadros Nos. 1 y 2.

Se ha denominado "agua problema" a aguas contaminadas con relaves del Mineral El Teniente, extraídas en la bocatomía de los canales de la ribera Sur, que sirve a la zona afectada por el problema en estudio.

Con el fin de establecer si en el laboratorio persistía la relación que se observa en el campo en cuanto a la calidad de las plantas y la procedencia de las tierras a entrada y salida de aguas de riego, se hicieron los siguientes experimentos:

Experimento N° 1.— Se cultiva alfalfa (*Medicago sativa*) en tierras A, B y testigo. Se usa para regarlas agua potable de Santiago y "agua problema" separadamente para cada uno de los canales en estudio (Cuadro N° 4).

Experimento N° 2.— Se siembra trigo (*Triticum aestivum*) en tierras A, B y testigo. Se riega con aguas del canal Crianza (Cuadro N° 5).

Experimento N° 3.— Se siembra soya (*Glycine max*) en las mismas condiciones que en el ensayo anterior (Cuadro N° 6).

Efectos de abonos y enmiendas físicas:

Experimento N° 4.— Para saber si las deficiencias en P y N que indicaban los análisis de fertilidad eran los causantes del deficiente desarrollo de las plantas cultivadas en dicha tierra, se siembra trigo en tierra A. Se riega con "agua problema" y se abona con P_2O_5 a razón de 100 unidades por Há., 60 unidades de N por Há y Krillium al 1% (Cuadro N° 7).

Efecto del cobre contenido en el agua:

Experimento N° 5.— Se cultiva trigo en tierra testigo regando con soluciones en agua destilada de cobre al 0,5 y 1 pp.m. (Cuadro N° 8).

Relación entre calidad de plantas-cantidad de cobre en la tierra:

Experimento N° 6.— Se cultiva alfalfa en tierras A, B y Testigo. Se riega con agua potable de Santiago y “agua problema”. Se determina cobre total con método Yodométrico en las tierras utilizadas (Cuadro N° 9).

Experimento N° 7.— Se cultiva trigo, regado con agua destilada, en muestras de tierra de los siguientes potreros de los fundos que se indican a continuación, los que se encontraban con los cultivos que aparecen señalados:

| Fundos | Potrero | Canal Riego | Cultivo |
|----------------------------------|-------------|-----------------|-------------------------|
| 1.— Maitén | Granero | Crianza | Rastrojo de maravilla |
| 2.— Sta. Luisa | Las Cuestas | Cerro | Trébol, rastrojo cebada |
| 3.— Las Bandurrias | Las Vacas | Crianza | Alfalfa 3 años |
| 4.— El Candil | El Marco | Comunidad | Alfalfa 1 año |
| 5.— Las Cabras | La Arboleda | Peumal | Alfalfa 2 años |
| 6.— Sta. Amelia | Estuche | Peumal | Alfalfa 2 años |
| 7.— Los Perales | Las Casas | Perales | Alfalfa 2 años |
| 8.— La Esmeralda | | Apaltas | Maíz |
| 9.— Sta. María | El Monte | Gultro | Trébol |
| 10.— La Isla | Maitén | Isla y Sumaeta | Trébol, rastrojo trigo |
| 11.— San Javier | El Monte | Jordán y Valdés | Alfalfa 2-3 años |
| 12.— Sta. Teresa de las Mercedes | Pataguas | Abra y Río Seco | Trébol, rastrojo trigo |
| 13.— Sta. Teresa de las Mercedes | Naranjal | Abra y Río Seco | Alfalfa 3 años |
| 14.— En Machali | El Recreo | Canal ribera N. | Trébol rosado |
| 15.— En Machali | | Canal ribera N. | Trébol rosado |

Efecto del légamo sobre las plantas:

Experimento N° 8.— Se cultiva trigo en légamo cuidadosamente colectado en el campo, después de un riego efectuado en el mes de Noviembre de 1955 en el potrero Las Cuestas del Fundo Sta. Luisa (Cuadro N° 11). Riego con agua destilada.

Relación calidad de planta-cantidad de cobre en los suelos del cultivo:

Experimento N° 9.— Se obtuvieron muestras de tierra según la calidad de las plantas, de un potrero de maíz (*Zea mays*) que presentaba, en forma muy característica, diferencias en desarrollo y manchas de plantas cloróticas con diferentes grados de intensidad. Se relacionaron estas deficiencias con la cantidad de cobre presente en la tierra.

Las plantas se clasificaron como pésimas (P), malas (M), regulares (R) y buenas (B). En el potrero, para cada calidad de vegetación (P-M-R-B), se

muestreó en cuatro puntos distintos para cada uno de los tres horizontes del suelo: horizonte A - 8 cm., horizonte B - 16 cm. y horizonte C - 30 cm.

De esta manera, para un mismo potrero a cada calidad de vegetación le correspondieron 12 muestras de tierra.

En cada una de estas muestras se determinó cobre asimilable por el método Morgan con alfa-benzoinoxime como reactivo (Cuadro N° 12).

Experimento N° 10.— Igual al anterior, pero la tierra se obtuvo del potrero El Naranjal, cultivado con avena (*Avena sativa*), del Fundo Santa Teresa de Las Mercedes (Cuadro N° 13).

Experimento N° 11.— Igual al N° 9 y 10, pero la tierra utilizada corresponde al potrero el Bosque, cultivado con Avena, del Fundo Las Bandurrias, en los Lirios (Cuadro N° 14).

B.— ESTUDIOS REALIZADOS EN EL AGUA DE RIEGO

El elemento que presenta más posibilidades de estar actuando como tóxico es el cobre. Por consiguiente, el presente trabajo se orientó, en primer lugar, hacia su determinación cualitativa y cuantitativa en el agua, descartándose al mismo tiempo por análisis, la posibilidad de existencia de otro elemento que también pudiera estar actuando como tóxico (Cuadro N° 15).

Como la cantidad de cobre soluble máxima tolerada por las plantas en el agua de riego es de sólo 0,1 pp.m., se usó método yodométrico en la determinación del cobre total, y en la de cobre soluble, el fotcolorímetro de Klett-Sumerson y Diethylthiocarbamato de Sodio como reactivo (40) (Cuadro N° 17).

Las muestras de aguas que se utilizaron para los diversos experimentos, se tomaron teniendo siempre en vista su origen, para conseguir, dentro de lo posible, aguas libres de otros relaves o desechos distintos a los por estudiar.

Ensayos con cultivos hidropónicos:

Como solución nutritiva se usó la solución de Knop modificada por Steimberg. Para evitar deficiencias o toxicidades anexas por acumulación de elementos que alteraran los resultados, se hicieron cambios totales de las soluciones cada dos días. El oxígeno necesario se suministró con un inyector, o con el trasvasijo diario de las soluciones. Se usaron frascos de ¼ lt. pintados con esmalte negro y aluminio. Las plantas se cosecharon a los 20-30 días.

Reacción de las plantas al agua problema:

Experimento N° 12.— Se cultiva maíz, lechugas y tomates, previamente germinadas en germinadoras, en agua potable destilada y "agua problema", todas

sin agregaciones de solución nutritiva (Cuadro N° 18).

Experimento N° 13.— Para comprobar la hipótesis de que los relaves de cobre son los causantes del efecto depresivo, se hicieron cultivos en agua de los canales en estudio del Río Cachapoal y también en las aguas del Río Mapocho, que igualmente recibe relaves de minas de cobre (Mineral La Disputada de Las Condes), los que se compararon con plantas cultivadas en aguas del Río Aconcagua y Río Maipo.

Las aguas del Cachapoal que se emplearon, corresponden a “aguas problemáticas”; las del Mapocho se colectaron a la altura de La Hermita en las Condes; las del Río Aconcagua, en los Andes, y las del Río Maipo, a la altura del puente del Maipo en el camino longitudinal Sur (Cuadro N° 19).

Experimento N° 14.— Para determinar si el o los productos tóxicos son susceptibles de eliminación, se cultivaron plantas en agua filtrada de los Ríos Cachapoal y Mapocho. Las plantas utilizadas fueron tomate (*Lycopersicon esculentum*), maíz (*Zea mays*), romaza (*Rumex crispus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) (Cuadro N° 20).

Productos de flotación del cobre y acción del cobre sobre las plantas:

Experimento N° 15.— Los productos de flotación, Aerofloat, Ethil Minerac, Acido Cresílico, fueron proporcionados por Braden Copper Co.. Las dosis utilizadas se calcularon en base de la cantidad de productos que se necesita para elaborar 36 mil toneladas de mineral al día y con un gasto de 25 metros cúbicos por segundo en la bocatoma de los canales de la ribera Sur (Cuadro N° 21). El gasto de 25 m³/seg. en la bocatoma, corresponde a un promedio aproximado de las cifras para 10 años durante las épocas de mínimos del Río, (dato proporcionado por la Asociación de Canales de la Ribera Sur del Río Cachapoal).

Para determinar la curva de posible toxicidad de dichos productos, se probaron tres dosis mínimas y tres dosis máximas respecto de un valor central calculado en la forma señalada.

Experimento N° 16.— Se cultivan tomates en soluciones nutritivas que contienen 0,1 pp.m., 0,5 pp.m. y 1,0 pp.m. de cobre. Se usa Sulfato de Cu p.a. Merck (Cuadro N° 22).

RESULTADOS Y DISCUSION

1.— **Sanidad del suelo.** Se constató que la profundidad del suelo varía desde los 0,30 mt. hasta 1,20 mt. siendo seguida de arena gruesa o bien de cascajos, lo que en ningún caso perjudica la permeabilidad de las tierras.

2.— **Análisis de las tierras.** Los análisis de fertilidad del suelo, realizados en gran número a las tierras de la zona en estudio, establecen que, en general, se trata de tierras franco arenosas que poseen cantidades mínimas de nitróge-

no nítrico y de fósforo aprovechable (Cuadro N° 1). Estas condiciones se mantienen dentro de un margen muy estrecho de variación para toda la zona.

C U A D R O N° 1

Análisis de fertilidad de las tierras utilizadas en los ensayos

(Promedio de 28 análisis)

Análisis químico: Método de Extracción.

| Tierra | pH | Mat. orgánica | N nítrico | P aprov. | K aprov. | Rduo. salino | Carbo-natos. |
|---------|------|---------------|-----------|----------|----------|--------------|--------------|
| Testigo | 7,49 | 3,95 | 87,0 | 245,94 | 1.456,0 | — | — |
| A | 7,62 | 3,02 | 14,0 | 4,42 | 272,43 | — | — |
| B | 7,06 | 3,74 | 20,2 | 2,60 | 269,54 | — | — |

Análisis físico-mecánico:

| Tierra (*) | Humed. | M.O. | Calcár. | Arenas: | | Limo | Arcilla | PxSol. |
|------------|--------|------|---------|---------|------|------|---------|--------|
| | | | | gruesa | finá | | | |
| Testigo | 2,7 | 3,9 | — | 12,8 | 39,3 | 18,3 | 19,7 | 2,7 |
| A | 1,8 | 2,5 | — | 9,4 | 51,1 | 19,8 | 14,9 | 2,1 |
| B | 2,1 | 3,5 | — | 9,6 | 40,2 | 21,9 | 19,0 | 2,3 |

(*) Testigo — Tierra de Santiago

A — Tierra de muestra A (entrada de aguas de riego, de la zona afec.)

B — Tierra de muestra B (salida de aguas de riego de la zona afect.).

Al análisis, las tierras A y B no presentan gran diferencia. Las pequeñas diferencias analíticas no justifican la desigualdad en el desarrollo de las plantas que se observa en el campo.

El pH de las tierras en estudio queda comprendido entre 6,50 y 7,99 valores que están dentro de los normales y que no afectan en ninguna forma a los cultivos. Se sabe que en las tierras con pH muy alto los elementos menores se encuentran formando sales poco solubles, difícilmente asimilables por las plantas. Por lo tanto, si uno de estos elementos se encuentra en cantidades tóxicas, sus efectos deben ser aminorados debido a la inmovilidad de una parte del complejo.

Es necesario hacer resaltar esta condición, pues explica en cierto modo por que no es muy agudo el daño que se observa en la zona estudiada, a pesar de las altas cifras de Cu que arroja los análisis. Sin embargo, un pH 7 u 8 no bloquea en forma absoluta la absorción de los metales pesados, sino que solamente dificulta su absorción en mayor o menor grado según el vegetal;

pués no hay que olvidar que las raíces se envuelven con una capa mucilaginosa producida por ella misma y, posiblemente también, por los microorganismos que se desarrollan en dicha capa.

C U A D R O N° 2

Presencia de Cu en las tierras usadas en las experiencias.
Método Yodométrico, cobre total.

| Tierra | Cantidad de Cu. |
|---------|-----------------|
| Testigo | 0 pp m. |
| A | 876 " " |
| B | 250 " " |

El Cuadro N° 2 muestra una evidente diferencia entre las tierras A y B en lo que respecta a su contenido de Cu, el cual es, en ambos casos, bastante elevado.

C U A D R O N° 3

Presencia de cobre en el légamo dejado por el Río Coya,
Estero Cauquenes y Río Cachapoal.

Método Morgan: Reactivo: alfa-benzoinoxime

| Légamo | Cu soluble |
|----------------------|------------|
| Canal de regadío (*) | 203 pp.m. |
| Río Coya | 70 " " |
| Estero Cauquenes | 900 " " |
| Fdo. Sta. Luisa (**) | 75 " " |

(*) Tomada en las paredes del Canal Crianza y Comunidad, cerca del Fundo Las Bandurrias y El Candil, respectivamente.

(**) Del potrero Las Cuestas, cultivado con trébol. Este légamo fué colectado después de un riego efectuado en Noviembre de 1955.

Relación calidad de plantas-procedencia de la tierra.

La literatura señala claramente que la presencia de cualquier elemento en cantidades que sobrepasan las normalmente toleradas por las plantas, producen grandes trastornos fisiológicos.

Sin embargo, es interesante hacer notar que no todas las plantas, ni aún variedades de una misma especie vegetal, reaccionan en la misma forma ante

un elemento determinado, lo cual impide hacer generalizaciones válidas sobre estas materias.

El daño fisiológico en las plantas cultivadas en tierras que se riegan con aguas contaminadas con relaves de minas de cobre, se traduce en algunos casos en la muerte de las plantas, o en una reducción tal de su desarrollo, que impide la producción de rendimientos económicos en los cultivos.

3.— POSIBILIDADES DE TOXICIDAD.

Los primeros estudios trataron de establecer si en el laboratorio persistía la relación que es posible observar en el campo en cuanto a calidad de plantas y procedencia de la tierra a entrada y salida de aguas de riego, obteniéndose una respuesta afirmativa:

C U A D R O N° 4

Riego con agua de los canales de la Ribera Sur del Río Cachapoal

Planta: Alfalfa

Testigo: Riego con agua potable de Santiago

Peso seco total en grs.

| Fuentes de agua | Tierra A 876 pp.m. Cu | Tierra B 250 pp.m. Cu | Tierra Santiago |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| Canal Peumal | 12,4027 | 12,2754 | 10,6870 |
| " Crianza | 8,8049 | 11,2759 | 28,4854 |
| " Perales | 11,7810 | 16,3102 | 38,0147 |
| " Jordán y Valdés | 11,0214 | 13,3129 | 33,1667 |
| " Apaltas | 9,6776 | 14,5844 | 34,4426 |
| " Río Seco | 9,8810 | 11,3324 | 29,0883 |
| " Gultro | 9,8508 | 11,6610 | 25,7307 |
| " Isla y Sumaeta | 10,3606 | 36,0948 | 30,8087 |
| Promedios | 10,3385 | 14,9452 | 29,2788 |
| Agua potable de Stgo. | 9,7810 | 14,5591 | 32,2348 |

Depto. Produc. Agraria

ENSAYO TRIGO: Regadas con agua destilada (Cuadro N° 5)

T_D = Tierra Santiago

B_D = Tierra Cachapoal salida de aguas de riego

A_D = Tierra Cachapoal entrada de aguas de riego

Regadas con agua canal Crianza

T² = Tierra Santiago

B² = Tierra Cachapoal salida de aguas de riego

A² = Tierra Cachapoal entrada de aguas de riego.



C U A D R O N° 5

Relación entre planta y calidad de tierra

Planta: Trigo

Peso seco total en grs.

| Fuentes de agua | Tierra A 876 pp.m. Cu total | Tierra B 250 pp.m. Cu total | Tierra Santiago 0 pp.m. Cu. |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Canal Crianza | 9,4167 | 11,6155 | 17,3647 |
| Agua destilada | 10,2026 | 11,5186 | 19,7662 |
| " potable Stgo. | 9,8009 | 10,9746 | 20,4107 |

C U A D R O N° 6

Planta: Soya

Peso seco total en grs.

| Fuentes de agua | Tierra A 876 pp.m. Cu total | Tierra B 250 pp.m. Cu total | Tierra Santiago 0 pp.m. Cu. |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Canal Crianza | 8,2333 | 12,7313 | 28,2027 |
| Agua destilada | 5,9603 | 8,0519 | 23,4293 |
| " potable Stgo. | 6,8924 | 7,6680 | 24,0109 |

Estos experimentos, tendientes a establecer la relación entre procedencia de la tierra y calidad de la planta, dejan bien en claro que las tierras A producen plantas de menor desarrollo que las cultivadas en tierras B. Estas diferencias entre las plantas cultivadas en tierras A y B, se mantienen a través de todos los ensayos, pero no pueden ser atribuidas a las diferencias en fertilidad que existe entre ellas, ya que estas son pequeñas, como pueden verse en Cuadro N° 91.

El mayor peso que dieron las plantas de soya cultivadas en tierra de Santiago y regadas con agua del canal Crianza (Cuadro N° 6), se explica por ser esta planta ávida de elementos menores, avidez que se satisface con los minerales que encuentra en el agua. De todos modos, las tierras A dieron un total menor que las tierras B. Luego hay que suponer que está actuando un elemento ajeno a la calidad de las tierras, el que influye en el desarrollo de las plantas.

Efecto de abonos y enmiendas físicas:

Paralelamente con los ensayos anteriores, se estudiaba la respuesta de las plantas cultivadas en Tierra A a aplicaciones de abonos, para determinar si las deficiencias en fósforos y nitrógeno que revelaban los análisis de fertilidad, eran causantes del escaso desarrollo de las plantas cultivadas en dicha tierra.

C U A D R O N° 7

ENSAYO con Krillium, Fósforo y Nitrógeno

Tierra: entrada de aguas de riego

Planta: Trigo

Peso seco de las plantas en grs.

| Tierra | Cu total pp.m. | Abonos o enmiendas | Aguas: Destilada | 'agua problema' |
|---------|-------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
| Testigo | 00 | — | 5,7220 | 5,0723 |
| A | 876 | — | 3,2636 | 2,7530 |
| " | " | Krillium | 2,8681 | 2,6677 |
| " | " | Nitrógeno | 3,1763 | 2,4934 |
| " | " | Fósforo | 4,2208 | 4,1503 |
| " | " | N - P | 4,0710 | 3,8739 |

Krillium 1% del peso de la tierra
P₂O₅ 100 unidades/há
Nitrógeno 60

Los resultados que muestra el Cuadro N° 7 indican que las plantas regadas con agua destilada dieron mayor peso seco, en general, que las regadas con "agua problema", aún en el caso de la tierra testigo, lo que estaría indicando que las aguas de riego portan un elemento que inhibe el desarrollo de las plantas.

Además, se puede observar que no hay ventajas en la aplicación de Krillium, pues no existen problemas de estructura que corregir en el suelo. Como pudiera esperarse, dadas las cifras del análisis agrícola de las tierras (Cuadro N° 1), la corrección de la deficiencia de fósforo es más efectiva que la de nitrógeno.

Las plantas respondieron favorablemente a las aplicaciones de fósforo,

lo cual estaría en desacuerdo con lo dicho por algunos autores (7-27). Como no se hicieron más ensayos, no podría adelantarse más juicios al respecto.

Efectos del cobre contenido en el agua:

Los síntomas de enanismo, clorosis y enrojecimiento de tallos y algunas hojas que muestran las plantas observadas en el terreno, pueden deberse a toxicidad o deficiencia de algún elemento, ya que ambos pueden confundirse.

La distribución que presentan las plantas afectadas dentro de los potreros, hace sospechar que el daño se debe, con mayor posibilidad, a toxicidad que a deficiencias, y que el elemento tóxico sería llevado por el agua de riego, produciendo un daño inmediato en los primeros estados vegetativos de las plantas, o a largo plazo si se acumula en el suelo hasta alcanzar límites tóxicos para el vegetal.

Es necesario entonces determinar si el cobre agregado al agua de riego es el causante de la reducción en el desarrollo de las plantas, y si este fenómeno es producido por otro elemento que pudiera encontrarse en suspensión o solución en ella.

C U A D R O N° 8

Influencia del Cu contenido en el agua sobre el crecimiento de las plantas

Planta: trigo

Tierra: Santiago

| | Peso plantas |
|-----------------------|--------------|
| Agua destilada | 7,0864 grs. |
| Solución 0,5 pp.m. Cu | 6,4065 " |
| " 1,0 " " " | 5,9812 " |

Los resultados que aparecen en el cuadro N° 8 indican que el desarrollo de las plantas decrece a medida que se eleva la proporción de Cu en el agua de riego, al mismo tiempo que se provocan artificialmente y por un exceso de Cu, los mismos síntomas que se observan en el campo.

Relación entre calidad de plantas y cantidad de cobre de la tierra:

Los análisis determinaron que las tierras A contienen mayor cantidad de cobre que las tierras B. De aquí que los ensayos anteriores se ampliaron, con el fin de estudiar la posible relación entre la calidad de las plantas y la cantidad de cobre que existe en la tierra.

Con los experimentos efectuados con la tierra se establece claramente (Cuadros Nos. 4-5-6) que existe una estrecha concordancia entre desarrollo de la planta (pesc seco) y procedencia de la tierra en cuanto a entrada y salida de aguas. Son siempre superiores las plantas cultivadas en tierra B. La diferencia que se presenta en el desarrollo de las plantas, según estos experimentos, está directamente relacionada con la cantidad de cobre total que dieron los análisis de tierras, según puede observarse en el cuadro N° 9: a mayor cantidad de cobre menor pesc seco en las plantas.

C U A D R O N° 9

Relación entre Tierra, Agua, cantidad de Cu y peso por planta

Cobre total: Método Yodométrico

Planta: Alfalfa

| Agua de riego | Tierra | Tierra Cu. ppm. | Peso seco gr. planta |
|--------------------------|--------|--------------------|-------------------------|
| Muestra representativa | A | 700 | 0,3726 |
| de los canales | B | 200 | 0,5379 |
| | T | 0 | 1,0452 |
| Aguas del Canal Peumal | A | 750 | 0,3522 |
| | B | 500 | 0,4510 |
| | T | 0 | 1,1395 |
| Agua potable de Santiago | A | 750 | 0,3912 |
| | B | 250 | 0,5824 |
| | T | 0 | 1,2894 |

A tierras de entrada de aguas de riego

B " salida de riego

T " testigo (de Santiago)

Ante estos resultados, se vió la necesidad de comprobar su validez, examinando lo que sucede no ya con muestras compuestas representativas de toda la zona, sino concentrando el trabajo en casos especiales. De aquí que se planeara el experimento N° 7 (Cuadro N° 10).

C U A D R O N° 10

Relación entre peso seco total de la planta y cantidad de cobre en la tierra

Planta : Trigo

Método: Morgan

Riego : Agua destilada

| Tierra de los Fundos | Tierra A | | Tierra B | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Cobre soluble Tierra | Peso seco planta grms. | Cobre soluble Tierra | Peso seco planta grms. |
| 1.— Fundo Maitén | 10 pp.m. | 6,89 | 10 pp.m. | 9,47 |
| 2.— Sta. Luisa | 75 " | 3,42 | 30 " | 8,44 |
| 3.— Las Bandurrias | 10 " | 9,87 | 35 " | 7,15(*) |
| 4.— El Candil | 10 " | 7,54 | 10 " | 7,37 |
| 5.— Las Cabras | 20 " | 8,89 | 10 " | 13,31 |
| 6.— Sta. Amalia | 20 " | 10,50 | 15 " | 11,98 |
| 7.— Perales | 20 " | 10,62 | 20 " | 18,28 |
| 8.— La Esmeralda | 15 " | 6,93 | 5 " | 16,92 |
| 9.— Sta. Maria | 5 " | 17,88 | 25 " | 9,82(*) |
| 10.— La Isla | 10 " | 10,11 | 20 " | 5,70(*) |
| 11.— San Javier | 35 " | 8,16 | 20 " | 8,47 |
| 12.— Sta. Teresa de Las Merc. | 20 " | 8,33 | 5 " | 12,86 |
| 13.— Sta. Teresa de Las Merc. | 75 " | 3,87 | 15 " | 9,21 |
| 14.— En Machali | 5 " | 13,51 | 5 " | 15,48 |
| 15.— En Machali | 0 " | 13,05 | 5 " | 15,25 |
| Testigo | 0 " | 18,78 | | |

Los ensayos en maceteros con esas muestras especiales de tierra, arrojan los resultados que aparecen en el cuadro N° 10, los que confirman los resultados generales anteriores; debe señalarse que en los casos (*) en que el peso seco de plantas por macetero de tierra B fué inferior a las cultivadas en tierra A, la cantidad de cobre existente en la tierra era mayor en B.

Efecto del légamo sobre las plantas:

Además del sedimento natural del río, el agua de riego arrastra una cantidad variable de fino légamo o polvo impalpable de color grisáceo o ver-

duzco, que se deposita a lo largo de su recorrido, quedando a orillas del río, en las paredes de los canales de riego ó, por último, sobre los campos de cultivo. Este limo varía proporcionalmente con la cantidad de relaves que recibe el río.

Los análisis del légamo dieron cifras muy importantes, pues demostraron que es en él donde se deposita la mayor parte del cobre soluble que transportan los relaves de las minas, el que se precipita al llegar al río debido a su alto pH (Cuadro N° 3).

C U A D R O N° 11

Efecto del légamo del agua de riego sobre trigo.

Planta: Trigo

Agua de riego: destilada.

Método: Morgan, alfa-benzoinoxime.

| Tierra | gr/planta | Cu soluble |
|--------|-----------|------------|
| Légamo | 5,6192 | 75 pp.m. |
| A | 9,6120 | 25 " |
| B | 10,9746 | 15 " |

Estudio de la relación calidad de planta-cantidad de cobre en los suelos de cultivo.

Estos experimentos resultaron fundamentales en la investigación del problema en estudio. Con ellos se demuestra (cuadros 12-13-14) la estrecha relación que hay entre desarrollo de planta y cantidad de cobre presente en los suelos de cultivo de la zona. Las plantas consideradas pésimas se desarrollan en suelos que, según los análisis, contienen en promedio sobre 40 pp.m. en su superficie y sobre 7 pp.m. a los 40 cm. de profundidad. En las plantas clasificadas como buenas, el primer horizonte contiene un promedio de 12 pp.m. y sólo hay indicios en el horizonte C.

C U A D R O N° 12

Calidad de plantas en relación con el contenido de cobre del suelo

Fundo: La Esmeralda

Potrero: con maíz

Método: Morgan

| Calidad de planta | Horiz. | Cobre ppm. | | | | Promedio |
|------------------------|--------|------------|-------|-------|-------|----------|
| muestras de tierra N°: | | | | | | |
| (P) | | (1) | (2) | (3) | (4) | |
| Pésimas | a | 30 | 30-40 | 40 | 20 | 48,75 |
| | b | 20 | 15 | 40 | 40 | 28,75 |
| | c | 10 | 5 | 10 | 5 | 7,50 |
| (M) | | | | | | |
| Malas | a | 20 | 20-25 | 35-40 | 35-40 | 29,37 |
| | b | 10 | 20 | 20 | 20-25 | 18,12 |
| | c | 0 | 5 | 5 | 5 | 7,50 |
| (R) | | | | | | |
| Regulares | a | 15 | 20 | 10-15 | 30 | 20,00 |
| | b | 10 | 20 | 5-10 | 15 | 13,12 |
| | c | 0 | 0-2 | 0 | 5 | 1,50 |
| (B) | | | | | | |
| Buenas | a | 15 | 5-10 | 10 | 15 | 11,88 |
| | b | 5 | 5 | 5-10 | 5-10 | 6,25 |
| | c | 0 | 0 | 5 | 0 | 1,25 |

C U A D R O N° 13

Calidad de plantas en relación con el contenido de cobre del suelo

Fundo: Santa Teresa de Las Mercedes

Potrero: Avena

Método: Morgan

Calidad de

| Calidad de planta | Horiz. | Cobre ppm. | | | | Promedio |
|-------------------|--------|------------|-------|-------|-----|----------|
| | | (1) | (2) | (3) | (4) | |
| (P) | | | | | | |
| Pésimas | a | 30 | 40 | 20 | 25 | 29 |
| | b | 20 | 30 | 15 | 20 | 21 |
| | c | 15 | 5-10 | 5-10 | 15 | 11 |
| (R) | | | | | | |
| Regulares | a | 20 | 25 | 20 | 10 | 19 |
| | b | 15 | 15 | 10-15 | 5 | 11 |
| | c | 10 | 5 | 10 | 2-5 | 7 |
| (B) | | | | | | |
| Buenas | a | 10 | 10-15 | 10 | 15 | 12 |
| | b | 10 | 15 | 10 | 15 | 12 |
| | c | 0 | 2-5 | 10 | 10 | 5,6 |

C U A D R O N° 14

Calidad de plantas en relación con el contenido de cobre del suelo

Fundo: Las Bandurrias

Potrero: Avena

Método: Morgan

| Calidad de planta | Horiz. | Cobre soluble ppm. muestras de Tierra N°: | | | | Promedio |
|-------------------|--------|---|-----|-----|-----|----------|
| | | (1) | (2) | (3) | (4) | |
| (P) | | | | | | |
| Pésimas | a | 35 | 30 | 25 | 25 | 28,75 |
| | b | 15 | 25 | 15 | 10 | 16,25 |
| | c | 5 | 15 | 10 | 5 | 8,75 |
| (M) | | | | | | |
| Malas | a | 30 | 30 | 20 | 10 | 22,50 |
| | b | 20 | 15 | 10 | 15 | 15,00 |
| | c | 5 | 15 | 10 | 5 | 8,75 |
| (R) | | | | | | |
| Regulares | a | 25 | 25 | 15 | 20 | 21,25 |
| | b | 15 | 15 | 10 | 10 | 12,50 |
| | c | 5 | 10 | 5 | 5 | 6,25 |
| (B) | | | | | | |
| Buenas | a | 15 | 15 | 15 | 15 | 15,00 |
| | b | 15 | 10 | 5 | 10 | 10,00 |
| | c | 15 | 5 | 0 | 5 | 6,25 |

Así como los resultados de los ensayos hechos en maceteros permitieron establecer relación entre calidad de planta y cantidad de cobre en el suelo, los estudios efectuados en el campo, que relacionaron plantas en distintos

grados de desequilibrio fisiológico con la cantidad de cobre contenida en los suelos en que ellas encontraban, confirmaron en forma nítida que la calidad de la planta está relacionada con la cantidad de cobre que existe en la tierra, como puede verse en los cuadros Nos. 12, 13 y 14.

Con este último estudio queda completamente establecido:

1º— Que la calidad de la planta está relacionada con la concentración de cobre en el suelo.

2º— Que concentraciones superiores a 15 pp.m. de cobre soluble en el suelo, tienden a producir plantas deficientes, siendo de pésima calidad las plantas cultivadas en suelos que posean sobre 30 pp.m. de cobre soluble.

3º— Que el cobre se deposita en el suelo especialmente a entradas de aguas de riego, como lo demuestra la abundancia de plantas de pésima calidad, y, luego, cubre manchas irregulares que disminuyen su frecuencia hacia la salida de aguas de riego.

4.— EFECTO DEL TOXICO SOBRE LAS PLANTAS.

Al relacionar la cantidad de cobre presente en las tierras y la calidad de plantas que producen, se estableció que, a mayor cantidad de cobre corresponde menor peso seco por planta, como puede verse en los Cuadros N° 9 y 11. El Cuadro N° 10, muestra en forma muy clara que el desarrollo de las plantas esta relacionado con la cantidad de cobre que contiene la tierra, independientemente de su ubicación a entradas o salidas de aguas de riego, como lo muestran los casos 3) 9) y 10) del citado cuadro.

Estos experimentos explican porqué en los ensayos de los Cuadros N°4, 5 y 6 las plantas de tierra A, que posee 876 pp.m. de cobre total, presentan menor peso seco que las cultivadas en tierra B, que posee 250 pp.m. de cobre total según cuadro N° 2.

5.— ACUMULACION EN EL SUELO DEL TOXICO CONTENIDO EN EL AGUA Y SUS EFECTOS.

Los Cuadros Nos. 12, 13 y 14, además de demostrar que existe relación directa entre la calidad de las plantas y cantidad de cobre en la tierra, revelan un hecho de mucha importancia: el cobre se acumula en los primeros cms. del suelo, siendo su concentración realmente importante en la zona superficial.

Reuter et al. (36), Jamison (26) y Drouineau (16) observaron y estudiaron también este fenómeno de retención del cobre en las capas superiores.

El vegetal depende en sus primeros estados de desarrollo de los alimentos que le proporciona la semilla, la que no alcanza a afectarse por la toxicidad del cobre. La raíz emitida a expensas del endospermo, si es capaz de alcanzar capas más profundas, donde la concentración de cobre es menor, puede seguir desarrollándose en forma normal, afectándose solamente las hojas basales de la planta. Este hecho puede observarse con frecuencia en la zona estudiada. Si la raíz no puede transpasar rápidamente la capa tóxica, la planta se desarrolla enana, clorótica, ó muere lentamente.

La acumulación de cobre en las capas superiores del suelo explica la supervivencia de las plantas de raíces profundizadoras, a pesar de la enorme cantidad de Cu que en muchos casos se constató en los análisis de las tierras, y también por qué la alfalfa y los árboles frutales solo son afectados durante su primer período de vida. La vid es dañada en sus tres primeros años, retardándose su crecimiento (3), a pesar de que la viña es uno de los cultivos más resistentes a cantidades tóxicas de Cu. Anne y Dupuis (3) consideran que 400 mg. de cobre por kilo de suelo apenas afectan a las plantas, las que sólo se dañan severamente con aplicaciones de 800 mg. de cobre.

C U A D R O N° 15

Análisis practicados a muestras de aguas
Método Yodométrico. Totales

Hernán Vergara Mardones
Químico - Farmacéutico

| Procedencia del agua | pH | Sólidos totales | Cloruros NaCl | Nitratos | Nitritos | Sulfatos | Hierro Fe2O3 | Calcio |
|------------------------|------|--------------------|------------------|----------|----------|----------|-----------------|--------|
| Estero Cauquenes | 7.25 | 160 | 16 | 2 | 1 | 30 | 101 | 2.8 |
| Bocatoma | 7.3 | 350 | 61 | 2.5 | 1.2 | 41 | 203 | 4.2 |
| Canal: Cerro y Peumal | 7.63 | 345 | 55 | 2.7 | 1.2 | 44 | 205 | 5.2 |
| Canal: Crianza | 7.5 | 320 | 60 | 2.5 | 1.2 | 47 | 193 | 6 |
| Canal: Comunidad | 7.62 | 315 | 56 | 2.6 | 1.2 | 41 | 199 | 6.6 |
| Canal: Perales | 7.5 | 303 | 59 | 2.8 | 1.5 | 48 | 171 | 6.4 |
| Canal: Jordán y Valdés | 7.55 | 372 | 59 | 2.4 | 1.5 | 50 | 226 | 5.6 |
| Canal: Apaltas | 7.59 | 375 | 55 | 2.5 | 2 | 51 | 231 | 4.8 |
| Canal: Abra y Río Seco | 7.6 | 312 | 57 | 2.1 | 1.2 | 53 | 191 | 4.6 |
| Canal: Gultro | 7.5 | 415 | 67 | 3 | 2.4 | 54 | 258 | 5.4 |
| Canal: Isla y Sumacta | 7.53 | 405 | 63 | 2.8 | 1.2 | 50 | 244 | 5.8 |
| Desagüe Lag. Cauquenes | 2.6 | 2.880 | 440 | 13 | 20 | 1.430 | 1.059 | 364 |

Todas la expresiones están dadas en pp.m.

No se constató presencia de Ni, Pb, Mg, Mo, Mn, Zn.

C U A D R O N° 16

B.— ESTUDIOS REALIZADOS CON EL AGUA DE RIEGO.

Determinación de Cu total en el agua.

Método Yodométrico.

| Muestras tomadas en: | Cu total pp.m. |
|--|----------------|
| Cascada (Frente a Isla) | 210,6 |
| Estero Barahona | 487,3 |
| Río El Teniente | 364,4 |
| (*) Canal desagüe Laguna Cauquenes | 141,2 |
| (*) " " " " | 148,0 |
| (*) " " " " | 254,5 |
| Río San Francisco (afluente del Río Mapocho) | 37,2 |
| Río Mapocho | 5,3 |
| (*) Muestras tomadas en distintas fechas. | |

C U A D R O N° 17

Determinación de cobre soluble en distintas aguas

Método colorimétrico

Reactivo: Diethylthiocarbamato de Sodio.

| N° | Muestra | | |
|----|--|-----------|------------|
| 1 | Río Cachapoal sobre Río Coya | 26/VI/57 | 0,02 pp.m. |
| 2 | Río Coya (antes de unirse al Cachapoal) | 26/VI/57 | 6,90 " |
| 3 | Río Cachapoal, en Termas de Cauquenes | 24/IV/56 | 0,08 " |
| " | " " " " | 23/VI/56 | 0,48 " |
| " | " " " " | 19/III/57 | 0,80 " |
| 4 | Desagüe Laguna Cauquenes | 26/VI/57 | 7,10 " |
| 5 | Estero Cauquenes | 10/VI/57 | 1,20 " |
| " | " " " | 26/VI/57 | 4,25 " |
| 6 | Río Cachapoal, bocatoma de canales | 7/VIII/56 | 14,00 " |
| " | " " " " | 19/III/57 | 1,60 " |
| " | " " " " | 10/VI/57 | 0,88 " |
| " | " " " " | 26/VI/57 | 1,73 " |
| 7 | Río Cachapoal (orilla) en puente camino longitudinal. | 16/V/57 | 19,30 " |
| " | Río Cachapoal (centro Río) en puente camino longitudinal | 16/V/57 | 2,10 " |

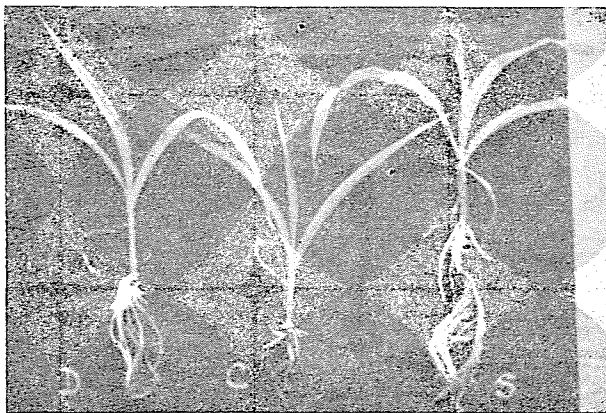
Depto. Produc. Agraria

CULTIVO HIDROPONICO DE MAIZ (Cuadro N° 18)

D = Agua Destilada

C = "Agua Problema"

S = Agua Potable de Santiago



Reacción de las plantas al "agua problema":

Si se acepta que el contenido máximo de Cu que puede tolerarse en aguas de uso agrícola es de 0.1 pp.m., del Cuadro Nº 17 se deduce que el agua del Río Cachapoal, antes de su conjunción con el Coya, queda muy por debajo de ese límite.

La primera contaminación que recibe el río proviene del Coya, la que es seguida por la afluencia más importante de relaves, constituida por la canaleta de desagüe de la Laguna Cauquenes, y luego, por el Estero Cauquenes, hasta convertir sus aguas, a la altura de la bocatoma de los siete canales, en no aptas para usos agrícolas por la cantidad de cobre que arrastran

C U A D R O Nº 18

Ensayo con aguas y plantas distintas

Peso seco de las plantas en grs.

| Planta | Agua Destilada | Aguas Potable | Aguas problema |
|---------|----------------|---------------|----------------|
| Lechuga | 0,8180 | 1,2688 | 0,2551 |
| Maíz | 1,4952 | 2,0390 | 1,6831 |
| Tomate | 1,5732 | 0,2634 | 0,2175 |

El experimento Nº 12 demuestra que el agua de los canales contiene un elemento que actúa en forma depresiva sobre el crecimiento de las plantas. En el caso del maíz, en que el peso seco es superior al obtenido con agua destilada, las plantas presentaban clorosis y síntomas semejantes a los observados en la zona y que se atribuyen al cobre.

C U A D R O Nº 19

Cultivo de tomates en Aguas de los Ríos Mapocho

Cachapoal, Aconcagua y Maipo.

Planta: Tomate

Peso seco plantas en grs.

| | R í o s | | | |
|-----------------|---------|-----------|-----------|--------|
| | Mapocho | Cachapoal | Aconcagua | Maipo |
| Total peso seco | 1,6734 | 0,4806 | 5,3922 | 4,1257 |

El cuadro N° 19 muestra que las plantas cultivadas en aguas del Río Mapocho, que contienen pequeñas cantidades de relaves de las minas de cobre de La Disputada de las Condes (Cuadro N° 16), presentaron, como las cultivadas en aguas del Cachapoal, síntomas de toxicidad: plantas enanas y cloróticas.

C U A D R O N° 20

Cultivo de plantas en agua filtradas

Peso seco de las plantas en grs.

| Planta | agua destilada | "Agua Problema" | | Agua Mapocho | |
|---------|-------------------|-----------------|----------|----------------|----------|
| | | Sin filtrar | filtrada | Sin filtrar | filtrada |
| Tomate | 1,4068 | 0,1269 | 0,9632 | 0,7521 | 0,3288 |
| Maíz | 1,8596 | 0,5096 | 0,3177 | 0,5892 | 0,6065 |
| Rumex | 0,1735 | 0,0133 | 0,0123 | 0,0949 | 0,1789 |
| Lechuga | 0,6258 | 0,0402 | 0,4651 | 0,2539 | 0,1958 |

Del experimento N° 14 (Cuadro N° 20) se puede deducir, en primer lugar, que las plantas cultivadas en "agua problema" mostraron mayores daños que las cultivadas en las aguas del Río Mapocho. Segundo, que no siempre las plantas reaccionan favorablemente en las aguas filtradas; más bien lo hacen en forma sui generis en cada una de las aguas; así, mientras unas aumentan el peso seco en "agua problema" filtrada, las mismas disminuyen su peso en las aguas del Mapocho filtradas. Esto puede explicarse porque el metabolismo vegetal es característico para cada especie; también este hecho se revela en el campo, siendo algunas especies más afectadas por elementos tóxicos.

Efecto de los productos de flotación del cobre y acción del cobre sobre las plantas:

Para determinar el o los causantes de los daños que se observaron en los experimentos anteriores y su posible relación con los relaves de las minas, se cultivaron plantas de Tomates, Rumex, Maíz y Lechugas.

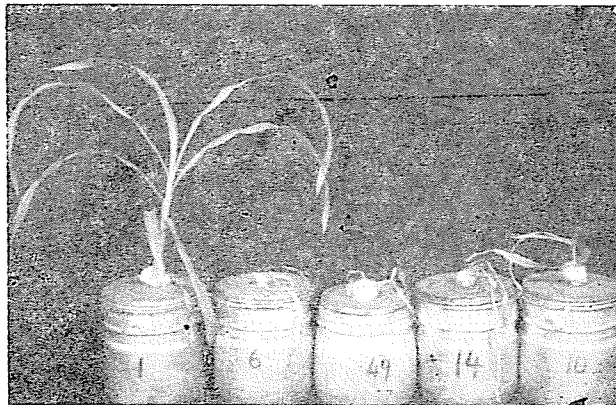
Cultivo hidropónico de Tomate - (Cuadro N° 20)

- 35 — Agua Destilada
- 38 — “Agua Problema”
- 59 — Agua Mapocho filtrada
- 42 — “Agua Problema”
- 46 — Agua Mapocho



Cultivo hidropónico de Maíz - (Cuadro N° 20)

- 1 — Agua Destilada
- 6 — “Agua Problema” filtrada
- 49 — Agua Mapocho filtrada
- 14 — “Agua Problema”
- 10 — Agua Mapocho



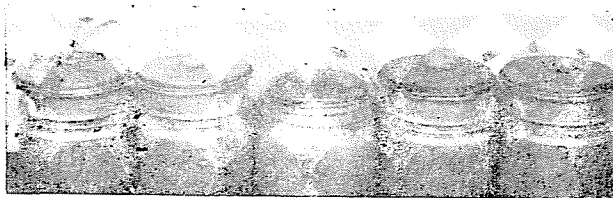
Cultivo hidropónico de Lechuga - (Cuadro Nº 20)

- 62 — Agua Destilada
- 68 — “Agua Problema” filtrada
- 80 — Agua Mapocho filtrada
- 69 — “Agua Problema”
- 74 — Agua Mapocho



Cultivo hidropónico de Rumex - (Cuadro Nº 20)

- 19 — Agua Destilada
- 22 — “Agua Problema” filtrada
- 54 — Agua Mapocho filtrada
- 26 — “Agua Problema”
- 30 — Agua Mapocho



C U A D R O N° 21

Cultivos en solución nutritiva más productos usados en la
flotación del cobre.

Planta: Tomate

| Aerofloat | | Minerac | | Ac. crecílico | | Aerof. + Mi. + Ac. crecílico | |
|------------|-----------------------|------------|-----------------------|---------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Sol. pp.m. | Peso seco planta grs. | Sol. pp.m. | Peso seco planta grs. | Sol. pp.m. | Peso seco planta grs. | Sol pp.m. | Peso seco planta grs. |
| 0,000 | 4,39 | 0,000 | 9,12 | 0,000 | 10,98 | 0,000 | 10,03 |
| 0,043 | 5,97 | 0,628 | 9,93 | 1,428 | 13,15 | 0,04- 1,57- 1,43 | 15,02 |
| 0,107 | 6,97 | 1,571 | 14,09 | 3,570 | 12,48 | | |
| 0,213 | 5,37 | 3,142 | 10,48 | 7,140 | 11,33 | 0,43- 6,28-14,23 | 9,57 |
| 0,426 | 4,13 | 6,283 | 9,44 | 14,280 | 8,18 | | |
| 0,639 | 4,48 | 9,425 | 9,11 | 21,420 | 8,30 | 1,07-15,71-35,70 | 15,39 |
| 0,852 | 3,79 | 12,566 | 10,85 | 28,560 | 6,15 | | |
| 2.130 | 5.65 | 15.708 | 11.41 | 35.700 | 4.85 | | |

(*) Testigo.

C U A D R O N° 22

Cultivo en solución nutritiva más agregación de dosis de Cobre. (*)

Planta: Tomate

| Cobre pp.m. | Peso seco grs. |
|-------------|----------------|
| 0,1 | + |
| 0,5 | + |
| 1,0 | + |

(*) Las dosis de cobre usadas se basaron en que se acepta que 0,1 pp.m. de cobre soluble en el agua es la cantidad mínima tóxica para la mayor parte de los cultivos.

+ Muerte de las plantas.

Como puede observarse en el Cuadro N° 21, los productos Aerofloat, Ethil Minerac y Acido Crecílico usados en la flotación del cobre por la Braden Copper Co., no afectan en forma negativa el crecimiento de los vegetales y, en ciertas dosis, por el contrario, aún puede considerarse que lo incrementan.

Cultivo hidropónico de Tomate

(Cuadro Nº 21)

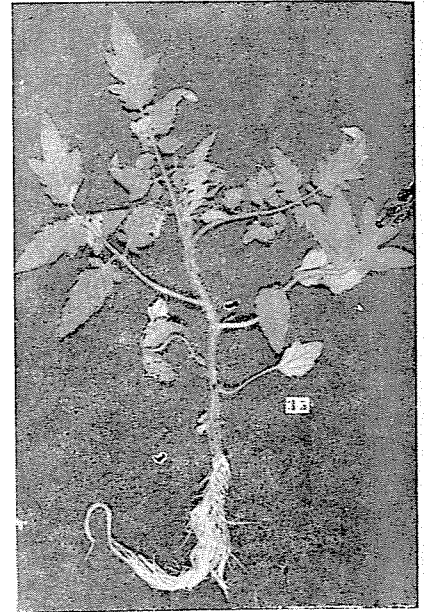
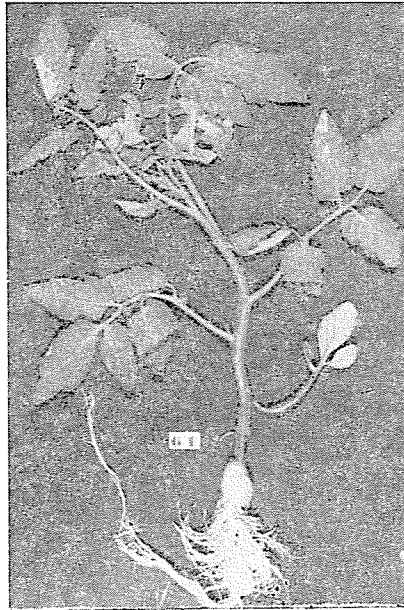
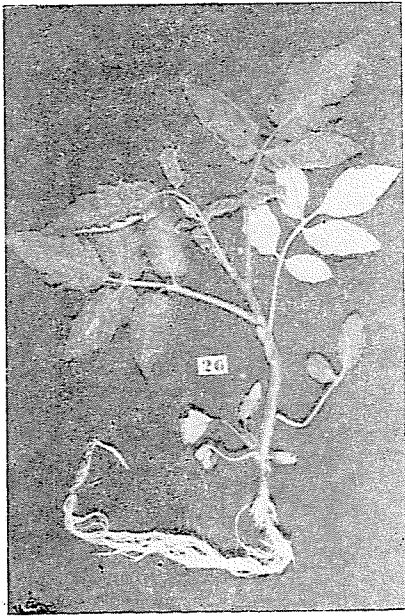
- 1.— Testigo
- 8.— Minerac
- 10.— Acido cresilico
- 21.— Aerofloat más Minerac más acido cresilico



Cultivos en solución nutritiva más Aerofloat

(Cuadro Nº 21)

- 26 — Testigo
- 61 — Aerofloat en 0.11 pp.m.
- 35 — Aerofloat en 2.13 pp.m.



Cultivo hidropónico con dosis de Cu

(Cuadro Nº 22)

- 1 — Testigo
- 17 — Cu en 0.1 pp.m.
- 18 — Cu en 0.5 pp.m.
- 19 — Cu en 1.0 pp.m.



No puede afirmarse lo mismo respecto del cobre, el que se mostró tóxico aún en dosis de 0,1 pp.m. (Cuadro N° 22). En esta dosis sólo sobrevivió el 50% de las plantas, las que se mantuvieron enanas, con las hojas cloróticas y el tallo coloreado de púrpura. Cuando se las cambió a soluciones nutritivas sin agregación de Cu, empezaron a recuperarse lentamente. Las sometidas a dosis mayores de cobre, murieron dentro de los 15 primeros días.

GRAVEDAD DEL PROBLEMA

En resumen, la serie de ensayos realizados demuestran que el cobre es un producto tóxico para las plantas, aún en dosis bastantes ínfimas.

Las cantidades de Cu que arrojan los análisis del agua de riego y de las tierras de cultivo regadas con aguas contaminadas con relaves de las minas de cobre del Mineral El Teniente, sobrepasan en muchos casos los límites máximos soportados normalmente por los vegetales.

El efecto que puede producir un elemento tóxico, depende también de la calidad de las tierras. En el caso estudiado, las tierras presentan dos caracteres negativos que agudizarían el problema y, por otra parte, existen dos factores favorables que aminoran el daño.

Los caracteres negativos serían:

1º— En su mayor parte se trata de suelos arenosos, es decir, de escasa capacidad de fijación. Esto significaría que cantidades mínimas del elemento tóxico son capaces de producir notorio daño a los vegetales, pues la escasa fijación del Cu en el suelo arenoso, facilita su penetración en las raíces vegetales. Es de hacer notar que en el campo se observó relación entre la mala calidad de la planta y un pequeño aumento en el porcentaje de arena del suelo. Además, en el Cuadro N° 1 se aprecia que al análisis mecánico, las tierras de entrada de aguas de riego contienen 60,5% de arena contra 49,8% de las tierras de salida de aguas de riego.

Estas cifras no justifican por sí solas los efectos del agua sobre el desarrollo de las plantas, ya que en ningún caso afectarían en forma decisiva, como lo demuestran los daños que es posible ver en los campos. Sólo significan que el daño tiene que presentarse más agudo en dichos suelos, por estar el Cu en forma más libre.

2º— Un factor altamente negativo es el constituido por la continua agregación del elemento tóxico con cada riego. En el mejor de los casos, el agua contiene 0,08 pp.m. de Cu soluble (Cuadro N° 17). Como el Cu existe en el suelo en cantidades más que suficientes para el buen desarrollo de los vegetales, cualquier agregación de cobre a esas tierras se traduce en acumulación del elemento, es decir, en daño cada vez más notorio con el transcurso del tiempo.

Factores favorables, que impiden que el problema se presente en forma tan aguda como para impedir el desarrollo de los vegetales en la zona en estudio, pese al cobre acumulado, son los siguientes:

1º— pH alto, tanto del agua como de la tierra.

Debido al pH alto, el Cu se inmoviliza en forma de sales insolubles a expensas del Ca, que se encuentra en la tierra en forma de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (6), (1) y (37).

Aún cuando el cobre se inmovilice en el suelo, el intercambio de apreciables cantidades de cobre, u otro elemento tóxico, se explica por la gran capacidad que tienen las raíces de obtener suficiente Cu de suelos neutros o ligeramente alcalinos, debido a la capa ácida que se mantiene alrededor de pelos y ápices radiculares. Esta capacidad también explica cómo diversos compuestos, de escasa solubilidad en agua, pueden ser efectivas fuentes proveedoras de Cu para las plantas.

2º— Las acumulaciones del Cu se presentan en forma muy irregular, es decir, sin cubrir homogéneamente el campo; se concentran preferentemente en los primeros centímetros de tierra cultivable, lo que es una ventaja, pues quedan zonas sin toxicidad y otras en que las plantas sólo se afectan en sus primeros estados.

CONCLUSIONES.

- 1º— Las tierras de la zona estudiada, en general son de deficiente calidad agrícola, pero esta deficiencia no justifica los daños que se observan en algunos cultivos.
- 2º— La calidad de las plantas está directamente relacionada con la cantidad de Cu existente en el suelo.
- 3º— Las tierras contienen, por acumulación, cantidades de Cu provenientes del agua de riego que en muchos casos exceden los límites tolerables por los vegetales.
- 4º— La toxicidad del Cu no se demuestra en toda su potencialidad debido a la presencia de otros elementos en el suelo y agua, que actúan reduciendo la acción tóxica del Cu.
- 5º— A pesar de los factores que atenúan la gravedad del problema, no se debiera seguir agregando nuevas dosis de Cu al agua, o empleándose agua contaminada con fines agrícolas.
- 6º— No se ha determinado toxicidad para los vegetales de los productos de flotación de los minerales de cobre denominados Aerofloat, Minerac y

Acido crecílico en las dosis que normalmente alcanzan hasta las aguas utilizadas para el riego agrícola.

- 7º— La Laguna Cauquenes no cumple con sus función de retener el Cu, y a que sus aguas tienen pH 2,6 - 3,4. En este caso el cobre se encuentra en forma totalmente soluble y sólo se precipita al llegar al Río Cachapoal, que presenta pH 7 - 7,7.
- 8º— Los estudios sobre abonos y enmiendas que estos terrenos exigen, debido a su complejidad, deben ser tratados en forma especial para la zona.

B I B L I O G R A F I A

- 1.— Albrecht, Wm. A. and R.A. Schroeder
1942. Plant Nutrition and the Hydrogen Ion. In Plant Nutrients Used most Effectively in the presence of a Significant Concentration of Hydrogen Ion. Soil. Sci. Vol. 53, Nº 4.
- 2.— Allyn, V.P.
1927. Ind. Acad. Sci. Proc. 43.
- 3.— Ane, P., M. Dupuis.
1953. Toxicité du Cu a l'égard de quelques plantes cultivées. C.R. Acad. Agr. 39.
- 4.— Aravena, Adriana.
1940. Investigación del Cobre en los Terrenos Regados por el Río Cachapoal. Tesis para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Stgo.
- 5.— Bobko, E. and E. Panova.
1945. Effect of large Amount of Copper on Plant Development in Peax Soils. Dokl. Akad. S. Kh Nauk. Nº 3.
- 6.— Boeschot P., and P. Quillon.
1952. Copper Fixation in Calcareous Soils. C.R. Acad. Sci. 234.
- 7.— Brown, J. C., R. S. Holmes, R. E. Shapiro, and A. W. Specht.
1955. Effects of Phosphorus and Copper Salts on Iron Chlorosis of Rice in Flooded and Nonflooded Soil and the associated Enzymatic Activity. Soil Sc. Vol. 79 Nº 5.

- 8.— Caldwell, John. 1935. The Occurrence of Cu poisoning in a Glasshouse Crop. *Ann Appl Biol.* 22.
- 9.— Chapman, H. D., Liebzig, Jr., and Vanselow, A. P. 1939. Some nutritional Relationships as Revealed by a Study of Mineral Deficiency and Excess Symptoms on Citrus Soil. *Sci. Soc. Amer. Proc.* 4.
- 10.— Daxer, H. 1939. Experiments on the Action of Copper on Leaves. *Ztschr. Pflanzen Krank. u. Pflanzenschutz*, 49 N° 4.
- 11.— De Kock, P.C. 1956. Heavy Metal Toxicity and Iron Chlorosis. *Annals of Bot. N.S.* Vol. XX N° 77.
- 12.— Delf, E.M. 1946. Translocation of Cu Ions in Plants. *Nature* 157.
- 13.— De Mumbrum, L.E. y M.L. Jackson. May 1956. Cu and Zn Exchange from Dilute Neutral Solutions by soil Electrolytes. *Soil Sci.* Vol. 81 N° 5.
- 14.— Do Rose, H. Robert, W.S. Eisenmenger and W.S. Ritchie. 1939. *Mass. Agr. Exp. Sta. Ann. Rpt. Bull.* 355.
- 15.— Dole, M.W. 1952. The *Aspergillus Niger* Method for Determining Copper in Soils. *Soil Sci.* 73.
- 16.— Drouineau, G. and R. Mazoyer. 1953. Copper Toxicity and Soil Evolution under the Influence of Fungicides. *C.R. Acad. Agric.* 39.
- 17.— Forbes, R.H. 1917. Certain effects under Irrigation of Cu compounds upon Crops. *Calif. Univ. Pubs. Agr. Sci.* 1.
- 18.— Foster, W.A. 1952. Some Effects of Metals in Excess on Crop Plants Grown in Soil Culture. *Long Ashton Res. Sta. Rep.*

- 19.— _____ 1952. Some Effects of Metals in Excess on Crop Plants Grown in Soil Culture. VI. Effects of Co and Cu on Mineral Status of Oat. Long Ashton Res. Sta. Rep.
- 20.— Gilbert, F.A. 1952. Copper in Nutrition. Adv. Agronom. 4.
- 21.— Hasler, A. 1943. Retention of Cu in Soil. Mitt. Lebensm. Hyg. 34 N^o 1/2.
- 22.— Hewitt, E.J. 1948. Relation of Mg and Some other Metals to the Iron Status of Plants. Nature 161.
- 23.— _____ 1948. Experiments on Iron Metabolism in Plants I. Some Effects of Metalinduced Iron Deficiency. Long Ashton Res. Sta. Ann. Rep.
- 24.— _____ 1950. Experiments on Iron Metabolism in Plants. III. The relation of Molibdenum and Nitrogen Supply to Metalinduced Iron Deficiency in Sugar. But. Long. Ashton Res. Sta. Ann. Rep.
- 25.— Hunter and Vergano O. 1953. Trace elements toxicities in oat plants. Ibrid. XL.
- 26.— Jamison, V.C. 1942. Adsorption and Fixation of Copper in some Sandy Soils of Central Florida. Soil. Sc. Vol. 53 N^o 4.
- 27.— _____ 1943. The Effects of Phosphates upon the Fixation of Zn and Cu in Florida Soils. Citrus Ind. 24 N^o 10.
- 28.— _____ 1943. The effect of Particles Size of Cu and Zn Source Materials and Excessive Phosphate upon the Solubility of Cu and Zn in Norfolk Fine Sand. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 8.

- 29.— Johnson, F.R. and E.R. Graham. 1940. Trace Elements and Missouri Soils. Soil Fert. XVI N° 6.
- 30.— Kretschmer, A.E. and W.T. Forsee Jr. 1954. The use and Effectiveness of Various Copper Bearing Materials for Application to Everglades Organic Soil. Science. Soc. of Am. Proc. Vol. 185 N° 4.
- 31.— Lunt, H.A., C.L.W. Swanson, H.G.M. Jacobson. 1950. The Morgan Soil Testing System. Bull. 541.
- 32.— Mackereth, F.J., W.J. Singly. 1951. Toxicity of Copper in Solution to the Stone Loach. Nature 168.
- 33.— Manns, Thomas F., W.L. Churchman and M.M. Manns. 1936. Influence of the minor Elements on the soil Flora. Del Agr. Expt. Sta. Bull. 205.
- 34.— Olson, Axel R., E. Orlemann, C.W. Koch. 1950. Introductory Quantitative Analysis.
- 35.— Podubsky, V., E. Stedronsky. 1951. Toxic effects of Some Metals of the Fry of the Common Pike (*Esox lucius*) Spawn of Great Maraena (*Coredonus maraena*) and Spawn of common Trout (*Salmo fario*). Sbornik Askoslov. Akad. Zemédélské 23.
- 36.— Reuter, W., P.F. Smith, A.W. Specht. 1952. Accumulation of the Mayor Bases and Heavy Metals in Florida Citrus Soils in Relation to Phosphate Fertilization. Soil Sci. 73.
- 37.— Reuter, W. and P.F. Smith. 1953. Effects of Hight Copper Content of Sandy Soil on Growth of Citrus Seedlings. Soil Sci. 75.

- 38.— Reyes, Benicio. 1947. Informe sobre Aguas de Rebalses del Tranque de relaves Provenientes del Tratamiento de Minerales de El Teniente. Concepción.
- 39.— Riso Patron, Luis. 1916. El Mineral del Teniente y el Río Cachapoal. Informe pasado a la Comisión de Canalistas del Río Cachapoal. Santiago Chile Imprenta Universitaria.
- 40.— Sánchez, M., Hilda. 1956. Análisis de las Aguas del Río Cachapoal. Tesis para optar al Título de Profesor de Estado de Química y Merciológia.
- 41.— Sarata, Uitiro. 1938. Solution of Copper in Soils. Japan J. Med. Sci. II. Biochem. 4.
- 42.— Shibuya, K. and Torili, T. 1935. Un favourable Effects of the Iron Salts on the Availability of Potash Fertilizers J. Sci. Soil Manure (Japan) 9, Nº 1.
- 43.— ————— 1935. Un favourable Effects of the Iron Salts on the Availability of Potash Fertilizers. II. J. Japan. Assoc. Advc. Sci. 10.
- 44.— Shive, J.W. 1924. Report of the Department of Plant Physiology. New Jersey Stas. Rpt.
- 45.— Smith, Paul F. and Alston W. Specht. 1953. Heavy Metal Nutrition and Iron Chlorosis of Citrus Seedlings. Plant Physiology 28.
- 46.— Teakle, L.J.H. 1942. Copper Deficient Soils in Wetern Australia. J. Aust. Inst. Agr. Sci. 8.
- 47.— Tokuoka, Matuo and Suisen Dyo. 1938. Effect of Cu on the Growth of Paddy Rice. II Water Culture Experiments. J. Soc. Trop. Agr., Taikoku Imp. Univ. 10

- 48.— Trumble H.C. 1950. Trace Elements and Phosphate in Herbage Plant Nutrition. A Symposium on Copper Metabolism.
- 49.— Udenas, Sam. 1937. An Investigation of the Use of Copper Sulfate against "Cultivation Disease" Lantbruks Hogskol Ann. 4.
- 50.— Verona, O. 1953. Malattie nutrizionali delle Piante Coltivate. Bologna. Italia.
- 51.— Wallace, T.,
E.J. Hewitt and
D.J.D. Nicholas. 1945. Determination of Factors Injurious to Plants in Acid Soils. Nature 156.
- 52.— _____
Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils U.U.E.E. Salinity Lab. Staff Agriculture Handbook N° 60. 19.
- 53.— Zegers, Julio. 1957. Informe General sobre los Caudales correspondientes a la asociación de Canales de la Rivera Sur del Río Cachapoal.