

**EFECTO DE TRES FUENTES DE MAGNESIO APLICADAS AL SUELO Y A LAS HOJAS  
DE CAFETOS SOBRE LA CONCENTRACION FOLIAR DE ESTE ELEMENTO**

por

  
**ANIBAL G. CHANCHAY CORELLA**

**Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A.**

**Centro de Enseñanza e Investigación**

**Turrialba, Costa Rica**

**Octubre de 1964**

EFECTO DE TRES FUENTES DE MAGNESIO APLICADAS AL SUELO Y A LAS HOJAS  
DE CAFETOS SOBRE LA CONCENTRACION FOLIAR DE ESTE ELEMENTO

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para optar al grado

de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A.


APROBADA:

  
Pierre G. Sylvain Ph.D.

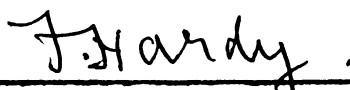
Consejero

  
Ludwig Müller Ph.D.

Comité

  
por Eduardo Jiménez Ph.D.

Comité

  
Frederick Hardy Prof.

Comité

Octubre de 1964

A mis padres

A mi Consejero Principal

## AGRADECIMIENTOS

El autor deja constancia de sus sinceros agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

Dr. Pierre G. Sylvain, Consejero Principal, sin cuya valiosa ayuda no hubiera sido posible realizar esta tesis.

Drs. Ludwig Müller, Eduardo Jiménez y Prof. Frederick Hardy, miembros del comité consejero.

Dr. Elemer Bornemisza e Ing. Gilberto Páez por sus acertadas sugerencias en Química y Estadística, respectivamente.

A la Organización de Estados Americanos (O.E.A.) por la concesión de una beca que dio al autor la oportunidad de realizar sus estudios posgraduados.

A "Abonos Superior Ltda." de San José, Costa Rica y "The Dow Chemical Company" de Michigan, Estados Unidos de Norteamérica por proporcionar el nitrato y el cloruro de magnesio, respectivamente, usados en este trabajo.

A los compañeros de estudio, personal del laboratorio de Fitofisiología, de la bodega, trabajadores de campo y más personas que en una u otra forma prestaron su cooperación para llevar a feliz término esta investigación.

## BIOGRAFIA

El autor nació en Quito, Ecuador en el año de 1932. Sus estudios primarios y secundarios los realizó en su ciudad natal.

En 1949 ingresó a la Marina de guerra como cadete-alumno de la Escuela Naval Militar del Ecuador.

Cursó estudios superiores en la Facultad de Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria de la Universidad Central del Ecuador, Quito, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1958.

Como egresado universitario en 1956 fue nombrado asistente graduado en la Estación Experimental Tropical de Pichilingue.

De 1958 a 1962 fue técnico de la Comisión Nacional del Algodón (CONDAL) del Ecuador y desempeñó los siguientes cargos: Encargado del Campo Experimental Algodonero de la provincia de El Oro y Jefe de la Zona Central de la provincia de Manabí.

Realizó sus estudios posgraduados en el Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de Turrialba, Costa Rica desde Octubre de 1962 hasta Octubre de 1964 con una beca concedida por la Organización de Estados Americanos (O.E.A.).

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
Lista de cuadros .....	viii
Lista de figuras .....	ix
INTRODUCCION .....	1
REVISION DE LITERATURA .....	3
Deficiencia de magnesio su importancia y sus causas .....	3
Control de la deficiencia de magnesio por aplicaciones al suelo .....	5
Control de la deficiencia de magnesio por aplicaciones fo- liares .....	8
Uso del diagnóstico foliar para determinar la concentración de magnesio en la planta .....	11
EXPERIMENTOS EXPLORATORIOS .....	15
METODOLOGIA Y RESULTADOS .....	15
a) Concentración más adecuada de tres fuentes de magne- sio en aplicaciones foliares .....	15
b) Par de hojas más adecuado para el muestreo .....	17
c) Pérdidas del magnesio por lavado de las hojas .....	19
EXPERIMENTOS PRINCIPALES .....	21
MATERIALES Y METODOS .....	21
Características del lugar donde se llevaron a cabo los experimentos de campo .....	21
A. Efecto de tres fuentes de magnesio aplicadas a las hojas sobre el contenido de magnesio foliar y el desarrollo de los cafetos .....	23
B. Efecto de tres fuentes de magnesio aplicadas al suelo sobre el contenido de magnesio foliar .....	27
RESULTADOS .....	29
Experimento A. ....	29
Efecto del magnesio aplicado a las hojas sobre el conte- nido foliar de este elemento .....	29
Efecto de aspersiones foliares sobre el número de nudos en ramas laterales .....	35

	Página
Experimento B. ....	36
Efecto del magnesio aplicado al suelo sobre el contenido de magnesio foliar .....	36
DISCUSION .....	39
CONCLUSIONES .....	44
RESUMEN .....	46
SUMMARY .....	49
LITERATURA CITADA .....	52

## LISTA DE CUADROS

Cuadro No.		Página
1	Efecto de distintas concentraciones de magnesio (%) aplicadas a las hojas (calificación visual de daños al follaje) .....	16
2	Efecto de bajas concentraciones (%) de nitrato de magnesio en aplicaciones foliares (calificación visual de daños al follaje) .....	16
3	Concentración de magnesio en las hojas según la edad (sin asperjar y asperjadas con nitrato de magnesio).	18
4	Dosificación de tres fuentes de magnesio en aplicaciones foliares .....	24
5	Total de fertilizante y de magnesio elemental por árbol aplicados en tres aspersiones, usando tres fuentes de magnesio .....	25
6	Dosificación de tres fuentes de magnesio aplicadas al suelo .....	27
7	Apreciación visual de síntomas foliares de deficiencia de magnesio al iniciarse el experimento y tres meses después .....	30
8	Efecto de aplicaciones foliares sobre la concentración del magnesio en las hojas, Variación de los cuadrados medios durante todo el experimento ,,,,,,	31
9	Contenido de magnesio foliar (%) antes y después de las aspersiones .....	32
10	Comparación, por la prueba de Duncan, de los efectos de tratamientos en aspersiones foliares con tres fuentes de magnesio .....	33
11	Efecto de aplicaciones foliares con magnesio sobre el incremento absoluto y relativo del número de nudos en ramas laterales .....	35
12	Efecto de aplicaciones al suelo sobre la concentración de magnesio en las hojas, Variación de los cuadrados medios durante todo el experimento .....	36



LISTA DE FIGURAS

Figura No.		Página
1	Efecto de aplicaciones foliares con tres fuentes de magnesio sobre el contenido (%) de magnesio foliar y sus variaciones a través de todo el experimento .....	34
2	Efecto de aplicaciones al suelo de tres fuentes de magnesio sobre el contenido (%) de magnesio foliar y sus variaciones a través de todo el experimento .....	37

## INTRODUCCION

La aplicación de fertilizantes al suelo o a las hojas es actualmente una práctica cultural muy conocida en la agricultura por la cual se mantiene una nutrición mineral adecuada de las plantas.

Generalmente se presta mayor atención en el campo, a los tres elementos llamados principales: nitrógeno, fósforo y potasio y, las fórmulas fertilizantes rara vez contienen distintas proporciones de algún otro elemento adicional a los tres ya mencionados.

El magnesio es uno de esos elementos esenciales a menudo ignorados en la fertilización corriente a pesar de su importancia como constituyente estructural de la clorofila. En el caso del café, su importancia se destaca si se observa que en árboles normales se ha demostrado que:

- a) la planta absorbe más Mg que P (52)
- b) una cosecha de 1000 Kg extrae 20 Kg de Mg del suelo (6)
- c) influye mas que cualquier otro elemento en la determinación del color de la cereza y formación de la pulpa (52).

[Consecuencias de la carencia de Mg en el cafeto son: defoliación casi completa (43), predisposición a enfermedades, poca resistencia a la luz y calor (6), etc. En cultivos como manzanos produce caída de los frutos (25) y en árboles de tung: deterioro de las raíces absorbentes (41).

El uso del Mg en los abonos aplicados al suelo muy a menudo no da buenos resultados o requiere mucho tiempo para ser aprovechado por los árboles frutales (6, 22, 24, 30, 33, 34, 51, 55, 62).

Este trabajo persiguió principalmente:

- a) Aclarar la forma más efectiva y conveniente de fertilizar el cafeto con Mg, sea por vía foliar o por aplicaciones al suelo.

- b) Determinar, en ambas vías, la mejor fuente de Mg entre: nitrato, cloruro y sulfato de magnesio usados.

Antes de llevar a cabo los ensayos relacionados con los objetivos principales, fue necesario estudiar:

- a) Toxicidad de las fuentes y concentración adecuada de la fuente más tóxica para cafetos.
- b) Par de hojas mas adecuado de muestreo para la determinación de Mg foliar en las condiciones de Turrialba.
- c) Cantidad de Mg perdido por lavado en hojas asperjadas; ya que se podría pensar que con aspersiones en zonas tropicales lluviosas se pierde mucho fertilizante por lavado.

Se ensayó el análisis químico foliar (determinación de magnesio) como dato o medida del efecto, tanto de aspersiones como de aplicaciones al suelo ya que, de acuerdo con MULLER (43, 44), el análisis foliar informa la cantidad de nutrimentos presentes en la planta al momento del muestreo y, realizado a intervalos continuos y periódicos, puede indicar en corto tiempo la forma de aplicación más eficiente de un abono y el tipo de fertilizante más efectivo.

REVISION DE LITERATURA

Deficiencia de magnesio su importancia y sus causas

La deficiencia de magnesio es muy común en el cafeto y se informa desde muchos países. De su efecto sobre la cosecha, existen pocos datos. La defoliación, muy común cuando hay deficiencia de magnesio, debe tener influencia sobre la nutrición orgánica.

Se cree que el Mg en la planta tiene alguna relación con la susceptibilidad a enfermedades especialmente fungosas. En Turrialba se opina que cafetos deficientes en Mg disminuyen su resistencia a ataques fungosos (43) y que las hojas cloróticas deficientes en Mg, son atacadas a menudo por el hongo Colletotrichum coffeanum (35).

Parece que el Mg y la producción de cosechas guardan mucha relación entre sí. En Utah (33) se observó que, si bien el Mg no produjo aumento en la cosecha de apios, influyó de todos modos en el valor del cultivo a través del mejoramiento de la calidad de su producción. En Kenya aumentó la cosecha de café oro (grano sin pergamino) pero nó en forma estadísticamente significativa (56).

Una de las funciones más conocidas del Mg en la planta es la de ser componente metálico estructural de la molécula de clorofila (32, 34, 51, 53). Interviene en la asimilación y, a partir del CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, en transformaciones más complejas e interrelaciones entre carbohidratos, lípidos y proteínas (3, 32, 34).

El Mg no sólo es componente de la clorofila (3, 32), pues ésta no contiene más que un 10% del Mg total de la hoja (34). Aparentemente el resto está con el protoplasma y, en el jugo celular en forma de sales inorgánicas libres. Además hay Mg en las raíces y en las semillas (32).

{ Afecta la formación de varias vitaminas indirectamente porque la actividad de ciertos sistemas enzimáticos en las plantas dependen de la presencia del ión Mg y de la condición coloidal que, a su vez es afectada por el contenido de este elemento (32). Parece que el Mg promueve especialmente la formación de carotina. Un marcado descenso del Mg en la relación Ca/Mg es la causa de la deficiente formación de vitaminas y el exceso de Ca afecta desfavorablemente el contenido de vitamina C y carotina (32) que se corrige fertilizando con Mg. Cuando hay deficiencia de Mg se reduce en definitiva, el contenido de carotina, xantófila y proteína. Tiene influencia decisiva en la división celular (32). Trabajando con el alga unicelular Chlorella se observó que cuando hay deficiencia de Mg se paraliza la producción del número de células aunque sí aumenta el tamaño de las existentes. Con un buen suministro de Mg se aumenta tanto el número como el tamaño de las células.

La deficiencia de Mg en la planta se manifiesta por síntomas característicos muy conocidos. Esta deficiencia puede ser ocasionada no sólo por una real escasez del elemento en el medio nutritivo, sino por otras causas tales como: un desbalance entre el Mg y otros cationes del complejo de intercambio, mal drenaje, variación estacional del tiempo (exceso de lluvias) y, etapa del ciclo vegetativo de la planta.

La causa más común de deficiencia es el desbalance entre el Mg y otros cationes del complejo intercambiable, que estando los últimos en proporción mayor a la adecuada, desplazan al Mg o reducen su disponibilidad para la planta. Es el caso de antagonismo iónico y se observa principalmente entre el Mg y K (2, 3, 9, 11, 22, 24, 30, 33, 34, 35, 42, 43, 44, 49, 55, 58, 59, 65), Mg y Ca (3, 9, 22, 35) y, Mg y Mn (3, 9).

Contrariamente a esto, hay elementos que facilitan la mayor concentración de Mg en el complejo intercambiable o aumentan su disponibilidad para la planta; tal es el caso del sinergismo entre Mg y N (11, 22, 25, 35, 39, 44, 45, 51, 56, 59, 26) y, Mg y P (32, 34).

El mantillo, indirectamente, al aumentar el nivel de K, causa deficiencia de Mg porque, por antagonismo disminuye su disponibilidad en el medio (11, 40, 55).

En áreas en que la concentración del Mg en el suelo está bajo, pero no deficiente, puede presentarse deficiencia de este elemento (34, 43), si el área tiene un mal drenaje. En cuanto a variación estacional del tiempo (exceso de lluvias), se sabe que inmediatamente después de las lluvias, los elementos Ca y Mg tienen niveles foliares muy bajos (43, 57) pudiendo ocurrir deficiencia en esta época; mientras que en la estación seca tienen altos niveles.

El estado o etapa del ciclo vegetativo de la planta, es otro factor que puede responder por una deficiencia de Mg en un determinado momento. Es sabido que los frutos tienen alta concentración de Mg y las plantas cuando no disponen del Mg necesario, trasladan el Mg de las hojas viejas a los frutos y hojas jóvenes en crecimiento, presentándose entonces visible deficiencia foliar (22, 43, 45, 51, 55) al tiempo de la fructificación. }

#### Control de la deficiencia de magnesio por aplicaciones al suelo

Una de las formas de corrección de deficiencia de Mg en las plantas es por aplicaciones al suelo de distintos compuestos al voleo, en forma de círculo, bajo la proyección del extremo del follaje del árbol (1, 8, 22, 46, 61)

Para el cafeto, en El Salvador (6) aconsejan el uso de sulfato de magnesio.

En Costa Rica se afirma que el cafeto es sensible a un bajo suministro de Mg (45) y se aconseja, según la intensidad de la deficiencia, de 4 a 16 onzas por árbol de sulfato de magnesio al año (43, 52). Se asegura que también se obtienen buenos resultados con la "KIESERITA" ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (55) y el "EMJEO", este último a razón de 500 g/árbol en cuatro aplicaciones al año y acompañado de nitrógeno (22).

En Africa (55) dicen que: ya sean 120-180 lb/acre de sal de "EPSOM" ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), ya cinco lb/árbol de "KIESERITA", o también de 0,5 a 5 ton/acre de "DOLOMITA", corrigen la deficiencia de Mg en los cafetales.

Para ensayos de fertilización de Mg en el Perú (62) y en áreas cafetaleras deficientes en este elemento, se aconseja poner los tratamientos: uno de sulfato de magnesio, otros con cal dolomítica para subir el pH y, en los de fórmula completa incluir Mg en forma de cal dolomítica.

Se conoce un caso en Costa Rica (18) en que el sulfato de magnesio aplicado al suelo, dio efecto negativo al 1% de probabilidad estadística en la cosecha de café, con relación a otros fertilizantes.

Las aplicaciones deben ser continuas, sin esperar el reaparecimiento de los síntomas de deficiencia (43), pero no excesivas porque significarían gastos innecesarios y podrían aún producir toxicidad.

Las aplicaciones al suelo demoran mucho tiempo en responder, habiendo ocasiones en que ni a los seis años (19) se han obtenido respuestas. En Costa Rica (43, 45) se dice que las aplicaciones al suelo son lentas pero efectivas, dándose plazos de 18-24 meses en unos casos (52), de medio a un año en otros (43, 45) y, únicamente hay un caso en que se

encontró respuesta a los siete meses (22) de haberse aplicado un tratamiento de 1 Kg/árbol de sulfato de magnesio y otro de 1 Kg de sulfato de magnesio con 1,5 Kg de cal hidratada, combinados, en cafetos.

MULLER (43) ha observado en la nutrición del cafeto que la absorción de un elemento no muestra ninguna correlación con la cantidad disponible del mismo y LAINEZ (35) afirma que no se ha podido establecer relación entre el contenido foliar y el contenido de Mg en el suelo.

En caso de otros cultivos, en Inglaterra aconsejan 17,5 pp/acre (24) de sulfato de magnesio durante tres años para manzanos. En cambio para patatas, en el mismo país (30), dicen que la "KIESERITA" ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ) y mejor el óxido de magnesio a 45 lb/acre da buenos resultados. Para suelos de invernadero (34) dicen que se debe usar sal de "EPSOM" ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) o también la "KIESERITA" cálcica de 11 a 20 qq/acre. Patatas y los demás "Root crops" crecen mejor en tierra con piedra caliza magnésica que para frutales resulta de muy baja acción. En este país europeo se observó también que los compuestos cálcico-magnésicos son buenos correctores de la acidez del suelo y mejores que los cálcicos solos, debido al efecto nutritivo del Mg.

Para citrus sugieren en Florida, sulfato de magnesio (32) y, para apio (33) manifiestan que de dos a cuatro ton/acre de sulfato de magnesio controlaron la deficiencia de este elemento en Utah.

En huertos ingleses se usa la piedra caliza magnésica (34) sólomente como prevención contra la deficiencia de magnesio por su baja efectividad. El Mg del suelo es fácilmente lixiviado; así, después de una cierta cantidad de lluvia artificial en unas pruebas de laboratorio (56) se vio la pérdida de la mitad del Mg disponible. Por eso es común la



deficiencia de este elemento en suelos tropicales de zonas de alta pluviosidad donde el intenso lavado y la erosión aumentan la lixiviación de bases con el consecuente aumento de la acidez del suelo.

### Control de la deficiencia de magnesio por aplicaciones foliares

En Costa Rica MULLER (43) indica que pruebas con atomizaciones foliares para corregir la deficiencia de magnesio en cafetos, no dieron buenos resultados. Según FIESTER (22) tampoco se aconsejan estas aplicaciones por ser "impracticables y no recomendables".

En cafetales de Kenya (55) en Africa, de tres a siete aspersiones con sulfato de magnesio al 2% y a intervalos periódicos, controlaron la deficiencia de Mg.

El sulfato de magnesio se usa en aspersiones en cafetales comerciales de Kenya.

En NICARAGUA (1) opinan, tratándose del cafeto, que aplicaciones foliares son más eficientes que aplicaciones al suelo, especialmente con elementos menores y aún con los mayores como nitrógeno.

Con respecto a otros cultivos se tiene que en California (19) aspersiones con 10 lb de nitrato de magnesio (por 100 gal de agua), aplicadas en primavera sobre naranjos; aumentaron sustancialmente la concentración foliar de Mg, y eliminaron prácticamente los síntomas de deficiencia de este elemento en seis meses y profundizaron el color verde de las hojas que no mostraban síntomas. El quelato de magnesio asperjado a razón de cuatro y cinco lb/100 gal de agua causó daño a los frutos y no fue tan efectivo como el nitrato de magnesio. En Inglaterra (24), en plantitas de manzanos provenientes de estacas en las cuales pareció existir la deficiencia de Mg, ésta fue completamente eliminada por nueve aspersiones

al año de sulfato de magnesio al 2% y parcialmente controlada con tres aspersiones anuales. El número, la altura y el diámetro de los brotes aumentaron en las estacas asperjadas, aunque nó en el primer año de las aspersiones. Estos aumentos fueron tan grandes con tres como con nueve aspersiones.

En los Estados Unidos (42) trabajando con variedades de tomates crecidos en suelos con un contenido medio y alto de K, aspersiones de Mg fueron mucho más efectivas que aplicaciones al suelo para mantener la pigmentación verde normal de las hojas, pero el contenido de Mg foliar más alto existía en las plantas de los potes con aplicación de Mg al suelo. La variedad más susceptible a la deficiencia de Mg dio una cosecha de tomates mas temprana y abundante (dos veces más) que otra variedad menos susceptible.

Al tratarse de aplicaciones foliares es conveniente tomar en cuenta los siguientes puntos de vista: 1) Partes de la hoja y de la planta que se deben asperjar; 2) Hora de aspersión; y, 3) Fuentes del elemento a asperjarse.

En relación al primer punto se informa desde los Estados Unidos (66) que el envés de las hojas de manzanos absorbe más elementos minerales que el haz. También en Costa Rica (12), asperjando úrea al cafeto encontraron que el envés absorbe mucho más rápidamente que el haz. Así como también las hojas jóvenes lo hacen mucho más rápidamente que las más viejas; el haz de las jóvenes por regla general es tan eficiente como el envés de las viejas.

Con respecto al segundo punto, trabajando con manzanos en Dinamarca (47), se averiguó que la hora de aspersión es importante porque el cambio

diurno de la producción de ácidos puede influir sobre la absorción del Mg ya que ésta se debe a intercambio iónico. Aspersiones diurnas de Mg no fueron absorbidas significativamente, mientras que las nocturnas sí lo fueron y en forma altamente significativa.

Refiriéndose al punto tres se encuentra que, en Inglaterra (4, 5, 17), los manzanos absorbieron más rápidamente de las fuentes asperjadas de nitrato y cloruro de magnesio, que del sulfato. También se informa que nueve aspersiones anuales con sulfato de magnesio durante tres años y tres en el cuarto año (24) aumentaron el Mg foliar de año a año en plantitas de manzano que mostraban deficiencia y, después del primer año se incrementaron además el diámetro, número y altura de los brotes producidos.

En los Estados Unidos se observó (23) que asperjando manzanos con cinco fuentes de magnesio, la velocidad de absorción por parte de sus hojas, en orden descendente fue: nitrato, cloruro, acetato, sulfato y fosfato de magnesio. El Triton X-100 usado como humectante rebajó la absorción de magnesio. Se informa también que aspersiones con sal de "EPSOM" ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) durante tres años sobre manzanos (25) no dieron resultados en el primer año, pero en los dos restantes aumentaron significativamente el contenido de Mg foliar, siendo tres aspersiones significativamente mejores que una. También en los Estados Unidos uvas "MUSCADINE" en soluciones nutritivas sin Mg (27) y asperjadas con: cloruro, fosfato, sulfato, carbonato, óxido, acetato, y quelato de magnesio tuvieron un peso seco total menor que las tratadas con solución completa, excepto las que recibieron 91,4 g/gal de agua de cloruro de magnesio, dosis que casi igualó a la de la solución completa. En Utah (33) aspersiones con 10

lb/acre de sulfato de magnesio en 100-150 gal de agua a intervalos de 10 días sobre apios controlaron la deficiencia de Mg tan efectivamente como las aplicaciones al suelo; la cosecha no aumentó pero se mejoró la calidad y el valor de los cultivos tanto en aplicaciones al suelo como en las aspersiones. Manzanos asperjados en los Estados Unidos absorbieron más rápidamente el nitrato y el cloruro de magnesio (66) que el sulfato y quelato; además sulfato de magnesio asperjado a 15 lb/100 gal de agua (64) fue más efectivo que el quelato, sea asperjado o aplicado al suelo. Hay sólo un caso en Florida (32) con citrus en que se afirma que soluciones de sal de magnesio asperjadas fueron menos efectivas que aplicaciones al suelo.

Asperjando manzanos en Dinamarca (47) con sulfato de magnesio al 5% OLAND y OPLAND (47) encontraron que la absorción parece satisfactoria y que en el corto tiempo del experimento no hubo traslado de Mg. Allí se observó que plantas en suelos secos absorben mejor que las de suelos húmedos; hojas viejas absorbieron en general muy poco y, entre ellas, lo hicieron mejor las de árboles en suelos muy húmedos. Las condiciones que mediaron para la absorción de agua por las hojas no mostraron relación con la absorción de Mg. El acetato de magnesio fue mejor que sulfato, pero aplicado en concentración equivalente a la del sulfato de magnesio al 5%, se produjeron daños al follaje.

En Costa Rica (9) se informa que cinco aspersiones de sal de "EPSOM" al 2% no corrigieron la deficiencia de Mg en cacao.

*U. S. G. P. S.*

#### Uso del diagnóstico foliar para determinar la concentración de magnesio en la planta

El análisis foliar informa sobre la cantidad de nutrimentos

presentes en el cafeto, mostrando la deficiencia cuando ésta existe. La desventaja es que no indica la mejor forma de corregir la deficiencia (43), aunque en pruebas continuadas, sí puede indicar en un tiempo relativamente corto, la forma de aplicación más eficiente de un abono y el tipo de fertilizante más efectivo (44).

Para la apreciación del nivel de Mg foliar del cafeto en la Meseta Central de Costa Rica, PEREZ (52) y CHAVERRI et al (14) dan los siguientes valores:

más de 0,35%: contenido alto  
entre 0,35 y 0,20%: contenido medio  
entre 0,20 y 0,10%: contenido bajo  
menos de 0,10%: deficiente

Hay dos problemas en el uso del diagnóstico foliar: 1) Escoger el par de hojas mas adecuado en el muestreo para análisis foliar; y, 2) Posibles pérdidas del elemento por lavado de las hojas.

En relación con el muestreo foliar, LOTT et al (37) dicen que el tamaño de la muestra de una parcela no necesita ser más grande que la de una planta para ser representativa y, en parcelas de seis a 25 árboles de café, aconsejan tomar una hoja de una rama lateral en la parte media (altura) de la planta, en cada uno de los cuatro lados de la misma.

Hay mucha divergencia con respecto al par de hojas que se debe muestrar para la determinación de Mg. Unos prefieren hojas viejas, otros el cuarto par tomado desde el ápice de la rama, y algunos: hojas jóvenes y de otras edades.

Según MULLER (44) las hojas más abajo del cuarto nudo, contado desde la punta de la rama, y con frutos, pueden dar mejor información en

cuanto a la necesidad de fertilizantes o sea que la determinación de la falta de Mg es únicamente posible mediante el análisis de las hojas más viejas. Para mejor comprobación del estado nutritivo del cafeto respecto a N, P, K y Mg, el mismo autor recomienda en otro trabajo (43) comparar los resultados del análisis del cuarto par con los de hojas adultas crecidas el año anterior, en las mismas bandolas con frutos.

El muestreo de hojas viejas para Mg tiene partidarios en El Salvador (20) donde aconsejan muestrear del sexto al décimo par; en el Africa (57): hojas viejas de la parte de ramas con frutos y; por fin en el Brasil (36, 37): también sugieren hojas viejas.

Hay partidarios del cuarto par de hojas para determinar Mg en: Costa Rica (22, 52) eligiendo la parte media de ramas plagiótropas a la altura entre la cintura y el hombro y, también en Colombia (31) donde eligen árboles con flores y tomando en cuenta la fertilización aplicada, la poda y el sombrero.

Además de estos dos grupos bien definidos: hojas viejas y jóvenes (hasta el cuarto par) hay quienes aconsejan en Colombia (38) muestrear las hojas que se encuentran en el centro de la parte suberizada de la rama, en el Congo Belga (16): tercero a quinto par y en Costa Rica (14, 35): del tercer par en adelante y las muestras compuestas de 10-15 hojas.

Con respecto a la pérdida de elementos por lavado foliar, el Mg pertenece a los elementos moderadamente lavables al perderse del 1% al 10% de su contenido (63) por lavado foliar. A este respecto, en Estados Unidos se opina que las partes aéreas de la planta deben considerarse como órganos tanto de absorción como de pérdida de nutrimentos (63); por eso en

aspersiones y, al usar análisis foliar, se considera importante el posible efecto del lavado foliar. Se observó, en esta ocasión, que es poca la pérdida por lavado en hojas jóvenes pero va aumentando con la edad y es muy grande al acercarse a la senectud (63,66). Los nutrientes lavados de las hojas pueden reabsorberse por las raíces de la misma u otras plantas. Mecanismos de difusión o el intercambio iónico, en muchos casos son quizá responsables de la pérdida de nutrientes causada por las lluvias o fuertes rocíos, siempre que los nutrientes abunden fuera de la membrana citoplasmática o se encuentre dañada la capacidad retentiva de las células (66). El elemento que se lava más fácilmente de hojas asperjadas es el K, pero, con elementos absorbidos por las raíces y llevados a las hojas, la secuencia descendente de lavado es la siguiente: Na, Mn, Ca, Mg, K, S; el Sr es lavado moderadamente y el Fe, Zn, P y Cl son difíciles de lixiviar (66). En los Estados Unidos también se observó que no se lavaron el P ni catión alguno (7) de hojas de naranjo dulce sumergidas 24 horas en agua destilada y con agitación mecánica, pero en bananos: Musa cavendishii y Musa ensete se tuvo una pérdida de 14,6 y 6,1% respectivamente del Mg foliar en las 24 horas de sumersión.

Trabajando con manzanos en Dinamarca (47) se encontró del 7-12% del Mg foliar en el lavado, aunque este alto porcentaje se deba quizá a un bajo contenido de Mg en las hojas y nó mas bien a un alto contenido absoluto en el agua de lavado.

## EXPERIMENTOS EXPLOTATORIOS

### METODOLOGIA Y RESULTADOS

#### a) Concentración más adecuada de tres fuentes de magnesio en aplicaciones foliares

Este experimento se efectuó para encontrar la máxima dosis de las sales de Mg respectivas en cada fuente capaz de ser tolerada por los cafetos, sin mostrar daños visibles en el follaje y con el propósito de escoger una dosis común (de todas las fuentes) que no fuera tóxica en ningún caso.

Se usaron tres fuentes: Cloruro ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), sulfato ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y nitrato de magnesio  $-\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}-$ .

Para determinar los niveles de toxicidad se probaron todas las fuentes a las siguientes concentraciones cada una: 2,5; 5; 10 y 20 por mil de Mg elemental peso sobre volumen (p/v).

Los daños al follaje se evaluaron por observación visual según una escala arbitraria. Según la escala aplicada de uno a cuatro se puede notar en el CUADRO 1 que los mayores daños corresponden al nitrato ya que se podían observar daños en casi todos los árboles ya desde el nivel más bajo de Mg usado en las aspersiones.

Una vez determinado que el nitrato era la fuente más tóxica, se usó solamente esta fuente para determinar en ella, de manera más precisa, la concentración de Mg que tolera el cafeto y generalizarla a las otras fuentes usadas. Se probó el nitrato a niveles bajos de: 1, 2, 3 y 4 por mil de Mg elemental (p/v).

En el CUADRO 2 se puede observar que las concentraciones de uno y



CUADRO 1. Efecto de distintas concentraciones de magnesio aplicadas a las hojas (calificación visual de daños al follaje)\*.

Los datos son promedios de dos repeticiones.

Tratamientos	Concentración de Mg(o/oo)	Calificación de daños a las hojas después de:	
		Tres días de la aspersión	Nueve días de la aspersión
MgCl <sub>2</sub>	2,5	0	0
	5,0	1	1
	10,0	3	2
	20,0	3	3
MgSO <sub>4</sub>	2,5	0	0
	5,0	0	0
	10,0	0	0
	20,0	1	1
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,5	1	0
	5,0	2	1
	10,0	3	2
	20,0	4	3

CUADRO 2. Efecto de bajas concentraciones (o/oo) de nitrato de magnesio en aplicaciones foliares (calificación visual de daños al follaje)\*.

Los datos son promedios de dos repeticiones.

Tratamientos	Concentración de Mg(o/oo)	Calificación de daños a las hojas después de:		
		Dos días	Cuatro días	Seis días
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1,0	0	0	0
	2,0	0	0	0
	3,0	0	0	0
	4,0	1	2	2

\* Escala arbitraria común de calificación para experimentos 1 y 2.

- 0 Ningún daño
- 1 Daño ligero
- 2 Daño bien perceptible
- 3 Daño considerable
- 4 Mucho daño

dos por mil no causaron "ningún daño" según la escala. La concentración de 3 o/oo ya causó "daño ligero" en una observación. Al 4 o/oo se observaron "daños ligeros" y "daños bien perceptibles" en todas las observaciones.

b) Par de hojas más adecuado para el muestreo

En este experimento se usaron dos grupos de cafetos con dos árboles cada uno; un grupo sin asperjar y el otro asperjado con nitrato de magnesio al 4 o/oo de Mg elemental dos días antes del muestreo. De cada grupo se escogieron dos clases de muestras: hojas jóvenes y hojas viejas, de modo que en total se tuvieron cuatro diferentes muestras foliares:

1. Hojas jóvenes sin asperjar
2. Hojas jóvenes asperjadas
3. Hojas viejas sin asperjar
4. Hojas viejas asperjadas.

El muestreo se hizo tomando el cuarto par (hojas jóvenes) y el sexto par (hojas viejas) en la parte media del árbol, en cuatro posiciones distintas, de manera que cada muestra foliar se compuso de 16 hojas. Se llevaron al laboratorio y se limpiaron de polvo con una mota de algodón limpia débilmente humedecida en agua destilada. Después se secaron en una estufa a 70°C. Ya secas, las hojas se molieron en un molino Wiley y se guardaron en frascos de vidrio con tapa de rosca.

El análisis químico se practicó haciendo la digestión de las muestras con mezcla de ácidos nítrico-perclórico 5:1. Los cristales resultantes se disolvieron con agua destilada y se llevaron a volumen de 50 mililitros, formando así el "extracto" de hojas. De éste se tomó una

alícuota de 0,5 ml y se determinó el Mg por colorimetría, siguiendo una modificación del método de poliacrilato de sodio-amarillo de tiazol\*. Se utilizó un espectrofotómetro Coleman para efectuar las lecturas. El CUADRO 3 muestra un contenido bajo (14, 44, 51) encontrado (0,13%) para las hojas viejas (sexto par) y un contenido mediano (0,21%) para las jóvenes (cuarto par) sin asperjar.

En las hojas asperjadas con nitrato de magnesio al 3 o/oo se observó un contenido mediano (14, 44, 51) tanto en hojas viejas (0,26%) como en jóvenes (0,27%).

CUADRO 3. Concentración de magnesio en las hojas según la edad (sin asperjar y asperjadas con nitrato de magnesio).

Los datos son promedios de dos observaciones.

Tratamientos	Concentración de magnesio foliar (%)		Incremento relativo (%)
	Inicial	2 días desde aspersión	
Hojas viejas (sexto par)	0,13	0,26	100,0
Hojas jóvenes (cuarto par)	0,21	0,27	28,5

Se nota que la aspersión produjo un incremento relativo del 100% en el contenido de Mg foliar de hojas viejas (sexto par); mientras que en las jóvenes (cuarto par) sólo fue de 28,5%.

\* MEHLICH, A. Improvements in the colorimetric magnesium and ammonium methods with sodium polyacrylate. North Carolina Agricultural Experiment Station. s.f. 5 p. (mimeografiado)

La aspersión elevó el contenido de las hojas viejas desde bajo a mediano; en cambio las jóvenes no pasaron del contenido mediano que tenían inicialmente.

Estos resultados sugieren que las hojas viejas (sexto par) son las más adecuadas para determinar Mg porque ellas tienen el menor contenido y presentan también visualmente la deficiencia. Estas hojas muestran mayor incremento en la concentración de este elemento después de las aspersiones y en consecuencia manifiestan el efecto de las mismas mejor.

c) Pérdidas del magnesio por lavado de las hojas

Se utilizaron para este experimento muestras de hojas viejas (sexto par), asperjadas dos días antes con nitrato de magnesio al 4 o/oo de Mg elemental y muestreadas en igual forma que en el experimento anterior. En el lavado de estas hojas no pudo determinarse la presencia de Mg por medio del método de titulación con versenato de sodio, por lo cual, se repitió el experimento usando el método modificado del poliacrilato de sodio-amarillo de tiazol. Al cabo de un mes de la tercera aspersión, se muestrearon 10 hojas de cada tratamiento con una de las tres fuentes de Mg asperjadas al 2 o/oo de Mg elemental, lo mismo que del testigo. Se pesaron enseguida en fresco, se lavaron rápidamente con agua destilada y se las puso separadamente, según el tratamiento en cuatro vasos de precipitación conteniendo un volumen de 500 ml de agua destilada cada uno, para que las hojas se laven durante una hora con agitación mecánica. Después de este tiempo se sacaron las hojas y se pusieron a secar en la estufa a 70°C. Para determinar el Mg en el agua de lavado se evaporó lentamente el agua de cada vaso hasta sequedad, añadiendo previamente

2,5 ml de mezcla nítrico-perclórica 5:1, se transfirieron las muestras a Erlenmeyers de 125 ml y se volvió a evaporar el material digerido. Los cristales resultantes se disolvieron y el líquido se vació en un tubo graduado de centrifugación y se aforó a un volumen de 10,5 ml. Luego se siguió el método modificado del poliacrilato de sodio-amarillo de tiazol ya indicado anteriormente.

Transformado el lavado del Mg a porcentaje, se relacionó (sólamamente con finalidad gráfica de comprensión y no estadísticamente) con el peso fresco de las hojas tomado al muestrear, para expresar el contenido de lavado en porcentaje de Mg por gramo de peso fresco de hoja lavada, en cada tratamiento.

El Mg que se pierde por lavado foliar al mes de haberse aplicado las diferentes fuentes de Mg por aspersión oscila entre 0.028 y 0.059% por gramo de peso fresco de hoja lavada por tratamiento. Las pérdidas por lavado tienen el siguiente orden ascendente: sulfato de magnesio (0.028%), testigo (0.036%), nitrato de magnesio (0.047%) y cloruro de magnesio (0.059%).

Es de anotar que el lavado foliar no fue objetivo principal de este trabajo, por lo cual no se hicieron sino pocas pruebas en este campo, sin usar ningún diseño experimental ni repeticiones.

Se nota que refiriéndose a la cantidad de Mg que se pierde por el lavado, se lixivian más las hojas tratadas con el cloruro de magnesio que con el sulfato y nitrato.

## EXPERIMENTOS PRINCIPALES

### MATERIALES Y METODOS *1956*

#### Características del lugar donde se llevaron a cabo los experimentos de campo

Para los trabajos de campo se usó un cafetal viejo, renovado cinco años atrás, del Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (I.I.C.A.), en Turrialba, Costa Rica, con plantas de la variedad Bourbón, provistas de sombra mediana y de edad uniforme. Gran parte de la población de árboles mostraba síntomas foliares de deficiencia de Mg al iniciarse el ensayo.

Según la descripción de BUDOWSKI y SCHREUDER (10) el clima de la región es cálido y muy húmedo con un promedio anual de 22,5°C de temperatura y 2581,3 mm de precipitación. La evaporación media anual es de 1345 mm. Hay una estación seca de dos a tres meses por año entre Febrero y Abril. El promedio anual de humedad relativa alcanza el 87%. La luminosidad diaria es de 4 horas 35 minutos, que de acuerdo a los 10° de latitud Norte de su situación geográfica, corresponde al 38% de horas de brillo solar posible. El lugar está a 602 m sobre el nivel del mar. La formación ecológica de su vegetación corresponde al "bosque subtropical muy húmedo" (29).

El suelo del área experimental pertenece al grupo de suelos de tierras planas, azonales, formado por aluvión fluvio-lacustre durante el cuaternario. Corresponde a la serie La Margot, tipo areno-arcilloso, fase normal, con un contenido de Mg intercambiable entre medio y bajo (alrededor del 1,5 meq/100 g). Los suelos pertenecientes a la serie La

Margot descansan directamente sobre material madre de aglomerados ("boulder clay") que son rocas ígneas arrojadas como lava volcánica y corrientes piroclásticas durante el Bajo Plioceno en el Terciario. Sus componentes son principalmente augita andesita, aunque también hay basalto en menor cantidad, especialmente en la lava volcánica (28).

El perfil del suelo muestra una capa húmica de 12 pulgadas, color café oscuro a negro con cubierta café-rojiza regularmente uniforme. El subsuelo tiene una suave costra superior de pequeños guijarros y piedras redondeadas más o menos descompuestos. Se nota presencia de piedras a profundidades variables que están distribuidas erráticamente. La estructura es granular o de migajón en el suelo húmico y un poco terronosa más abajo. Su textura es arcillosa aunque con pequeña cantidad de arena gruesa. La consistencia es plástica y pegajosa cuando mojado; suave y maleable en húmedo; dura y quebradiza en seco. La permeabilidad es alta en la capa húmica superficial y en la parte superior del suelo pero decrece grandemente hacia abajo, especialmente en las planicies bajas donde se notan características hidromórficas tales como moteamiento y gleyzación, demostrando así un drenaje imperfecto.

Los suelos de la serie La Margot se consideran como los más productivos del área del I.I.C.A. Su alta fertilidad puede deberse parcialmente a la presencia de minerales de ceniza volcánica reciente (28). En la clasificación por la potencialidad de la tierra en términos de sus características está en la clase II\* que corresponde a tierras planas, suavemente inclinadas, profundas o moderadamente profundas, de drenaje

---

\* HARDY, F. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Comunicación personal, 1964.

impedido, no tan fáciles de trabajar, no sujetas a erosión, variablemente pedregosas y que responden bien al encalado y a la fertilización.

Experimento A. Efecto de tres fuentes de magnesio aplicadas a las hojas sobre el contenido de magnesio foliar y el desarrollo de los cafetos.

En base a los datos obtenidos de ensayos exploratorios se planeó el experimento A.

Se usó el diseño experimental de Bloques al Azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. La unidad experimental consistió de 16 árboles (4 x 4) de los que se aprovecharon sólo los cuatro árboles centrales para la toma de datos (muestreos foliares) puesto que hubo suficiente número de repeticiones (50, 62). Se usó borde simple para economizar material experimental.

Los tratamientos, número y fechas de aspersión, porcentaje de Mg elemental de los compuestos usados como fertilizantes, cantidad en gramos de fertilizante por litro de solución asperjada, concentración de Mg elemental por litro de solución asperjada (o/oo e molaridad) y gramos de Mg elemental aplicados por árbol pueden verse en el CUADRO 4. En el CUADRO 5 se da el total de fertilizante y de Mg elemental aplicados por árbol en las tres aspersiones.

Se usó primero una concentración de 3 o/oo de Mg elemental que parecía la más indicada según el respectivo ensayo exploratorio, sin embargo, a los 15 días de la primera aspersión se observaron en todas las repeticiones "daños bien perceptibles" en plantas tratadas con nitrato y en las tratadas con cloruro.

Esto indica probablemente que los cafetos siguieron absorbiendo Mg



CUADRO 4. Dosificación de tres fuentes de magnesio en aplicaciones foliares.

Fechas de aspersión	Tratamientos	% Mg en el fertilizante	Fertilizante/litro solución (g)	Mg/litro solución (g)	Mg/árbol (g)
<u>Primera</u> (X-25-63)	MgCl <sub>2</sub>	12	25,02	3	2,55
	MgSO <sub>4</sub>	10	30,00	3	2,55
	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	9	33,30	3	2,55
	Testigo	0	0	0	0
<u>Segunda</u> (I-4-64)	MgCl <sub>2</sub>	12	16,94	2	1,70
	MgSO <sub>4</sub>	10	20,00	2	1,70
	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	9	22,22	2	1,70
	Testigo	0	0	0	0
<u>Tercera</u> (IV-6-64)	MgCl <sub>2</sub>	12	16,94	2	1,70
	MgSO <sub>4</sub>	10	20,00	2	1,70
	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	9	22,22	2	1,70
	Testigo	0	0	0	0

CUADRO 5. Total de fertilizante y de magnesio elemental por árbol aplicados en las tres aspersiones. Se usaron tres fuentes de magnesio.

Tratamientos	Total (g) fertilizante/árbol en 3 aspersiones	Total de Mg/árbol en 3 aspersiones (g)
MgCl <sub>2</sub>	50,06	5,95
MgSO <sub>4</sub>	59,00	5,95
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	66,08	5,95
Testigo	0	0

después (seis y nueve días) de que concluyeron las observaciones en las pruebas previas de toxicidad, hasta un nivel tóxico que no se manifestó en el corto tiempo de las pruebas mencionadas. Esto obligó a bajar la concentración de las soluciones asperjadas al 2 o/oo de magnesio elemental en todas las fuentes, a partir de la segunda aspersión.

Se usó el polvo "FILM-FAST" como adherente esparcidor a razón de 0,613 g por litro de solución. No habían informes de ningún efecto perjudicial de este producto sobre la absorción del Mg, mientras que en cambio sí los hay con el "TRITON X-100" que rebajó la absorción de Mg, según Fisher y Walker (23).

Se comprobó periódicamente el contenido de Mg foliar con siete diferentes muestreos.

El primer muestreo y su respectiva determinación de Mg foliar se hizo en todas las parcelas antes de aplicar los tratamientos. Estos datos sirvieron para determinar la concentración de Mg foliar inicial y

para calibrar después los resultados por covariancia. Los demás muestreos se hicieron generalmente así: a los 15 días después de la primera aspersión se cogió la primera muestra y la otra con aproximadamente un mes de intervalo entre ellas. Después de la segunda aspersión se cogió una muestra adicional a los dos y medio meses de la aplicación de los fertilizantes. Después de la tercera atomización, sin embargo, se muestreó una sola vez al mes de aplicada. }

Para la determinación del Mg foliar se usaron siempre hojas viejas del sexto y séptimo par, tomadas de la parte media de los árboles y en ramas de cuatro posiciones opuestas, dando un mínimo de 32 hojas por muestra. Las hojas se mezclaron al azar para formar una muestra compuesta por cada unidad experimental. Estas se llevaron al laboratorio y se procesaron según las indicaciones anteriores.

En cada muestreo se hizo el análisis de la variancia y, debido a que se encontró correlación estadísticamente significativa entre el nivel inicial de Mg foliar y el nivel del mismo después de las aspersiones, se usó el análisis de covariancia en todos los muestreos para ajustar los resultados y eliminar todo incremento de Mg foliar que no se deba a tratamientos. Para comparar los efectos de los tratamientos se usó la prueba de Duncan (15).

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de los cafetos, en los mismos árboles usados para el muestreo de hojas (experimentos principales) se señalaron con pintura blanca de aceite los 20 centímetros terminales de cuatro bandolas en distintas posiciones en cada árbol. Se contó el número de nudos en la parte señalada, antes de aplicar tratamientos y al final del experimento. Así se obtuvo el

incremento absoluto y relativo del número de nudos durante la experimentación. El incremento relativo se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$\frac{\text{No. final de nudos} - \text{No. inicial de nudos}}{\text{No. inicial de nudos}} \times 100$$

Se averiguó, por el análisis de variancia la significación estadística entre los incrementos de los distintos tratamientos.

Experimento B. Efecto de tres fuentes de magnesio aplicadas al suelo sobre el contenido de magnesio foliar.

Este experimento se efectuó en la misma forma y contiguo al anterior (A), aunque independientemente de él. Se usó el mismo diseño experimental con igual número de tratamientos y repeticiones. Se emplearon las mismas fuentes de magnesio. La diferencia radicó en la forma de aplicar el fertilizante. Mientras en el anterior se aplicó a las hojas, en este ensayo se aplicó al suelo. No se tomaron datos sobre el desarrollo de los árboles.

Los tratamientos, porcentaje de elemento puro en el fertilizante, dosis de fertilizante aplicado por árbol y cantidad de Mg elemental por árbol, pueden verse en el CUADRO 6.

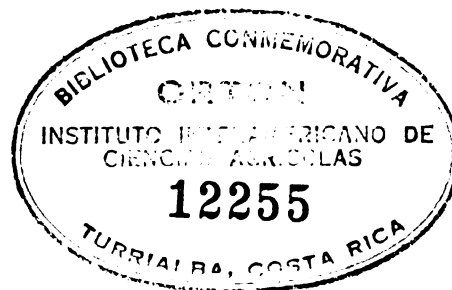
CUADRO 6. Dosificación de tres fuentes de magnesio aplicadas al suelo.

Tratamientos	% de Mg en el fertilizante	Fertilizante por árbol(g)	Mg elemental por árbol (g)
MgCl <sub>2</sub>	12	375	45
MgSO <sub>4</sub>	10	450	45
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	9	500	45
Testigo	0	0	0

La aplicación se hizo una sola vez, el 18 de Octubre de 1963, en el área de proyección de las plantas, entre dos y cuatro pies alrededor de la base del árbol (8).

La toma de datos se basó, como en el experimento anterior, en la determinación de Mg por análisis químico foliar. Se buscó respuesta a los fertilizantes aplicados en siete muestreos diferentes cuyas fechas y métodos coincidieron con los del experimento anterior. Se usaron también análisis de variancia y de covariancia. Los resultados se compararon con los del experimento de aplicaciones foliares.

Los diseños experimentales y cálculos estadísticos se hicieron según Cochran y Cox (15) y Snedecor (60).



RESULTADOS

EXPERIMENTO A

Efecto del magnesio aplicado a las hojas sobre el contenido foliar de este elemento

En el segundo muestreo, hecho a los 15 días de la primera aspersión, ya se encontró significación al 5% de probabilidad estadística entre tratamientos, lo cual significa que éstos actuaron en forma diferente.

En el tercer muestreo, efectuado más o menos al mes y medio de la primera aspersión, ya no se detectó diferencias en el contenido de Mg entre tratamientos. Entonces se procedió a una segunda aspersión en esta época; 15 días después de ésta se procedió al cuarto muestreo en el cual si se encontró otra vez una diferencia, altamente significativa (al nivel del 1% de probabilidad estadística) entre tratamientos. Subió nuevamente el nivel del Mg en las hojas.

Es de anotar que a esta época ya no se notaron más síntomas foliares de deficiencia de Mg a simple vista (96 días después de iniciado el experimento) lo cual se aprecia en el CUADRO 7 mediante la escala arbitraria de apreciación visual.

En el quinto muestreo efectuado al mes y medio de la segunda aspersión, se encuentran todavía diferencias altamente significativas para tratamientos o sea que éstos tenían aún efectos altamente positivos en el incremento del Mg foliar.

La diferencia significativa entre tratamientos encontrada en el sexto muestreo, efectuado dos y medio meses después de la segunda aspersión, fue solamente al 5% de probabilidad estadística. Esto indicó una

CUADRO 7. Apreciación visual de síntomas foliares de deficiencia de magnesio al iniciarse el experimento y tres meses después (datos promedios de cinco repeticiones).

Tratamientos	Observaciones	
	Antes de aplicar Tratamientos (X-25-1963)	Tres meses después de iniciado el experimento (I-31-1964)
MgCl <sub>2</sub>	0	0
MgSO <sub>4</sub>	2	0
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1	0
Testigo	1	0

Escala arbitraria de calificación

- 0 Síntoma ninguno
- 1 Síntomas ligeros
- 2 Síntomas bien claros
- 3 Síntomas graves
- 4 Síntomas muy graves

igualización en los contenidos de Mg foliar.

Hecha una tercera aspersión por esta época y efectuado el correspondiente séptimo muestreo foliar un mes después, subió nuevamente el contenido de Mg foliar. El CUADRO 8 resume los análisis estadísticos de todos los muestreos del ensayo.

CUADRO 8. Efecto de aplicaciones foliares sobre la concentración del magnesio en las hojas. Variación de los cuadrados medios durante todo el experimento.

Fuentes de variancia	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS AJUSTADOS POR COVARIANCIA					
		Aspersiones					
		Primera		Segunda			Tercera
		Muestreos		Muestreos			Muestreos
		2 $\alpha$	3 $\alpha$	4 $\alpha$	5 $\alpha$	6 $\alpha$	7 $\alpha$
Repeticiones (sin ajustar)	4	231**	317**	133*	317**	174**	145**
Tratamientos (ajustados)	3	87*	90	151**	269**	119*	194**
Error (ajustado)	11	21	29	20	41	31	18

\*\* Significativo al nivel del 1% de probabilidad estadística.

\* Significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística.

NOTA. El muestreo primero que no aparece aquí dio el contenido inicial de Mg foliar antes de aplicar tratamientos y sirvió para calibrar, por covariancia, los demás muestreos.

Por esta época se creyó conveniente terminar el experimento. El análisis foliar indicó alto contenido (14, 44, 51) de Mg en todos los tratamientos. En el CUADRO 9 se presentan las cifras y datos. Puede apreciarse el incremento del contenido de Mg foliar en los tratamientos después de las aspersiones. Los datos de este CUADRO son promedios de cinco repeticiones y en el caso de ciertos datos iniciales se registraron valores "bajos" (14, 44, 51) hasta de 0,13 y 0,15% que no aparecen en los promedios del cuadro.



CUADRO 9. Contenido de magnesio foliar (%) antes y después de las aspersiones (resultados ajustados por covariancia).

Tratamientos	% de magnesio foliar*	
	Antes de aspersiones	Después de aspersiones
MgCl <sub>2</sub>	0,38	0,53
MgSO <sub>4</sub>	0,30	0,45
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,32	0,54
Testigo	0,33	0,41

\* Los datos son promedios de cinco repeticiones.

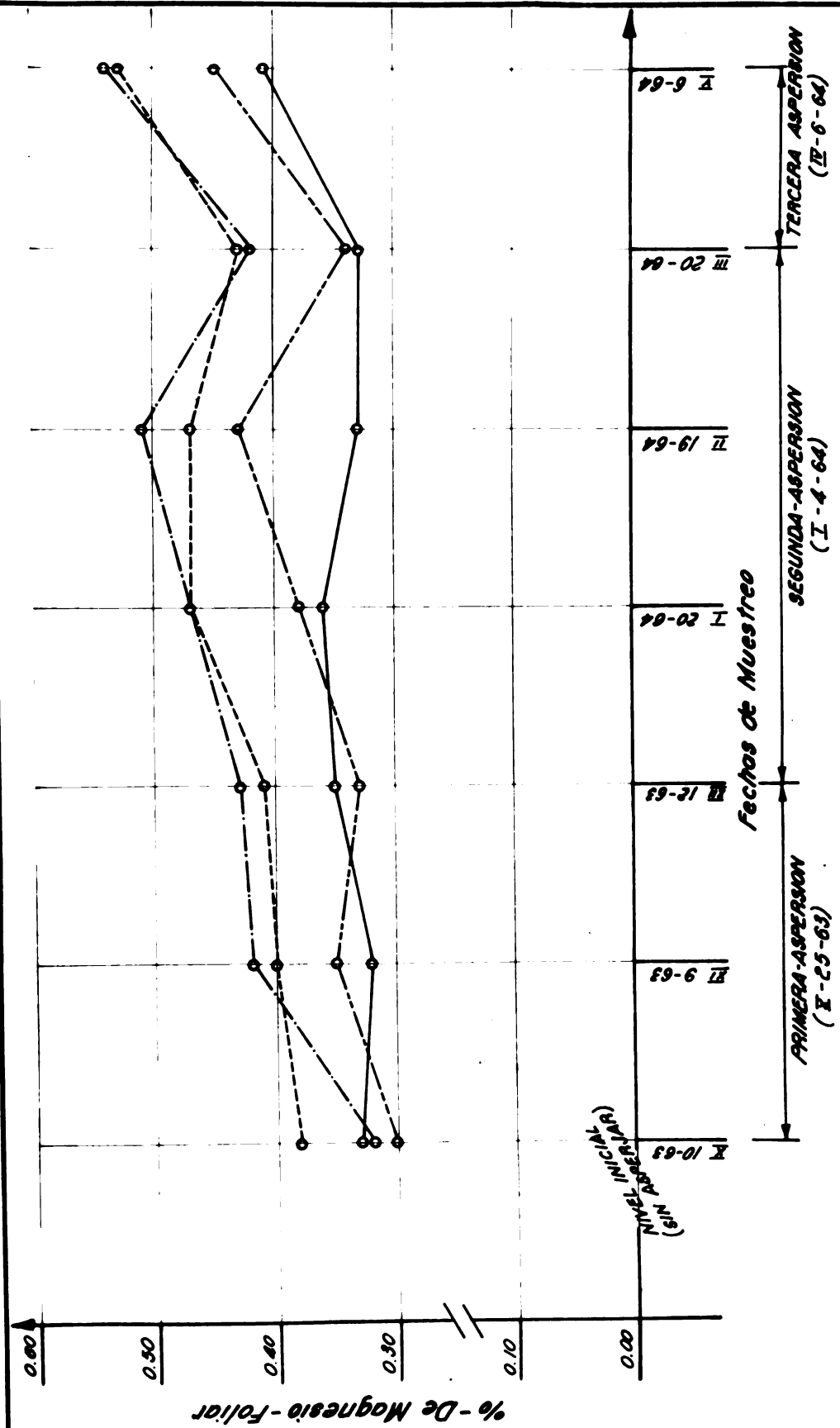
En el CUADRO 10 se nota que, comparando los efectos de los tratamientos por la prueba de Duncan, hay dos tendencias (ver Figura 1) en el contenido de Mg foliar de los tratamientos: una formada por el cloruro y el nitrato de magnesio que mantiene alto el Mg foliar, y, otra que lo mantiene bajo, formada por el sulfato de magnesio y el testigo. Se vé, en el CUADRO 10 que en ningún muestreo hubo diferencia significativa entre los dos tratamientos de alta tendencia. Entre los de baja tendencia sólomente en el quinto muestreo hubo diferencia significativa entre ellos, o sea que sólomente durante la época del quinto muestreo el tratamiento con sulfato de magnesio fue significativamente mejor que el testigo, lo cual no fue así en todo el resto del experimento.

Los tratamientos con cloruro y nitrato de magnesio fueron mejores que el testigo durante todo el experimento y, mejores que el sulfato de magnesio, durante todo el experimento con excepción del quinto muestreo.

CUADRO 10. Comparación, por la prueba de Duncan, de los efectos de tratamientos en aspersiones foliares con tres fuentes de Mg. Los datos son promedios de cinco repeticiones y están ajustados por covariancia.

Fechas de aspersión	Fechas de muestreo	Porcentaje de magnesio foliar y significación entre tratamientos			
Primera (X-25-63)	Segundo (XI-9-63)	Testigo 0,32	MgSO <sub>4</sub> 0,35 <sup>4</sup>	MgCl <sub>2</sub> 0,40 <sup>2</sup>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,42 <sup>2</sup>
	Tercero (XII-12-63)	MgSO <sub>4</sub> 0,33 <sup>4</sup>	Testigo 0,35	MgCl <sub>2</sub> 0,41 <sup>2</sup>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,43 <sup>3</sup>
Segunda (I-4-64)	Cuarto (I-20-64)	Testigo 0,36	MgSO <sub>4</sub> 0,38 <sup>4</sup>	Cl <sub>2</sub> Mg 0,47 <sup>2</sup>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,48 <sup>3</sup>
	Quinto (II-19-64)	Testigo 0,33	MgSO <sub>4</sub> 0,43 <sup>4</sup>	MgCl <sub>2</sub> 0,47 <sup>2</sup>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,51 <sup>3</sup>
Tercera (IV-6-64)	Sexto (III-20-64)	Testigo 0,33	MgSO <sub>4</sub> 0,34 <sup>4</sup>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,42 <sup>3</sup>	Cl <sub>2</sub> Mg 0,43 <sup>2</sup>
	Séptimo (V-6-64)	Testigo 0,41	MgSO <sub>4</sub> 0,45 <sup>4</sup>	MgCl <sub>2</sub> 0,53 <sup>2</sup>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,54 <sup>3</sup>

NOTA: Dos promedios unidos por una recta subrayada no difieren significativamente al nivel del 5% de probabilidad estadística.



**TRATAMIENTO**

- ——— ○ MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O
- - - - - ○ MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O
- ······ ○ Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O
- ——— ○ Testigo

Figura 1. - Efecto de aplicaciones foliares  $\star$  con tres fuentes de magnesio sobre el contenido de magnesio foliar (%) y sus variaciones a través de todo el experimento

$\star$ : Los datos son promedios de cinco repeticiones y ajustados por covariancia

No hubo diferencia estadísticamente significativa entre las mejores fuentes, aunque el nitrato mantuvo siempre los más altos contenidos de Mg foliar a través de todo el experimento.

La variación del contenido de Mg foliar en los tratamientos, a través de las aspersiones y muestreos (tiempo), se puede apreciar en la Figura 1.

Efecto de aspersiones foliares sobre el número de nudos en ramas laterales

Los tratamientos no tuvieron influencia sobre el incremento relativo del número de nudos durante el tiempo del experimento.

En el CUADRO 11 se ve que no se detectó, hasta la fecha, ningún efecto de las aspersiones con Mg sobre el número de nudos en ramas laterales.

CUADRO 11. Efecto de aplicaciones foliares con magnesio sobre el incremento absoluto y relativo del número de nudos\* en ramas laterales.

Tratamientos	Incremento promedio	
	Absoluto	Relativo (%)
MgCl <sub>2</sub>	5,12	67,42
MgSO <sub>4</sub>	4,89	62,48
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4,87	61,49
Testigo	5,00	68,22

\* Los datos son promedios de cinco repeticiones que a su vez constan de 16 observaciones por repetición.

EXPERIMENTO B

Efecto del magnesio aplicado al suelo sobre el contenido de magnesio foliar

La respuesta al Mg aplicado al suelo fue poco notoria y no alcanzó significación estadística hasta la fecha del último muestreo, efectuado seis y medio meses después de la única aplicación (CUADRO 12).

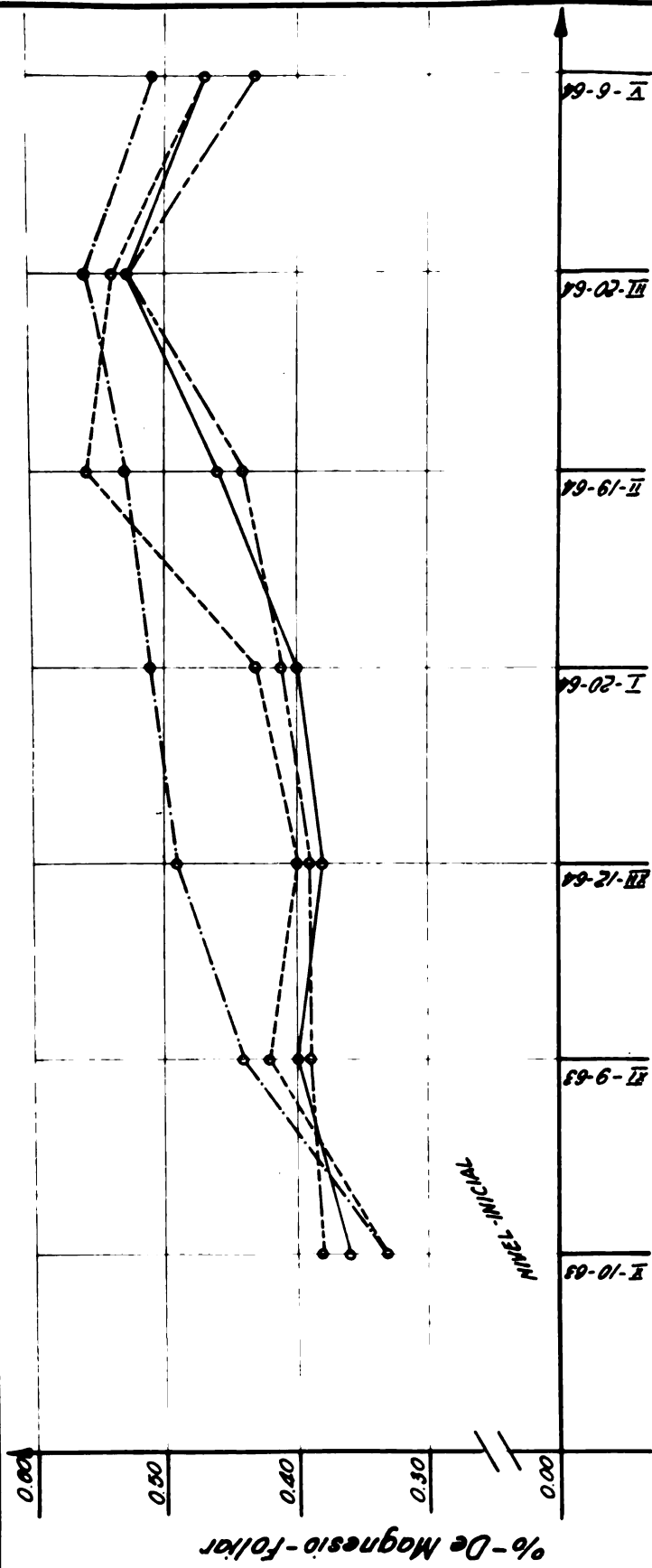
CUADRO 12. Efecto de aplicaciones al suelo sobre la concentración de magnesio en las hojas. Variación de los cuadrados medios durante todo el experimento.

Fuentes de variancia	Grados de Libertad	CUADRADOS MEDIOS AJUSTADOS POR COVARIANCIA					
		Muestreos					
		20	30	40	50	60	70
Repeticiones (sin ajustar)	4	163*	65	73	193	35	55
Tratamientos (ajustados)	3	19	103	107	133	8	39
Error (ajustado)	11	12	65	38	76	40	22

\* Significativo al nivel del 5% de probabilidad estadística.

La relación que existió entre el nivel inicial de Mg en las hojas y la concentración del mismo después de aplicar los tratamientos fue bastante fuerte.

Al ver la Figura 2 se encuentra que en definitiva hubo incremento de Mg foliar en todos los tratamientos (el testigo inclusive) de este



**Fechas de Muestreo**

Figura : C. - Efecto de aplicaciones al suelo de tres fuentes de magnesio (% foliar) y sus variaciones a través de todo el experimento.

\* Los datos son promedio de cinco repeticiones y ajusto obs por covariancia.

Fecha de aplicación : X-18-1963  
 Últimos datos tomados : Y-6-1964  
 Muestras efectuadas : Seis  
 Duración del experimento : Seis y medio meses.

NOTA:

No hubo respuesta estadísticamente significativa para tratamientos en este lapso de tiempo

**TRATAMIENTO**

- ——— MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O
- - · - · MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O
- ····· Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O
- ——— Testigo

experimento. Esta observación resulta al comparar el nivel inicial (X-10-63, Figura 2) y el Mg del último muestreo (V-6-64, Figura 2). Ese incremento no se debe a tratamientos sino posiblemente a otros factores como clima, época de fructificación, etc. ya que el análisis de covariancia indicó falta de significación estadística para tratamientos. Se nota en la Figura 2 que el tratamiento nitrato de magnesio mantiene los más altos niveles de concentración de Mg foliar en casi todo el experimento de aplicaciones al suelo, aunque esto no fue estadísticamente significativo.

## DISCUSION

En las pruebas de toxicidad (ensayo exploratorio a) de las fuentes de magnesio usadas en las aspersiones de este trabajo se encontró que el nitrato de magnesio fue más tóxico que el cloruro y el sulfato para el cafeto. Esto concuerda con FISHER y WALKER (23) quienes encontraron resultados similares en manzanos. Estos autores hallaron que una solución de nitrato de magnesio al 5% fue tóxica para manzanos. En el presente trabajo se encontró (hasta los nueve días de observación) que 3 o/oo (corresponde al 3,3% de la sal nítrica) no causó toxicidad seria a los cafetos. Los "daños bien perceptibles" al follaje observados en el experimento principal a los 15 días de la aspersión con nitrato y cloruro de magnesio al 3 o/oo de Mg elemental y, "ningún daño" en las tratadas con sulfato, sugieren que el cloruro y nitrato continúan siendo absorbidos por largo tiempo y en mayor cantidad que el sulfato por las hojas, si las condiciones climáticas (ausencia o muy poca presencia de pluviosidad en los pocos días siguientes a la aspersión) lo permiten. En el presente caso llovió escasamente seis días después de la aspersión. Con manzanos, ALLEN (4, 5) afirma que esto se debe a que el nitrato y cloruro son delicuecentes, mientras que el sulfato no lo es; por eso las dos primeras fuentes estuvieron siempre líquidas en el ambiente de las hojas y fueron absorbidos continuamente, mientras que el sulfato cristaliza al 82% de humedad relativa, volviendo a ser líquido en la noche cuando la humedad relativa sobrepasa el 82% y por eso puede ser absorbido.

En el presente trabajo, la humedad relativa registrada durante los días de aspersión fue inferior al 82% y en las correspondientes noches fue superior a esta cifra. Esto ocurrió en las tres ocasiones que se



asperjó. Aún más, en los dos días siguientes a cada aspersion se registró una humedad relativa menor del 82% excepto en la segunda aspersion en que sólo el primer día siguiente ocurrió esto. Las noches respectivas tuvieron más del 82% mencionado (54).

Según ORIOLI y JIMENEZ (48) el sulfato puede ser absorbido sustancialmente de depósitos secos, ya que ellos probaron que hay absorción del S<sup>35</sup> aunque parezca estar seca la sal. En el presente estudio se nota que hay absorción del sulfato de magnesio. El hecho de que no fue absorbido tanto como el cloruro y nitrato se debe probablemente a la fuerte adsorción del sulfato de magnesio sólido y poco soluble sobre el tejido foliar o quizá a impurezas en el sulfato de magnesio comercial, el cual en trabajos de otras tareas del laboratorio en el que se condujeron estos experimentos, mostró muchas impurezas en la recristalización que tuvo lugar después de terminados los trabajos de campo del presente experimento. Otra causa podría ser la competencia existente entre ciertos iones. Así CARVAJAL (13) encontró que la carencia de Mg favoreció la acumulación de S y K; ESTES (21), fertilizando patatas con S observó un efecto negativo al añadir Mg; Walsh y Clarke, citados por LAINEZ (35) encontraron que con distintos niveles de S, el más bajo nivel retardó el desarrollo de la clorosis debida a deficiencia de Mg; WEBBER (65) dice que la aplicación de S redujo la respuesta de Mg en verduras; ROBINSON y CHENERY (55) no recomiendan fuertes aplicaciones de cualquier sulfato al mismo tiempo que sales de magnesio al suelo porque el ión sulfato reduce la absorción de Mg.

La conveniencia de usar hojas viejas (sexto par en adelante) para el análisis foliar con Mg está respaldada por: MULLER (44), ESPINOZA,

FLORA (20), CULOT (16), CHAVERRI (14), ROBINSON (57) y LOTT (37), y, se dedujo, conforme aconseja MULLER (43), después de comparar los resultados del análisis del cuarto par y de las hojas adultas.

Según TUKEY (63) y WITTWER y TEUBNER (66), aunque no precisamente en cafetos, se sabe que las hojas viejas se lavan mucho más que las jóvenes. En el presente caso se muestrearon hojas viejas. La adsorción del sulfato de magnesio sólido y poco soluble sobre el tejido foliar puede ser también la causa de la más baja concentración de Mg en el lavado de este tratamiento ( $MgSO_4$ ) que en el de los demás.

[Las aplicaciones foliares (Experimento A), al corregir los síntomas de deficiencia y elevar el Mg foliar a un alto nivel, fueron definitivamente mejores que las aplicaciones al suelo, conforme sostienen: EMBLETON y JONES (19), MESSING et al (42), FORD (24) y un autor de NICARAGUA (1).

De las tres fuentes de Mg usadas, el nitrato y cloruro de magnesio fueron mejores que el sulfato. Esto corrobora lo encontrado en otros cultivos por: ALLEN (4, 5), FISHER y WALKER (23), WITTWER y TEUBNER (66) y la Estación Experimental de EAST MALLING (17) en Inglaterra. HAGLER (27) encontró, con vid, que sólo el cloruro de magnesio fue significativamente mejor que algunos compuestos con Mg entre los cuales estuvieron el sulfato y el nitrato. Esto indica que con el sulfato de magnesio no se obtienen buenos resultados; así lo observaron ya BOYNTON y ERICKSON (9) quienes afirman que cinco aspersiones con sal de "Epsom" ( $MgSO_4$ ) al 2% no corrigieron la deficiencia de Mg en cacao.

Parece que el sulfato de magnesio necesita mayor número de aplicaciones (tiempo) o mayor concentración de principio puro para corregir deficiencias de magnesio. Así lo demuestran los trabajos de ROBINSON y

CHENERY (55) en cafetos, FORD (24) en manzanos, y, JOHNSON (33) en apios.

Aunque los tratamientos nitrato y cloruro de magnesio tuvieron los más altos contenidos de magnesio foliar, nada se puede decir sobre la bondad del uno sobre el otro porque sus efectos no mostraron diferencias estadísticamente significativas en ningún momento; sin embargo la tendencia del nitrato fue siempre la de mantener la más alta concentración de Mg foliar casi en todo el experimento. Además esta fuente permite el aprovechamiento del nitrógeno. El cloruro en cambio presenta la ventaja de ser mucho más barato que el nitrato y además su manejo y almacenamiento no son peligrosos como en los compuestos nitrados que tienen un carácter explosivo.

El hecho de que las aplicaciones de Mg al suelo no fueron tan efectivas (Experimento B), especialmente por el largo tiempo antes de obtener una respuesta, está corroborado por: MULLER (43, 45) y PEREZ (52).

La razón por la que en los experimentos principales se usó covariancia en los cálculos estadísticos se debe a que casi en todos los muestreos de estos dos experimentos se encontró una correlación ( $r$ ) significativa entre el nivel foliar inicial (antes de aplicar tratamientos) y el incremento de Mg foliar después de las aspersiones, lo cual indica que había una asociación entre estas dos variables, no debida a tratamientos.

No se encontró incremento significativo en el número de nudos de ramas laterales de cafetos durante seis meses y medio después de las aspersiones. Esto puede deberse al tiempo relativamente corto de las observaciones. Sería recomendable seguir con el registro de estos

experimentos por lo menos hasta terminar el resto del año en curso (1964). Pudo influir en estos resultados también la falta de deficiencia del elemento al momento de los muestreos. Es cierto que se notó deficiencia en muchos árboles al iniciar los trabajos y así lo atestigua el análisis químico de algunas muestras que acusan niveles bajos (de 0,13 y 0,15% de Mg), pero el promedio general en todos los tratamientos no acusan niveles iniciales bajos por lo cual es posible que el Mg suministrado no haya influido en el desarrollo general.

### CONCLUSIONES

1. El nitrato de magnesio es más tóxico que el cloruro o sulfato para el follaje del cafeto, por lo cual aquél no puede usarse en aspersiones a una concentración mayor del dos por mil (peso por volumen) de magnesio elemental.
2. La comparación de los resultados del análisis del cuarto y sexto par de hojas en el presente trabajo indica que, tratándose del magnesio en el cafeto, se deben muestrear hojas viejas (sexto o séptimo par) para el análisis foliar.
3. La pérdida de Mg foliar por lavado es evidente y, al respecto, el Mg del cloruro se lava más que el del nitrato o sulfato.
4. La concentración de Mg en las hojas subió definitivamente al nivel estadístico altamente significativo con dos aspersiones: una al 3 o/oo y otra al 2 o/oo de Mg.
5. Los síntomas foliares de deficiencia desaparecieron en tres meses con las dos aspersiones ya mencionadas.
6. De las tres fuentes empleadas, el nitrato y cloruro de magnesio son mejores que el sulfato. Entre el nitrato y cloruro, el primero hizo subir más el contenido de Mg foliar, aunque esto no fue estadísticamente significativo.
7. Las aplicaciones del Mg al suelo fueron ineficaces para aumentar el contenido foliar de este elemento durante los seis y medio meses que duró el experimento; sin embargo, el nitrato aumentó mayormente el contenido de Mg foliar, aunque esto no fue estadísticamente significativo.

8. No hubo incremento significativo en el número de nudos de ramas laterales en el corto tiempo de este experimento de fertilización con Mg. Es recomendable continuar el registro del número de nudos por lo menos seis meses más y comparar con los datos de producción de años anteriores y después de terminado el registro del número de nudos.
9. La determinación del magnesio mediante análisis químico foliar sirvió perfectamente como herramienta para medir los efectos de la aplicación de fertilizantes magnésicos a las hojas y al suelo.

RESUMEN

Se abordó el problema de la fertilización magnésica del cafeto en el campo. Para el efecto se procuró principalmente:

- A) Aclarar la forma más efectiva y conveniente de fertilizar el cafeto con magnesio, sea por vía foliar o por aplicaciones al suelo.
- B) Determinar, en ambas formas, la mejor fuente de magnesio entre: nitrato, cloruro y sulfato de magnesio.

Antes de investigar lo relacionado con estos objetivos principales, fue necesario explorar acerca de:

- 1) Toxicidad de las fuentes y concentración adecuada de la fuente más tóxica para cafetos.
- 2) Par de hojas más adecuado de muestreo para la determinación de magnesio foliar en las condiciones de Turrialba.
- 3) Cantidad de magnesio perdido por lavado de las hojas asperjadas.

Además se estudió el efecto de las aspersiones sobre el desarrollo de la planta en sus ramas laterales, por su posible conexión con la producción.

En estos experimentos exploratorios se encontró que:

- 1) El nitrato fue más tóxico que el cloruro y sulfato para los cafetos y que éstos no toleraron una concentración mayor del dos por mil (2 o/oo) de magnesio elemental en la antedicha fuente.
- 2) El muestreo de hojas viejas (sexto o séptimo par) fue el más adecuado para determinar magnesio en los cafetos de esta

investigación. Esto se debe a que hubo un menor contenido de Mg en hojas viejas antes de la aspersión, presentándose allí los síntomas foliares de deficiencia cuando ésta existió y, en ellas hubo un mayor incremento relativo del Mg foliar después de la aspersión, facilitando así el análisis químico.

- 3) El cloruro de magnesio se lava mas que el nitrato y el sulfato desde hojas asperjadas.

Para los experimentos principales se usó un cafetal del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de Turrialba, Costa Rica, de la variedad "Bourbon", de apariencia uniforme por haber sido renovado cinco años atrás. Tenía sombra mediana y se apreciaron síntomas foliares de deficiencia de magnesio. Allí se instalaron dos experimentos: uno de aspersiones y otro de aplicaciones al suelo.

En el primero se efectuaron tres aspersiones con un total de 5,95 g de magnesio elemental por árbol. La primera aspersión al 3 o/oo (p/v) de concentración de Mg elemental en todas las fuentes y, las restantes al dos por mil, agregándose "Film-fast" como adherente-humectante. Los intervalos entre las tres aspersiones fueron de 68 días el primero y, 92 días el último. Los síntomas de deficiencia desaparecieron a los tres meses y con dos aspersiones. En este lapso también subió el Mg foliar a un alto contenido. El nitrato y el cloruro de magnesio fueron significativamente mejores que el sulfato. La ventaja del cloruro y nitrato sobre el sulfato puede deberse a: 1) Diferente estado físico de la película remanente sobre las hojas en las tres fuentes después de las aspersiones; 2) Fuerte adsorción del sulfato de magnesio sólido y su poca solubilidad sobre el tejido foliar; 3) Impurezas en el sulfato de magnesio



comercial usado; y, 4) Efecto competitivo entre S y Mg.

Entre el nitrato y cloruro, el primero mantuvo la concentración más alta de Mg foliar, aunque esto no fue estadísticamente significativo. Con respecto al efecto de las aspersiones sobre el desarrollo de los cafetos, no se encontró incremento significativo en el número de nudos de ramas laterales después de las aspersiones. Esto puede deberse al corto tiempo del experimento o a que el Mg foliar estuvo alto, en promedio, al momento de los muestreos.

En el segundo experimento principal (aplicaciones al suelo) se suministraron 45 g de magnesio por árbol en todas las fuentes y en una sólo aplicación. La respuesta a estas aplicaciones al suelo fue poco notoria y no alcanzó significación estadística durante los seis y medio meses que duró el experimento. El tratamiento nitrato de magnesio mantuvo los más altos niveles de concentración de magnesio foliar durante casi todo el experimento, aunque esto no fue estadísticamente significativo. La corta duración del experimento puede ser una de las causas de esta falta de respuesta.

En los dos experimentos principales, la determinación de magnesio se hizo por análisis foliar.

## SUMMARY

The problem of coffee fertilization with magnesium compounds was studied under field conditions.

The main objectives were:

- A) To find out the most convenient and effective means of fertilizing coffee plants with magnesium either by foliar applications or by applications to the soil.
- B) To find out the best source of Mg to be used among: nitrate, chloride and sulfate of magnesium for either form of application.

Some preliminary experiments were carried out in order to determine the following points:

- 1) Level of toxicity of the different sources and the safe concentration of the most toxic source.
- 2) The most adequate pair of leaves to be sampled for foliar analysis of Mg under conditions prevailing at Turrialba.
- 3) Amount of magnesium lost by leaching from the sprayed leaves.

Also investigated was the effect of the sprays on the development of lateral branches of the plants considering its possible connection with production.

In these exploratory experiments it was found that:

- 1) Nitrate was more toxic to coffee plants than chloride or sulfate and the highest concentration of nitrate tolerated by the plants was 2 o/oo of elemental magnesium.
- 2) The sixth or seventh pair of leaves was considered as the most adequate in sampling for magnesium analysis. This is

because the Mg content was much lower in older leaves before applying the spray, and consequently deficiency symptoms, if any, were more appreciable in those leaves. The increase in Mg content after spraying was also large.

- 3) Magnesium chloride was washed off from the sprayed leaves more than nitrate or the sulfate.

The main experiments were carried out in a coffee plantation of the "Bourbon" variety belonging to the Inter-American Institute of Agricultural Sciences at Turrialba, Costa Rica. The plantation was medium shaded and the presence of magnesium deficiency was clearly noticeable. Two experiments were delineated: one consisting of spray applications to the leaves and another one of applications directly to the soil.

Experiment A). Three applications were carried out with a total of 5.95 g of elemental magnesium per tree. For the first application a concentration of 3 o/oo (w/v) of elemental Mg in all the sources was used, and in the others a concentration of 2 o/oo, with "Film-fast" added as spreader-sticker. The intervals between the applications were 68 days for the first and 92 day for the last. Deficiency symptoms disappeared after about 3 months and the two spray applications. At this time the Mg content in the leaves was relatively high. Magnesium nitrate and magnesium chloride were significantly better absorbed as compared to magnesium sulfate which did not increase the leaf magnesium content over the control. This could be due to the following reasons:

- 1) Difference in physical conditions of the remaining film on the leaves of the 3 sources used, after the applications.

- 2) Strong adsorption of the solid and less soluble magnesium sulfate over the leaf tissue.
- 3) Presence of impurities in the commercial magnesium sulfate used.
- 4) Competitive effect between sulphur and magnesium.

Between magnesium nitrate and magnesium chloride the former caused the highest concentration of Mg in the leaves, though the difference was not statistically significant.

In regard to the effect of spray applications on the growth of coffee plants no significant increase was found in the number of nodes of the lateral branches after the applications were made. This may be due to the short period during which the experiment was carried out or to a possible high Mg content in the leaves, at the time that the foliar samples were taken.

Experiment B) For each one of this three sources 45 g of elemental magnesium per tree were applied once to the soil. Responses were negligible and no statistical significance was detected during the duration of the experiment (6 1/2 months). The applications of magnesium nitrate gave the highest Mg content in the leaves almost all the time, though not statistically significant. Lack of response to soil applications may be due to the short period during which the experiment was carried out.

In both of the main experiments, Mg was determined by chemical foliar analysis.

LITERATURA CITADA

1. ABONADURA MINERAL. Alimentos nutritivos principales, elementos menores y recomendaciones de abonos. *Café de Nicaragua* 10(169-170):20-25, 27-34. 1959.
2. ADAMS, F. y HENDERSON, J. B. Magnesium availability as affected by deficient and adequate levels of potassium and lime. *Soil Science Society of America. Proceedings* 26(1):65-68. 1962.
3. AIKAWA, K. J. The role of magnesium in biologic processes. Springfield (Illinois), Charles C. Thomas Publisher, 1963. 117 p.
4. ALLEN, M. Role of the anion in magnesium uptake from foliar application of its salts on apple. *Nature (London)* 184(4691):995. 1959.
5. \_\_\_\_\_ The uptake of metallic ions by leaves of apple trees. II. The influence of certain anions on uptake from magnesium salts. *Horticultural Science Journal* 35(2):127-135. 1960.
6. BENDIX, A. A. Importancia del elemento magnesio para las plantas. *Café del Salvador* 27(306-307):259-260. 1957.
7. BHAN, K. C. et al. Some mineral losses from leaves by leaching. *American Society for Horticultural Science. Proceedings* 73: 289-293. 1959.
8. BONNET, J. et al. Radioactive studies with  $P^{32}$  in tropical soils and crops of Puerto Rico. *Soil Science Society of America. Proceedings* 19(3):283-284. 1955.
9. BOYNTON, D. y ERICKSON, A. Response of seedlings cacao trees, under nursery conditions to magnesium and calcium. *American Society for Horticultural Science. Proceedings* 64:15-20. 1954.
10. BUDOWSKI, G. Y SCHREUDER, G. The climate at Turrialba. Turrialba, Costa Rica. *Communications from Turrialba* No. 68. 1961. 36 p.
11. BULL, A. R. Effect of mulching and irrigation in some East African coffee soils. *Turrialba (Costa Rica)* 13(1):22-27. 1963.
12. CAIN, J. C. Absorption and metabolism of urea by leaves of coffee, cacao and banana. *American Society for Horticultural Science. Proceedings* 67:279-289. 1956.
13. CARVAJAL, F. Estudio de las deficiencias de N, K, Mg, B y Mn en plantas de café. *Revista de Biología Tropical (Costa Rica)* 8(2):165-179. 1960.

14. CHAVERRI, G. et al. Resultados del análisis foliar del cafeto en Costa Rica. Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, Información Técnica No. 3. 1957. 16 p.
15. COCHRAN, G. W. y COX, M. G. Experimental Designs. New York, Wiley, 1957. 611 p.
16. CULOT, J. P. y VAN WAMBEKE, A. Contribution a l'étude des deficiences minerales du caféier d'Arabie au Kivu. Institut National pour l'étude Agronomique du Congo Belge (INEAC). Série Scientifique 73. 105 p. 1958.
17. EAST MALLING RESEARCH STATION. Annual report 1958. London 1959. pp. 37-38.
18. EFECTO DE los elementos: N, P, K, Mg y Ca sobre la producción. Nutrición del cafeto en Costa Rica. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico No. 43: 11-15. 1963.
19. EMBLETON, E. W. y JONES, W. W. Correction of magnesium deficiency of orange trees in California. American Society for Horticultural Science. Proceedings 74:105-109. 1959.
20. ESPINOZA, FLORA. Resultados preliminares del análisis foliar del cafeto en El Salvador. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café (ISIC). Boletín Informativo Suplemento No. 10. 1961. 81 p.
21. ESTES, G. O. et al. A new loock at magnesium and sulfur fertilization of potatoes. Maine Farm Research 6(4):5-6. 1959.
22. FIESTER, D. The study of the leaf chlorosis of coffee resembling the magnesium deficiency symptoms in some other fruit crops. Thesis M.S.A. Ithaca, New York, Cornell University, 1955. 79 p. (mimeographed).
23. FIESTER, E. G. y WALKER, D. R. The apparent absortion of phosphorus and magnesium from sprays applied to the lower surface of Mc Intosh apple leaves. American Society for Horticultural Science. Proceedings 65:17-24. 1955.
24. FORD, E. M. Control of magnesium deficiency in apple rootstock stoolbeds: Progress report. East Malling Research Station, England. Report 1957. 1958. pp. 106-112.
25. FORSHEY, G. C. The effect of nitrogen status of magnesium deficient Mc Intosh apple trees on the response to epon salts sprays. American Society for Horticultural Science. Proceedings 73: 40-45. 1959.

26. GALVEZ, N. L. et al. The influence of nitrogenous fertilizers on the pH and exchangeable base status of certain coffee and citrus soils. *Philippine Agriculturist* 39(2):81-90. 1955.
27. HAGLER, B. T. Effect of magnesium sprays on muscadine grapes. *American Society for Horticultural Science. Proceedings* 70: 178-182. 1957.
28. HARDY, F. Soils of the I.A.I.A.S. area. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica, 1961. 76 p. (mimeografiado).
29. HOLDRIDGE, L. R. Determination of world plant formation from simple climate data. *Science* 105(2727):367-368. 1947.
30. HOLMES, M. R. Field experiments on the magnesium requirement of potatoes in Great Britain. *Agricultural Science Journal* 58(part 2):281-285. 1962.
31. HUERTA S., A. Epoca de muestreo y par de hojas representativo del estado nutricional del cafeto. Turrialba (Costa Rica) 14(2): 63-70. 1964.
32. JACOB, A. Magnesium fifth major plant nutrient. London, Staples Press, Limited, 1958. 159 p.
33. JOHNSON, E. et al. Control of magnesium deficiency in Itah 10B celery grown on organic soil. *Soil Science Society of America. Proceedings* 21(5):528-532. 1957.
34. JONES, H. T. Magnesium as a plant nutrient. *Chemistry & Industry (London)* 50:1108-1110. 1951.
35. LAINEZ, J. Relaciones entre los contenidos de cationes en el suelo y en las hojas de plantas de café deficientes en magnesio. Tesis Mag.Agr. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1962. 88 p. (Mimeografiado).
36. LAINS E SILVA, HELIA e LAINS E SILVA, H. Variacao de composicao mineral de folhas de cafeeiro. *Revista de Café Português* 3(11): 45-61, (12):15-34. 1956; 4(14):24-60. 1957.
37. LOTT, W. L. et al. La técnica del análisis foliar en los estudios de café. Instituto IBEC de Investigaciones Técnicas. Boletín No. 9. 1959. 29 p.
38. MACHADO, A. Los fertilizantes para el cafeto y el diagnóstico foliar. Chinchiná, Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Boletín Informativo 7(76):126-236. 1956.

39. MARSHALL, S. et al. Response of tung trees to applied N, K, and Mg in different soil types. American Society for Horticultural Science. Proceedings 71:237-240. 1958.
40. MEDCALF, J. C. Preliminary study on mulching young coffee in Brasil. IBEC Research Institute. Bulletin No. 12. 1956. 47 p.
41. MERRILL, S. Jr. et al. Responses of mature tung trees on red bay soil to boron and magnesium. American Society for Horticultural Science. Proceedings 67:160-164. 1956.
42. MESSING, J. et al. Magnesium deficiency in glasshouse tomatoes. (Abstract). A. R. Glasshouse Crops Research Institute 1957-1959:99-107. (Original no consultado; compendiado en Horticultural Abstracts 29(3):473. 1959).
43. MULLER, L. Algunas deficiencias minerales comunes en el cafeto (Coffea arabica L.). Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico No. 4. 1959. 41 p.
44. \_\_\_\_\_ La aplicación del diagnóstico foliar en el cafeto (Coffea arabica L.) para una mejor fertilización. Turrialba (Costa Rica) 9(4):110-122. 1959.
45. \_\_\_\_\_ Nutrición mineral. II. Detección y control de deficiencias de elementos esenciales. In Progresos de la Técnica de Producción de Café. Traducción de la edición especial de Coffee and Tea Industries and the flavor field, vol. 81, No. 11. 1958. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1959. pp. 97-109. (Materiales de Enseñanza de Café y Cacao).
46. NUTRICION DE la segunda capa de raíces del cafeto. Olin Mathieson Chemical Corporation, New York. Boletín No. 39. s.f. 2 p.
47. OLAND, K. y UPLAND, B. Uptake of magnesium by apple leaves. Physiologia Plantarum (Dinamarca) 9(3):401-411. 1956.
48. ORIOLI, G. y JIMENES, E. Absorción del sulfato radiactivo por las hojas. Fitotecnia Latinoamericana 1(1):37-50. 1964.
49. PAINTER, Y. y HAMMAR, H. Effects of differential applications of N, K, Mg, B and P on their concentrations in leaves of filbert trees. American Society for Horticultural Science. Proceedings 80:315-326. 1962.
50. PEREZ, G. Estudio sobre el tamaño de la parcela experimental en café. In Seminario sobre diseños estadísticos y técnicas experimentales con cultivos perennes. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1962.



51. PEREZ, V. M. Deficiencia de magnesio en el cafeto. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Boletín Técnico No. 15. 1955. 4 p.
52. \_\_\_\_\_ Algunas deficiencias minerales del cafeto en Costa Rica. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Información Técnica No. 2. 1957. 27 p.
53. RECOMMENDED RATES will control magnesium hunger. *Crops & Soils* 10(8):31 1958.
54. REPORTE METEOROLOGICO mensual. Estación meteorológica del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. Julio de 1963-Junio de 1964. 1964.
55. ROBINSON, J. B. D. y CHENERY, E. M. Magnesium deficiency in coffee with special reference to mulching. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 26(103):259-273. 1958.
56. ROBINSON, J. B. D. Magnesium nutrition of coffee. Kenya (Ruiru) Coffee Research Station. Annual report 1956-1957. 1958. pp. 68-74.
57. \_\_\_\_\_ Mineral nutrition of coffee. Preliminary results with the leaf analysis technique. *East African Agriculture and Forestry Journal* 27(1):1-9. 1961.
58. SHERMAN, D. Magnesium soils of Hawaii need potash. *Better Crops with plant food* 36(1):23-26. 1952.
59. SMITH, P. F. et al. Effect of differential nitrogen, potassium and magnesium supply to young valencia orange trees in sand culture on mineral composition specially of leaves and fibrous roots. *Plant Physiology* 29:349-355. 1954.
60. SNEDECOR, G. W. Métodos de estadística. Traducido de cuarta edición inglesa por A. Marino. Buenos Aires, Acme Agency, 1948. 534 p.
61. SUAREZ DE CASTRO, F. Fertilizantes químicos para el cafeto. *Revista Cafetera de Colombia* 13(130):17-26. 1957.
62. SYLVAIN, P. G. Informe sobre un programa nacional de investigación en café en el Perú. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Servicios Técnicos de Café y Cacao. Informe 26-E. 1958. 18 p.
63. TUKEY, J. B., Jr. y WITTWER, S. H. Loss of nutrients by foliar leaching as determined by radioisotopes. *American Society for Horticultural Science. Proceedings* 71:497-506. 1958.

64. WALKER, D. R. y FISHER, E. G. The use of chelated magnesium and magnesium sulfate in correcting magnesium deficiency in apple orchards. American Society for Horticultural Science. Proceedings 70:15-20. 1957.
65. WEBBER, A. Magnesiummangel. II-Forsg og undersgelser pa friland og i store urtepotter 1953-1957. Tidsskr. Plantaevl 63: 394-447. 1959. (Original no consultado; compendiado en Soils and Fertilizers Abstracts 23(1):56. 1960).
66. WITTWER, S. H. y TEUBNER, F. G. Foliar absorption of mineral nutrients. Annual Review of Plant Physiology 10:13-32. 1959.