NUTRICION DE CAFE ROBUSTA EN LA ZONA DE Quevedo - Ecuador

Ing. Agr. M.A. José A. Laínez C.
Jefe del Programa de Suelos y Fertilizantes
de la Estación Experimental "Pichilingue".

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

I N I A P

NUTRICION DE CAFE ROBUSTA EN LA ZONA DE QUEVEDO – ECUADOR

(BOLETIN TECNICO No. 1)

Ing. Agr. M.A. José A. Laínez C.
Jefe del Programa de Suelos y Fertilizantes
de la Estación Experimental "Pichilingue".

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

CONTENIDO

		Página
AGRADECIMIENTOS	.....	3
INTRODUCCION	.....	4
PRIMERA PARTE:	Efectos de la fertilización y el riego en la producción de los cafetos de la zona de Quevedo	5
SEGUNDA PARTE:	Contenidos de nutrientes minerales en las hojas de los cafetos de la zona de Quevedo sometidos a la fertilización química, y su relalación con la cosecha.....	10
TERCERA PARTE:	Variación estacional de los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo y potasio, con la producción.....	19
CONCLUSIONES	.....	24
RESUMEN	.....	24
LITERATURA CITADA	.....	25
APENDICE	.....	27

AGRADECIMIENTOS

La realización de los experimentos cuyos resultados se exponen en el presente Boletín ha sido posible gracias a la ayuda de varias personas e instituciones. El autor desea expresar en particular su gratitud:

Al Dr. E. T. Bullard, ex-miembro de la Misión del Punto IV en el Ecuador, quien inició parte de los ensayos de campo e inspiró su continuación hasta su feliz término.

A NARFAMS DEL ECUADOR S.A. propietaria de la Hda. "Coffea Robusta", donde se instalaron las parcelas experimentales, por su colaboración en el mantenimiento de los ensayos, y en la adquisición de materiales para nuestro laboratorio de análisis foliar.

Al Ing. Agr. Kléber Medina, Asistente del Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Estación Experimental "Pichilingue", del INIAP, que laboró activamente en la obtención de los datos del experimento con elementos menores.

Al Ing. Agr. Gustavo A. Enríquez C., que durante año y medio estuvo encargado de dos de los experimentos y que colaboró con valiosas ideas.

Finalmente, cúmplele al autor agradecer a todas las otras personas que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este Boletín.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

INTRODUCCION

De acuerdo con estimaciones realizadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (8) la producción promedia de café en el país, en 1965, fue de 8.7 quintales por hectárea. Este rendimiento bajo, en comparación con los obtenidos en otros países (3), se debe a causas de diferente índole entre las cuales la nutrición pobre de las plantas desempeña un rol de importancia.

Aunque los suelos dedicados a este cultivo en el país son ricos en determinados nutrientes minerales, las deficiencias de otros y/o el desequilibrio entre sus concentraciones podrían determinar una mala nutrición de estas plantas.

Sobre la base de la hipótesis de que la fertilización química aumentaría la producción del cafeto en las condiciones ecológicas de la zona de Quevedo, se instalaron varios experimentos de campo, aprovechando de plantaciones nuevas de la variedad *Coffea robusta* que se estaban estableciendo en la hacienda del mismo nombre, ubicada en un lugar representativo de la zona.

Aunque la variedad Robusta no es la más cultivada en la zona, los resultados serían aplicables al café allí sembrado (en su mayor parte *Coffea arábico)* debido a la similitud de los requerimientos nutricionales de cualquier tipo de café (19).

En el primero de los experimentos señalados se compararon los efectos de los tratamientos de un factorial de dos niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la nutrición mineral y producción de los cafetos; en el segundo se estudiaron las respuestas de estas plantas a cinco niveles de nitrógeno en combinación con tres de potasio. A partir de los resultados de estos dos experimentos, se inició más tarde un tercero con el fin de conocer las respuestas de estas plantas a las aplicaciones de diferentes niveles de nitrógeno, en condiciones normales y de riego.

Por último, los bajos contenidos de manganeso que se detectaron en las hojas de los cafetos del tercer experimento, y al mismo tiempo la observación de ciertos síntomas en estas plantas, llevaron a la iniciación de un ensayo de fertilización con elementos menores.

Con el propósito de emplear el "diagnóstico foliar" en los futuros programas de fertilización de los cafetos de la región, se estudiaron las relaciones entre los contenidos foliares de nutrientes minerales y la producción de las plantas correspondientes al primero de los experimentos indicados.

El presente Boletín consta de tres partes, que si bien están íntimamente relacionadas, cada una de ellas constituye una investigación independiente:

1) En la primera parte se exponen y comentan los efectos de los tratamientos de fertilización, a que fueron sometidas las plantas de los experimentos, sobre sus rendimientos;

2) En la segunda parte se estudian los contenidos de algunos minerales de las hojas de los cafetos que crecen en la zona de Quevedo y los efectos de la fertilización sobre dichos contenidos. Al mismo tiempo, se estudian las relaciones entre las concentraciones foliares de los diferentes minerales analizados, y también las relaciones entre dichas concentraciones y la producción de los cafetos;

3) En la tercera parte se investiga la variación del contenido mineral de la hoja, en relación con la época del año, mediante los resultados del análisis químico de muestras de hojas tomadas mensualmente en uno de los experimentos.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

PRIMERA PARTE

EFECTOS DE LA FERTILIZACION Y EL RIEGO EN LOS CAFETOS EN LA ZONA DE QUEVEDO.

MATERIALES Y METODOS.

Los efectos de la fertilización con macronutrientes y del riego sobre la producción del cafeto de la variedad Robusta se determinaron sobre la base de los datos de la cosecha de las plantas correspondientes a 3 experimentos de campo que se realizaron en la Hda. "Coffea Robusta". Un cuarto experimento, en que no se tomaron datos de cosecha y los efectos de los tratamientos se evaluaron sólo por contenidos foliares de nutrientes y la apreciación de síntomas de deficiencia, sirvió para conocer la influencia de las aplicaciones de quelatos * de hierro, manganeso y zinc sobre ciertos trastornos que presentan los cafetos de la región y que se atribuyeron a las deficiencias nutricionales de dichos micronutrientes.

La hacienda donde se llevaron a cabo los experimentos de campo se encuentra ubicada aproximadamente a 79º 45' de longitud occidental y 1º 5' de latitud Sur. La pluviosidad anual promedia del lugar durante el período 1958 — 1965, fue de 1.900 mm. que cayeron casi en su totalidad en los meses de Enero a Mayo y según curvas anuales similares a las que se presentan en la tercera sección de este Boletín. La temperatura media mensual fue de 24º C.

El suelo de la hacienda corresponde al Regosol laterítico descrito por Frei (13) el cual es un suelo muy joven de cenizas volcánicas, que está evolucionando hacia un Latosol.

Los resultados promedios de los análisis de 13 muestras del suelo superficial (0 - 30 cm.)** tomados en el sector de los experimentos, antes de que éstos se iniciaran, mostraron, de acuerdo con patrones propuestos por Hardy, citado por Smyth (23), niveles altos de calcio (27.15 meq/100 gramos de suelo secado al aire) y de magnesio (10.65 meq/100 gr.) y muy altos de potasio disponible (1.86 meq/100 gr.); los contenidos de fósforo disponible también fueron altos (0,3 meq. de PO4/100 gr.), y los de nitrógeno total aunque aparentemente altos (0.36 º/o) al iniciarse los experimentos, están propensos a una rápida disminución por la degradación de la materia orgánica que sucede a ritmo acelerado bajo las condiciones ecológicas del lugar.

La textura de este suelo es de franco limoso a franco arcilloso y su estructura de agregados subangulares, friable, permeable, poroso y con densidad aparente de 0.9; humedad equivalente igual a 37 º/o y pH cerca de 7.0.

En el primer experimento los tratamientos fueron los correspondientes a un factorial de 2 niveles de nitrógeno, fósforo y potasio y los datos de producción se tomaron desde 1958 a 1965; en el segundo se estudiaron durante 5 años (1959 — 1963) los efectos de 5 niveles de nitrógeno en combinación con 3 de potasio; en el tercero se probaron diferentes niveles de nitrógeno en parcelas con riego y sin riego, y los datos de cosecha se tomaron durante 1964 y 1965; el cuarto experimento se llevó desde Julio de 1968 hasta Febrero de 1969 y en él se probaron dosis altas y bajas de quelatos de hierro, manganeso y zinc aplicados al suelo o al follaje de los cafetos.

Las cantidades de fertilizantes que se probaron fueron las siguientes:

Primer experimento

N = 1 lbr. urea (46º/o N) por planta por año.
P = 1 lbr. superfosfato triple (45º/o P2O5) por planta por año.
K = 1/2 lbr. muriato de potasio (60º/o K20) por planta por año.

Segundo experimento

NO = sin urea (testigo)
N1 = 1 lbr. urea por planta por año.
N2 = 2 " " " " " "
N3 = 3 " " " " " "
N4 = 4 " " " " " "
N5 = 5 " " " " " "
KO = sin muriato de potasio
K1 = 1 lbr. muriato de potasio por planta por año.
K2 = 2 " " " " " " " "

Tercer experimento

Tratamientos .

1= 1 lbr. urea aplicando 1/2 en Septiembre y 1/2 en Abril.
2= 1 lbr. urea aplicando 1/3 en Septiembre y 1/3 Dic. y 1/3 Abril.

* *Los quelatos empleados en este experimento fueron los complejos de hierro, zinc y manganeso del ácido diaminoetil tetracético (EDTA), fabricados por Geigy Chemical Corporation y cuyo nombre comercial es "Sequestrene".*

** *Los análisis se practicaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Central de Quito.*

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

3= 1-1/2 lbr. urea aplicando 3/4 lbr. Sept. y 3/4 Abril
4= 1-1/2 lbr. urea aplicando 1/2 Dic. y

4= 1-1/2 lbr. urea aplicando 1/2 Sept., 1/2 Dic. y 1/2 Abril.
5= 1 lbr. urea aplicando 1 Sept. y 1 Abril.
6= 1 lbr. urea aplicando 2/3 Sept., 2/3 Dic. 2/3 Abril
7= Testigo

Los tratamientos de riego que se aplicaron en este tercer experimento se hicieron por el sistema de aspersión y fueron los siguientes:

R1 = 1 riego de 3 pulgadas en Sept.
R2 = 2 riegos de 3 pulgadas, uno en Septiembre y otro en Noviembre.
T = Testigo (sin riego)

Cuarto Experimento

En este experimento, las dosis y tratamientos fueron los que se indican en el cuadro a continuación.

Cuadro No. 1.— Dosis de quelatos en los tratamientos del experimento 4.

Gramos de quelato° /planta/mes

Tratamiento	*AL SUELO*		*AL FOLLAJE*	
	dosis baja	*dosis alta*	*dosis baja*	*dosis alta*
Fe	*28.5*	*57.0*	*11.35*	*22.7*
Mn	*Idem*	*Idem*	*Idem*	*Idem*
Zn	*Idem*	*Idem*	*Idem*	*Idem*
Fe + Zn	*28.5 + 28.5*	*57.0 + 57.0*	*11.35 + 11.35*	*22.7+ 22.7*
Zn + Mn	*Idem*	*Idem*	*Idem*	*Idem*

° *Los quelatos de hierro, manganeso y zinc contienen 10, 12 y 14 °/o de los respectivos metales.*

El diseño experimental empleado en los dos primeros experimentos fue el de bloques al azar con 5 repeticiones; 9 plantas por parcela sembradas a 3 x 3 metros; de tal modo que cada tratamiento fue aplicado a 45 plantas.

En el tercer experimento el diseño fue el de parcelas divididas con 3 repeticiones, 5 plantas por subparcela sembradas a 3 x 2.5 metros en tres bolillo, de tal manera que cada tratamiento principal fue aplicado a 105 plantas y cada secundario a 45.

En el cuarto experimento cada tratamiento se aplicó sobre 5 plantas en un diseño irrestrictamente al azar.

Para la aplicación de los fertilizantes en los dos primeros experimentos las dosis totales, ya indicadas, de urea y muriato de potasio se dividieron en dos partes iguales, una de las cuales se aplicó al iniciarse la época lluviosa, junto con el total del superfosfato, y la otra al finalizar la misma. Los fertilizantes fueron aplicados en la superficie del suelo, y alrededor del tronco de las plantas, formando un círculo de aproximadamente 3 m.de diámetro. En el experimento 4 las aplicaciones tanto al suelo como al follaje se efectuaron a intervalos de 30 días desde Julio de 1968 hasta Febrero de 1969. Para las aplicaciones al follaje las cantidades de quelato correspondientes a cada planta se disolvieron en dos ltrs.de agua, a la cual se agregó Triton 1960 como adherente; luego se asperjó la solución en forma uniforme por medio de una nebulizadora portable, de motor.

RESULTADOS Y DISCUSION.

A continuación se exponen los promedios de producción obtenidos en cada uno de los tratamientos de los tres primeros experimentos indicados.

Experimento No. 1

En el cuadro 2 se presentan los promedios obtenidos en 1965 y también los del período 1958 - 1965. En el cuadro 3 se indican año tras año durante todo el período de estudio los efectos individuales de los 3 nutrientes ensayados.

Los datos de los cuadros 2 y 3 muestran una clara influencia de las aplicaciones de nitrógeno en la producción; las diferencias entre las cosechas de las plantas tratadas con o sin el elemento fueron estadísticamente sig-

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

nificativas a través de todo el tiempo que duró el experimento.

Este resultado coincide con los obtenidos en numerosos trabajos en que se observaron las respuestas del cafeto a la fertilización química, entre dichos trabajos pueden citarse el de Culot y colaboradores, el de Malavolta y colaboradores y el de Mueller, todos citados por Malavolta (19) y, en parte, puede explicarse por los altos requerimientos del nutriente por parte del cafeto.

Cuadro No. 2.— Promedios de producción expresados en Kgs. de café Oro/Ha.— de los diferentes tratamientos de fertilización del experimento 1.

Tratamientos	1965		1958 - 1965.	
Testigo	984.8	* b	572.9	b
N	1.979.5	a	1.070.5	a
P	573.3	b	489.4	b
K	909.5	b	478.5	b
NP	1.773.6	a	1.168.9	a
NK	1.329.5	a	937.1	a
PK	751.6	b	458.1	b
NPK	1.344.9	a	945.3	a
C.V. °/o	34.70		16.00	

* *Los promedios con las mismas letras, en la columna, no difieren al nivel del 5°/o de probabilidades. Método. D.B. Duncan. (6).*

Análisis químicos realizados por Ripperton et. al. citado por Wellman (27), y luego por Catani y De Moraes citados por Malavolta y colaboradores (19), demostraron los altos contenidos de nitrógeno de los frutos y otros tejidos de esas plantas. El alto ritmo de degradación de la materia orgánica que sucede en las condiciones tropicales de Quevedo, que determina bajo suministro de nitrógeno desde el suelo en corto tiempo después de iniciado el cultivo, podría también ser la razón del aumento de cosecha obtenida por efecto de la fertilización nitrogenada.

En el Cuadro 3 puede observarse que a partir de 1961 las cosechas de las plantas tratadas con potasio son inferiores a los tratamientos sin este elemento. Aunque dichas diferencias no siempre fueron considerables, de toda forma, indican un efecto negativo de la fertilización con potasio.

La razón de este efecto negativo podría ser el antagonismo del potasio con otros nutrientes igualmente esenciales en la nutrición de las plantas. Debido a este fenómeno, cuando existen altos niveles de potasio en el suelo, como en el presente caso, nuevas adiciones del elemento por medio de la fertilización, fácilmente rompen el equilibrio que debe existir entre el potasio, el calcio y el magnesio, en favor de una mayor absorción del potasio (7, 11 y 19). Como podrá verse en la segunda parte de este Boletín, los cafetos que en el presente trabajo fueron tratados con potasio, tuvieron en sus hojas, contenidos más altos del nutriente y más bajos de calcio y magnesio que los cafetos no tratados.

Cuadro No. 3.— Efectos individuales de nitrógeno, fósforo y potasio en el experimento 1.

Tratam.	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1958 - 1965
Con N	114.3°°	202.8°°	701.7°	416.0°°	2.689.8°°	1.653.4°°	857.3°°	1.606.6°°	1.030.6°°
Sin N	45.3(a)	86.2	537.1	152.0	1.473.3	682.2	297.1	804.7	499.9
Con P	72.6	154.2	591.9	248.1	2.237.2°	1.090.0	687.2°	1.110.9	765.2
Sin P	88.0	134.3	646.8	307.1	1.926.4	1.245.6	467.2	1.300.9	763.9
Con K	72.1	152.9	648.2	217.7	2.073.9	934.9	534.3	1.083.6	704.9
Sin K	88.0	135.6	590.6	349.7	2.089.7	1.400.7°°	620.1	2.411.3	825.6°

(a) *Las cifras indican Kgs. de café Oro/Ha.*

° *Diferencia estadística al nivel del 5°/o.*

°° *Diferencia estadística al nivel del 1 °/o*

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Planta de café fertilizada con nitrógeno.

Planta no fertilizada.

Experimento No. 2

En el cuadro 4 se presentan los promedios de producción del último año de toma de datos (1963) y también los del período 1959 - 1963 obtenidos bajo cada uno de los tratamientos ensayados en este experimento, y en el cuadro 5 se indican las diferencias encontradas entre niveles de nitrógeno y potasio, año tras año, durante el período de estudio.

Cuadro No. 4.— Promedios de producción expresados en Kgs. de café Oro/Ha. en el experimento 2.

Tratamientos	*1963*	*1959 - 63*
N0K0	*1.349.0*	*630.0*
N1K0	*1.922.0*	*815.6*
N2K0	*2.730.7*	*1.105.9*
N3K0	*2.038.9*	*1.121.7*
N4K0	*2.468.0*	*1.207.0*
N5K0	*2.547.4*	*1.117.7*
N0K1	*976.6*	*569.7*
N1K1	*2.286.1*	*1.020.6*
N2K1	*2.149.2*	*1.035.1*
N3K1	*2.096.5*	*998.4*
N4K1	*2.580.5*	*1.154.9*
N5K1	*2.262.6*	*1.087.3*
N0K2	*1.119.9*	*687.2*
N1K2	*1.634.3*	*735.7*
N2K2	*1.911.5*	*978.4*
N3K2	*2.598.2*	*1.105.0*
N4K2	*1.805.3*	*782.9*
N5K2	*1.811.7*	*1.057.3*
D.M.S. 0.05	*587.4*	*287.1*
0.01	*781.1*	*380.6*
C.V.°/o	*23.00*	*24.00*

Como en el ensayo 1, los datos de los cuadros 4 y 5, correspondientes al ensayo 2, muestran la influencia positiva del nitrógeno y también el efecto negativo del potasio sobre la producción de los cafetos de la zona de Quevedo. En el cuadro 5 puede observarse que las diferencias entre niveles de nitrógeno o de potasio en este experimento sólo llegaron a ser estadísticamente significativas al quinto año de producción de las plantas; sin embargo, las tendencias indicadas fueron constantes y, para el caso del nitrógeno, se manifestó desde el primer año de cosecha, mientras que para el caso del potasio se notó a partir del segundo año. Los promedios expuestos indican también que dosis mayores de 1 lbr. de urea por planta por año no indicaron aumentos de producción de mayor significación económica, especialmente a partir de las 3 lbrs. de urea por planta por año.

Tercer experimento

Los resultados de este ensayo se presentanen el Cuadro 6.

Como puede verse en el Cuadro 6 el riego originó un aumento estadísticamente significativo de la producción de los cafetos. Sin embargo no se obtuvo diferencia entre las plantas que recibieron uno o dos riegos en el período seco.

Los considerables aumentos de producción logrados por efecto del riego pueden explicarse por la mejor movilización de nutrimentos minerales, y, principalmente por el estímulo para la floración y formación de frutos que se obtuvo por la acción del agua en medio de un período seco. (1).

En este experimento como en los otros indicados, la diferencia infundida por la fertilización nitrogenada, también fue significativa.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Cuadro No.5.— Producción con diferentes niveles de nitrógeno y potasio-Kgs. café Oro/Ha.

	Producción promedia					
Niveles	*1.959*	*1.960*	*1.961*	*1.962*	*1.963*	*1.959 - 1.963*
N0	*357.0*	*497.6*	*169.6*	*996.1*	*1.148.5 b*	*629.1 b*
N1	*264.0*	*653.2*	*292.6*	*1.130.8*	*1.947.8 a*	*857.3 ab*
N2	*415.0*	*763.4*	*296.6*	*1.461.9*	*2.263.9 a*	*1.039.6 a*
N3	*491.0*	*824.2*	*517.1*	*1.276.0*	*2.244.4 a*	*1.075.0 a*
N4	*531.6*	*777.0*	*354.3*	*1.292.8*	*2.284.8 a*	*1.048.3 a*
N5	*581.1*	*778.8*	*294.8*	*1.571.3*	*2.207.2 a*	*1.087.3 a*
K0	*415.9*	*790.2*	*331.6*	*1.285.0*	*2.175.5 a*	*999.7*
K1	*473.6*	*728.0*	*336.1*	*1.292.8*	*2.058.4 ab*	*977.5*
K2	*430.0*	*631.9*	*294.8*	*1.286.4*	*1.813.5 b*	*891.0*

1-2-3 diferentes grados de deficiencia de nitrógeno en hojas de café.

Ramilla **de cafeto deficiente** en nitrógeno.

Cuadro No. 6.— Producción promedia 1964 - 1965 en el experimento de riego y fertilización de café.

Trat.	*1**	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*Promedio riego*
*R0***	*1.301.0*	*1.863.8*	*1.534.1*	*1.663.8*	*958.5*	*964.8*	*726.7*	*1.287.3 b*
R1	*2.762.9*	*2.003.5*	*1.869.7*	*2.463.0*	*2.308.4*	*1.963.6*	*1.322.7*	*2.099.1 a*
R2	*1.907.4*	*2.711.2*	*1.724.1*	*2.254.8*	*2.038.5*	*2.300.6*	*1.610.3*	*2.078.1 a*
Prom. Fert.	*1.990.4*	*2.192.8*	*1.709.3*	*2.127.2*	*1.768.5*	*1.743.0*	*1.219.9*	
	a	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*ab*	*b*	

* *1=1 lb. urea en dos aplicaciones; 2=1 lb. urea en tres aplicaciones; 3=1-1/2 lbs. urea en dos aplicaciones; 4=1-1/2 lbs. urea en tres aplicaciones; 5=2 lbs. urea en dos aplicaciones; 6=2 lbs. en tres aplicaciones; 7=testigo.*

** *R0 = sin riego; R1 = 1 riego época seca; R2 = 2 riegos.*

No se obtuvo diferencia significativa entre las dosis de N, por lo tanto la más baja parece suficiente.

Puede apreciarse que cuando la urea se aplicó en tres fracciones, se obtuvieron en general promedios más altos que cuando la aplicación se hizo en sólo dos partes. Esto podría deberse a que la fracción correspondiente a Diciembre logró compensar la pérdida de nitrógeno del suelo debido al lavado ocasionado por las lluvias que casualmente comienzan en el mes indicado; con lo cual, las plantas que recibieron el fertilizante en 3 fracciones, dispusieron de niveles adecuados del nutriente por un espacio mayor de tiempo.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

SEGUNDA PARTE

CONTENIDOS DE NUTRIENTES MINERALES EN LAS HOJAS DE LOS CAFETOS DE LA ZONA DE QUEVEDO SOMETIDOS A LA FERTILIZACION QUIMICA Y SU RELACION CON LA COSECHA.

MATERIALES Y METODOS .

Se estudió la influencia de los tratamientos de fertilización a que fueron sometidos los cafetos de los experimentos de campo (descritos en la primera parte de este Boletin), sobre los contenidos de algunos minerales en sus hojas. Para el efecto, se analizaron (en el laboratorio) muestras foliares obtenidas de las plantas correspondientes a los diferentes tratamientos.

En los experimentos de campo 1 y 2, al principio las muestras se tomaron una sola vez al año, pero desde 1962 con el propósito de relacionar los contenidos periódicos de nitrógeno, fósforo y potasio de las hojas, con la producción de las plantas, las muestras del experimento 1 comenzaron a tomarse mensualmente. En el experimento 3 las muestras se tomaron mensualmente durante todo el período (Enero 1964 - Diciembre 1965), lo mismo en el experimento 4 (Agosto 1968 - Febrero 1969).

En este estudio se consideran las concentraciones foliares Independientes de cada nutriente mineral investigado, y también las concentraciones de cada uno de ellos en razón con otros elementos que tienen relación con su utilización en el metabolismo del vegetal.

La toma de las muestras foliares para el análisis químico se hizo de acuerdo con lo aconsejado por Chaverri y Bornemisza (5) es decir: se tomaron las cuartas hojas a partir de las yemas terminales, y las ramas escogidas fueron las de altura media. Se tomaron cuatro hojas de cada una de las nueve plantas de las parcelas, de modo que, cada muestra estuvo constituída por 36 hojas.

Los análisis químicos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro y manganeso, fueron realizados en nuestro laboratorio de análisis foliar según los métodos indicados en el Apéndice. Los análisis de zinc se efectuaron en uno de los laboratorios del Colegio Imperial de Agricultura de Trinidad y según el método de la Ditizona.

RESULTADOS Y DISCUSION.

CONTENIDOS FOLIARES INDEPENDIENTES.

Los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo y potasio de los cafetos que recibieron los diferentes tratamientos del experimento 1, aparecen en los cuadros 7 y 8. En los cuadros 9 y 10 se presentan los correspondientes al experimento 2.

De acuerdo con lo encontrado por Loué (16) y Borget et. al. (2) quienes también han correlacionado las concentraciones foliares del café Robusta con la producción; los cafetos, de los tres primeros experimentos del presente trabajo que no recibieron fertilización y que crecen bajo las condiciones naturales de la zona (ver plantas testigo de los cuadros 7, 9 y 11) tienen contenidos foliares adecuados de fósforo, potasio, calcio y magnesio y sólo los de nitrógeno son bajos.

Los tratamientos de fertilización del experimento 1, (cuadro 7) originaron variaciones significativas de los contenidos foliares de cualquiera de los minerales estudiados. La división de la suma de cuadrados de tratamientos practicada en el análisis estadístico de estos datos, (cuadro 8) permitió observar claramente que:

a.— Los tratamientos encerrando nitrógeno aumentaron los contenidos del elemento en las hojas, y por otro lado, disminuyeron los de fósforo y los de magnesio, pero no influyeron sobre los de potasio y calcio;

b.— Las aplicaciones de muriato de potasio elevaron los niveles de potasio de las hojas y, en cambio, disminuyeron los de calcio y magnesio.

Los resultados correspondientes al experimento 2 (cuadro 9 y 10) permitieron observar que los aumentos de los contenidos foliares de nitrógeno y potasio que se obtuvieron con las aplicaciones de los fertilizantes nitrogenado y potásico respectivamente, fueron proporcionales a las dosis aplicadas.

Los incrementos de los contenidos foliares de nitrógeno obtenidos con las aplicaciones del fertilizante nitrogenado eran de esperarse, toda vez que, como quedó indicado, es baja la disponibilidad del nutriente en el suelo, ya que la pérdida de la materia orgánica es acelerada bajo las condiciones tropicales en que se llevaron los experimentos. El hecho de haber conseguido con la fertilización nitrogenada nítidos aumentos de la cosecha

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

de las plantas de las cuales se tomaron las muestras (cuadro 2 a 6) prueba el déficit del nutriente en el suelo de los experimentos.

Resultados de ensayos realizados en el Salvador (10), Brasil (20) y Costa de Marfil (18), han demostrado también aumentos de la concentración de nitrógeno en las hojas de los cafetos con el elemento.

Espinoza (10) y por otro lado Huerta (15), han obtenido en experimentos similares, la misma disminución de los contenidos de fósforo por acción de la aplicación de urea que fue observada en el experimento 1.

CUADRO No. 8.— Efectos de nitrógeno y potasio sobre los contenidos de minerales en las hojas de los cafetos del experimento 1.

Tratamientos		N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)
Con	N	2.705^{oo}	0.126	1.63	1.76	0.362
Sin	N	2.275	0.140^{o}	1.58	1.78	0.385^{oo}
Con	K	——	——	1.67^{oo}	1.63	0.365
Sin	K	——	——	1.54	1.90^{oo}	0.380^{oo}

*CUADRO No. 7.— Contenidos promedios * de algunos minerales - en % de la meteria seca-y sus relaciones, en las hojas de los cafetos del experimento 1.*

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	N/P	N/K	N/Mg	K/Ca+Mg
T	2.22	0.139	1.51	1.90	0.404	15.8	1.48	3.78	0.66
N	2.71	0.128	1.55	1.94	0.382	21.2	1.75	4.10	0.67
P	2.30	0.142	1,54	1.92	0.395	16.3	1.49	3.95	0.67
K	2.27	0.142	1.64	1.56	0.385	16.0	1.56	4.30	0.85
NP	2.70	0.125	1.57	1.86	0.356	21.6	1.72	4.36	0.71
NK	2.70	0.123	1.71	1.49	0.351	22.0	1.58	4.90	0.93
PK	2.31	0.138	1.67	1.73	0.372	16.7	1.38	4.50	0.80
NPK	2.71	0.127	1.70	1.74	0.363	21.4	1.60	4.75	0.80
D.M.S. 0.01	0.17	0.015	0.10	0.22	0.030				
0.05	0.13	0.011	0.08	0.18	0.023				
C.V. (%)	4.74	7.60	4.53	11.0	7.00				

* *Cada cifra de N, P y K es un promedio de los análisis de 52 muestras: 4 tomadas anualmente de 1958 a 1961 y 48 tomadas mensualmente de Enero de 1962 a Diciembre de 1965, las de Ca y Mg son promedios de los análisis de 24 muestras tomadas mensualmente durante 1963 y 1964.*

Esta disminución de la concentración del fósforo, así como la de magnesio foliares, por acción del nitrógeno aplicado, podría deberse a la mayor cantidad de materia seca que la planta es capaz de sintetizar una vez corregida la deficiencia de nitrógeno. El fósforo o el magnesio asimilados por los cafetos, en estas condiciones debe invertirse en un volumen mucho mayor de materia seca, y por tanto sus cantidades por cada unidad de ésta (concentración) quedarán disminuídas. La disminución indicada, también podría explicarse por una mayor movilización del fósforo y del magnesio de los tejidos de reserva de las hojas, para su utilización por la planta en la formación de una cosecha que, como quedó indicado, fue mucho mayor en las plantas fertilizadas con urea.

Aunque esta disminución de los contenidos de fósforo y magnesio en las hojas por efecto del nitrógeno, fue estadísticamente significativa, no llevó dichos niveles a una condición crítica. Así lo demuestra, para el caso del fósforo, el hecho de no haberse conseguido aumentos significativos, sobre los obtenidos con sólo nitrógeno, de los contenidos foliares del elemento ni de la cosecha, por la fertilización combinada nitrógeno-fósforo, y también puede probarse comparando los indicados niveles con los obtenidos por otros investigadores (2 y 16) que trabajaron con la misma variedad de café.

Estos hechos corroboraron los resultados del análisis químico del suelo del experimento que indican una adecuada disponibilidad de fósforo y de magnesio.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

CUADRO No. 9.— *Contenidos foliares en los cafetos del experimento 2* *

Tratamientos	N (%)	P (%)	K(%)
N0K0	2.15	0.134	1.45
N1K0	2.49	0.131	1.43
N2K0	2.70	0.112	1.45
N3K0	2.71	0.123	1.39
N4K0	2.81	0.126	1.35
N5K0	2.81	0.111	1.40
N0K1	2.14	0.128	1.42
N1K1	2.53	0.115	1.43
N2K1	2.67	0.117	1.47
N3K1	2.69	0.121	1.48
N4K1	2.75	0.108	1.46
N5K1	2.79	0.109	1.59
N0K2	2.19	0.129	1.51
N1K2	2.55	0.109	1.52
N2K2	2.71	0.118	1.52
N3K2	2.78	0.106	1.51
N4K2	2.74	0.109	1.53
N5K2	2.83	0.112	1.48
D.M.S. 0.05	0.38	0.014	0.08
0.01	0.51	0.019	0.11
C.V. (%)	11.60	9.70	4.00

* *Cada cifra es un promedio de los análisis de 27 muestras: 3 tomadas anualmente de 1959 a 1961 y 24 tomadas mensualmente de Enero de 1962 a Diciembre de 1963.*

CUADRO No. 10.— *Efectos individuales de los tratamientos de fertilización sobre los contenidos foliares de nutrientes.*

Tratamientos	N(%)	Tratamientos	K (%)
N0	2.160	K0	1.41
N1	2.523	K1	1.47
N2	2.693	K2	1.52
N3	2.727		
N4	2.767		
N5	2.810		

La disminución de los contenidos foliares de magnesio y especialmente de calcio, que como ya quedó indicado, es atribuíble al antagonismo calcio, magnesio, potasio; podría ser la causa básica del decremento de la cosecha por el efecto de la fertilización potásica (cuadros 3 y 5).

En relación con ésto, Fiester (11) estudiando las causas de la deficiencia de magnesio en cafetos cultivados en Costa Rica, encontró que una fuerte fertilización con potasio elevó el nivel del nutriente en el suelo y en las hojas de los cafetos; pero al mismo tiempo, originó la aparición de los síntomas de deficiencia de magnesio. El mismo efecto fue encontrado por Cibes y Samuels (4) en cafetos que hicieron crecer en soluciones nutritivas; pero encontraron además que cuando habían contenidos altos de potasio en las hojas, las plantas presentaban síntomas de deficiencia de calcio.

Los promedios del cuadro 11, obtenidos del análisis foliar de las muestras tomadas del experimento 3, muestran el mismo aumento de los contenidos foliares de nitrógeno por acción de la fertilización nitrogenada que se observó en los otros dos experimentos. Pero dichos promedios no permiten observar los aumentos de los contenidos foliares de nitrógeno que se esperaban por acción combinada del riego y la fertilización. Sin embargo observando las variaciones mensuales de estos contenidos, que se presentan en la tercera parte de este Boletín, puede verse la influencia indicada.

En el cuadro 11 es importante también observar que, de acuerdo con los patrones establecidos en otras investigaciones realizadas con la misma variedad de café en otros países (14 y 17) los contenidos foliares de manganeso encontrados en las plantas del experimento 3 fueron bajos, y ello guarda relación con síntomas que se habían visto en la zona y que se atribuían a la deficiencia de este micronutriente. Estos hechos influyeron en la iniciación del experimento 4.

Los resultados del análisis químico de las muestras foliares tomadas en el experimento 4 (cuadros 12 y 13) muestran, de acuerdo con los patrones indicados, que los cafetos que crecen en las condiciones naturales de la Hda. "Coffea Robusta" (plantas sin fertilización) tienen en sus hojas contenidos adecuados de hierro y contenidos de zinc cerca del nivel de deficiencia. En cuanto a las concentraciones de manganeso, aunque sobre la base de dichos patrones, parecen encontrarse encima los niveles de deficiencia; sin embargo, el hecho de haberse observado en las plantas del experimento síntomas que disminuyeron con las aplicaciones de manganeso (cuadro 14), indicaría que, en las condiciones de la zona, el el nivel de deficiencia del elemento es algo mayor que el encontrado en las investigaciones citadas.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

CUADRO No. 11.— Contenidos foliares de los cafetos del ensayo de riego y fertilización nitrogenada (Experimento 3)

Contenidos foliares		TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION 1	2	3	4	5	6	7	Prom. Riego
	Sin Riego	2.605 *	2.587	2.517	2.593	2.485	2.416	2.414	2.517
N	1 Riego	2.536	2.481	2.649	2.635	2.576	2.644	2.350	2.553
	2 Riegos	2.543	2.471	2.588	2.505	2.537	2.586	2.288	2.502
	Prom. Fert.	2.561	2.513	2.585	2.578	2.533	2.549	2.351	
	S. R.	0.118	0.133	0.117	0.127	0.118	0.113	0.126	0.122
P	1 R.	0.130	0.129	0.117	0.118	0.127	0.127	0.122	0.124
	2 R.	0.125	0.123	0.123	0.129	0.121	0.120	0.123	0.123
	Prom. Fert.	0.124	0.128	0.119	0.125	0.122	0.120	0.124	
	S. R.	1.38	1.52	1.53	1.45	1.56	1.57	1.47	1.50
K	1 R.	1.62	1.58	1.40	1.46	1.54	1.54	1.46	1.50
	2 R.	1.43	1.51	1.48	1.53	1.62	1.51	1.23	1.51
	Prom. Fert.	1.48	1.54	1.47	1.48	1.57	1.54	1.39	
	S. R.	1.96	1.84	1.77	1.93	1.90	2.02	1.92	1.91
Ca	1 R.	1.99	1.89	1.77	1.86	1.79	1.86	1.86	1.86
	2 R.	1.85	1.87	1.75	1.77	1.90	1.75	1.82	1.82
	Prom. Fert.	1.93	1.87	1.76	1.85	1.86	1.88	1.87	
	S. R.	0.326	0.285	0.300	0.276	0.274	0.275	0.327	0.295
Mg.	1 R.	0.286	0.257	0.297	0.308	0.244	0.282	0.282	0.286
	2 R.	0.296	0.307	0.323	0.311	0.248	0.286	0.328	0.298
	Prom. Fert.	0.303	0.283	0.307	0.298	0.255	0.281	0.312	
	S. R.	43	12	37	14	20	27	17	24
Mn.	1 R.	9	13	21	32	19	36	25	22
	2 R.	20	10	18	13	16	20	36	19
	Prom. Fert.	24	12	25	20	18	28	26	

* *Los contenidos de nitrógeno son promedios de los análisis de muestras tomadas mensualmente durante dos años (1964-1965); los de los otros elementos lo son de sólo un año (1964).*

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Los datos de los cuadros 12 y 13 indican, además, que las aplicaciones de manganeso no sólo disminuyeron los síntomas de deficiencia sino que también aumentaron los contenidos del micronutriente en las hojas de las plantas tratadas. Aunque en este aspecto los tratamientos al suelo (cuadro 13) fueron mucho menos eficientes; las dosis altas, lograron aumentar los niveles foliares de de manganeso y disminuír los de su antagónico hierro (12 y 21) lo suficiente para llevar la relación Fe/Mn en los tejidos, a una condición más adecuada para la utilización de ambos nutrientes en el metabolismo del vegetal (14, 18 y 24).

1 Ramilla de cafeto normal.
2 Ramilla de cafeto deficiente en Zinc.

*CUADRO No. 12.— Contenidos foliares - en p.p.m.- de hierro, manganeso y zinc, de los cafetos que recibieron los tratamientos al follaje, en el experimento 4**

	DOSIS BAJA				DOSIS ALTA			
Tratam.	Fe	Mn	Zn	Fe/Mn	Fe	Mn	Zn	Fe/Mn
Testigo	153.00 a	48.71 b	11.0 b	3.14	141.42 cd	47.57 bc	7.0 b	2.97
Fe	189.60 a	50.71 b	9.5 b	3.74	246.78 a	27.43 c	8.5 b	9.00
Mn	155.46 a	82.00 a	10.0 b	1.89	179.34 bc	105.46 a	12.5 b	1.69
Zn	139.26 b	48.86 b	139.0 a	2.85	119.18 d	34.00 c	162.0 a	3.50
Fe - Zn	180.98 a	59.86 ab	95.0 a	3.02	213.12 a	31.86 c	162.0 a	6.69
Zn - Mn	178.34 a	71.57 ab	103.5 a	2.49	149.52 cd	81.29 ab	171.5 a	1.84

* *Cada cifra de Fe y Mn es un promedio de los análisis de muestras tomadas mensualmente de Agosto de 1968 a Febrero de 1969. Los de Zn lo son de muestras tomadas sólo en Agosto y Noviembre de 1968.*

*CUADRO No. 13.— Contenidos foliares - en p.p.m.- de hierro, manganeso y zinc, de los cafetos que recibieron los tratamientos al suelo, en el experimento 4**

	DOSIS BAJA				DOSIS ALTA			
Tratamiento	Fe	Mn	Zn	Fe/Mn	Fe	Mn	Zn	Fe/Mn
Testigo	147.12	48.14	9.0	3.06	147.12 ab	48.14	9.0	3.06
Fe	174.20	48.14	8.5	3.62	141.14 b	30.86	8.0	4.57
Mn	158.22	49.29	8.0	3.21	133.98 b	53.29	9.5	2.51
Zn	154.68	39.71	8.0	3.89	136.78 b	38.14	10.0	3.59
Fe + Zn	153.28	56.14	10.0	2.73	160.26 b	45.57	11.5	3.52
Zn + Mn	145.06	39.14	8.5	3.71	137.42 b	52.86	13.0	2.60

* *Cada cifra de Fe y Mn es un promedio de los análisis de muestras tomadas mensualmente de Agosto de 1968 a Febrero de 1969. Los Zn lo son de muestras tomadas sólo en Agosto y Noviembre de 1968.*

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

De igual manera que para el manganeso, para el caso del zinc, aunque, tanto las aspersiones como los tratamientos al suelo mejoraron los síntomas de las plantas, sólo las aspersiones aumentaron considerablemente los contenidos foliares del elemento y, en este caso, dichos aumentos fueron tan altos que bien podría sospecharse que parte del zinc detectado por el análisis químico fue el que quedó adherido a la superficie de las hojas; a pesar de que, como se indicó en materiales y métodos, en la operación de lavado, las hojas se trataron con una solución al 1 °/o de ácido clorhídrico.

1 Ramilla de cafeto deficiente en Mn.
2 Ramilla de cafeto normal.

*CUADRO No. 14.— Calificaciones promedias * de los síntomas de deficiencia en los cafetos tratados con quelatos metálicos del experimento 4.*

	Aspers. al follaje		Aplicaciones al suelo	
	dosis	dosis	dosis	dosis
Tratamts.	baja	alta	baja	alta
Testigo	2.86	2.94	3.37	3.74
Fe	2.41	2.73	2.16	2.93
Mn	2.10	2.54	2.29	2.24
Zn	2.09	2.20	2.30	2.37
Fe+Zn	2.23	2.49	2.21	2.29
Zn+Mn	2.29	2.11	2.27	2.18

* *En una escala arbitraria del 1 al 5.*

Los datos del cuadro 14 demuestran que, en los tratamientos al suelo, no sólo las aplicaciones de los elementos deficientes sino también los de hierro disminuyeron los síntomas de deficiencia. Este resultado que no era de esperarse, ya que una mayor concentración de hierro en el suelo aumentaría el desbalance Fe/Mn favoreciendo la deficiencia de manganeso (24), podría deberse a las peculiares características del quelato (25) usado en este trabajo como fuente de micronutrientes. Un resultado igualmente contradictorio fue conseguido por Medcalf y Lott (22) cuando en un experimento similar realizado en el Brasil con café Arábica, obtuvieron disminución de síntomas de deficiencia de hierro por aplicaciones de quelato de manganeso al suelo.

Las aplicaciones de quelatos realizadas por los mencionados autores y por otro lado por Holmes y Brown citados por Medcalf y Lott (22) inclusive han resultado en disminución de la absorción del manganeso por parte de las plantas a tal punto que podría ser un posible método para contrarrestar la toxicidad debida al exceso del mineral en el suelo.

CONTENIDOS PROPORCIONALES DE LOS NUTRIENTES MINERALES.

Algunos investigadores entre ellos Molle, citado por Espinoza (9) sostienen que resulta más importante en la nutrición del cafeto, las relaciones proporcionales que existen entre las concentraciones de los nutrientes minerales en los tejidos de estas plantas, que dichos contenidos considerados independientemente.

En el presente acápite se exponen los resultados del estudio de dichas proporciones en los tejidos foliares de los cafetos experimentales correspondientes al experimento No. 1 (cuadro 7). Esto servirá para conocer cuáles son las proporciones, que en las condiciones ecológicas de Quevedo, se corresponden con una buena producción de los cafetos y cuáles las que corresponden a las plantas de producción deficiente. Al mismo tiempo se compararan con las proporciones que, de acuerdo con otras investigaciones, deberían existir para una buena producción de estas plantas.

Debido a los contenidos más altos de nitrógeno en las plantas tratadas con urea, las relaciones N/P en dichas plantas son también más altas que en las plantas no tratadas e indudablemente más convenientes, puesto que al mismo tiempo corresponden a las plantas de producción superior (ver cuadro 2). Los valores aquí obtenidos de dichas relaciones en las plantas de alta producción coinciden bien con los obtenidos por Loué, citado por

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

van Dierendonck (26) también de cafetos de la variedad Robusta altamente productivos, que crecen en Costa de Marfil.

Las relaciones N/K también fueron más altas en las plantas tratadas con urea. Dicha relación en los cafetos más altamente productivos (los tratados con NP) fue de 1.72, mientras las correspondientes a las plantas de más baja cosecha estuvieron, en general, por debajo de 1.50.

El valor de la relación K/Mg en las plantas más productivas fue 4.36 el cual se aproxima a 4.0, valor considerado por Loué, citado por Malavolta (19) como indicador de una buena condición de equilibrio entre los 2 nutrientes en las hojas de café Robusta. Los tratamientos con muriato de potasio elevaron un poco el valor de esta razón.

En lo concerniente al equilibrio entre Calcio, Magnesio y Potasio, los resultados del presente trabajo dieron un valor de 0.71 para la razón K/Ca-Mg en las plantas de mayor producción. Esta cifra concuerda bien con la encontrada por Loué, citado por van Dierendonck (16) en cafetos altamente productivos. Los tratamientos con potasio elevaron también esta razón, con lo que el valor promedio en las plantas fertilizadas con muriato de potasio estuvo más cerca de 0.9, valor considerado por Molle, también citado por van Dierendonck (26) como indicador de desequilibrio, originado por una excesiva asimilación de potasio.

De lo indicado puede concluírse que los cafetos que crecen en condiciones naturales en la zona (plantas testigo) tienen en sus tejidos una cantidad desproporcionadamente alta de fósforo y potasio en relación con nitrógeno, lo cual parece constituír la causa básica de la baja producción de estos cafetos. La fertilización con nitrógeno restablece en buena forma el equilibrio y aumenta la cosecha.

Las aplicaciones de muriato de potasio rompieron el equilibrio K/Ca-Mg por una apreciable disminución del calcio y magnesio foliares aparte del aumento de potasio que ocurrió en dicha fertilización.

RELACIONES DE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO DE LOS CAFETOS CON SU PRODUCCION.

En el cuadro 15 se presentan los coeficientes de correlación calculados para evaluar las relaciones entre los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio detectados mes a mes durante los años 1962 a 1964 en las hojas de los cafetos del experimento 1, y la producción de dichas plantas en los años respectivos.

Como puede verse, los coeficientes muestran que la cosecha guardó relación directa con el nivel de nitrógeno detectado en las hojas muestreadas en casi cualquiera de los meses de los años 1962 y 63; en 1964 dicha relación fue menos estrecha pero se mantuvo la tendencia indicada. Aunque las probabilidades de que un alto contenido de fósforo en las hojas se corresponda con una producción baja, en general, no fueron suficientemente altas para alcanzar coeficientes significativos; la tendencia fue constante y se manifestó en casi cualquiera de los meses, en los 3 años. En el caso del potasio las relaciones en ningún caso llegaron a ser estadísticamente significativas, pero la tendencia también se manifestó casi siempre.

En el cuadro 16 puede verse que cuando la relación de los contenidos foliares de nutrientes se hace con la cosecha futura (del año próximo inmediato) los resultodos son similares a los que se obtienen cuando la relación se hace con la producción del mismo año.

De todo lo expuesto puede decirse que al encontrar, por medio del análisis químico, un elevado contenido de nitrógeno en las hojas de los cafetos que crecen en la zona de Quevedo, existe una alta posibilidad de que dichas plantas produzcan una elevada cosecha. El hallazgo de contenidos altos de fósforo y/o potasio indicaría, en cambio, aunque con menor certeza, que la cosecha sería baja.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

CUADRO No. 15.– Coeficientes de correlación entre los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo y potasio y la producción de los cafetos del experimento 1.

		FACTORES DE CORRELACION											COEFICIENTES TABULARES *	
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1962												
Prod.	Trat.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	r 0.05	r 0.01
1962	N	0.60	0.52	0.86^{oo}	0.79^{o}	0.67^{o}	0.77^{o}	0.53	0.88^{oo}	0.47	0.90^{oo}	0.60	0.67	0.80
	P	-0.59	-0.62	0.02	-0.50	-0.50	-0.48	-0.60	-0.63	-0.54	-0.56	-0.76^{o}	0.67	0.80
	K	-0.09	-0.29	———	0.33	———	———	———	0.33	———	0.12	0.56	0.67	0.80
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1963												
1963	N	0.60^{oo}	0.70^{oo}	0.72^{oo}	0.57^{o}	0.48^{o}	0.44	0.07	0.62^{oo}	0.56^{o}	0.55^{o}	0.36	0.47	0.59
	P	-0.31	-0.42	-0.40	-0.57^{o}	-0.58^{o}	-0.50^{o}	-0.48^{o}	-0.40	-0.44	-0.40	-0.40	0.47	0.59
	K	-0.12	-0.20	-0.05	-0.26	-0.12	-0.15	0.32	-0.27	-0.41	0.19	-0.38	0.47	0.59
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1964												
1964	N	0.40	0.46	0.71^{o}	0.47	0.38	0.44	0.43	0.52	0.53	0.48	0.54	0.67	0.80
	P	-0.44	-0.66	-0.19	-0.70^{o}	-0.40	-0.06	-0.64	-0.52	-0.32	-0.84	-0.47	0.67	0.80
	K	-0.23	-0.55	-0.21	-0.26	-0.48	-0.14	-0.16	-0.04	0.19	———	———	0.67	0.80

* En 1962 y 1964 se analizaron muestras de 8 parcelas (las correspondientes a una repetición del experimento) y sus contenidos de N, P, K se relacionaron con las cosechas obtenidas de esas mismas parcelas; en 1963 se consideraron 16 parcelas.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

CUADRO No. 16.— Coeficientes de correlación entre los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo y potasio y la producción de los cafetos del experimento 1.

FACTORES DE CORRELACION												COEFICIENTES TABULARES *	
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1962											
Prod.	Trat.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agt.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	r 0.05	r 0.01
1963	N	0.22	0.83^{oo}	0.29	0.85^{oo}	0.20	0.59	0.69^{o}	0.70^{o}	0.79^{o}	0.71^{o}	0.28	0.67	0.80
	P	-0.51	-0.52	-0.40	-0.36	-0.67^{o}	-0.44	-0.80^{oo}	-0.45	0.47	-0.41	-0.19	0.67	0.80
	K	-0.031	0.59	-0.27	———	———	———	———	-0.057	-0.37	-0.33	0.11	0.67	0.80
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1963												
1964	N	0.41	0.64^{o}	0.56^{o}	0.65^{o}	0.53^{o}	0.57^{o}	0.22	0.67^{o}	0.67^{o}	0.68^{o}	0.39	0.47	0.69
	P	-0.46	-0.56^{o}	-0.40	-0.55^{o}	-0.60^{o}	-0.49^{o}	-0.28	-0.46	-0.45	-0.41	-0.07	0.47	0.69
	K	-0.07	0.00	0.23	0.46	0.37	0.41	0.35	-0.15	0.08	0.38	0.25	0.47	0.69
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1964												
1965	N	0.45	0.56	0.36	0.30	0.69^{o}	0.68^{o}	0.64	0.67^{o}	0.60	0.67^{o}	0.68^{o}	0.67	0.80
	P	-0.25	-0.51	-0.72^{o}	-0.61	-0.42	-0.29	-0.37	-0.77^{o}	-0.52	-0.56	-0.63	0.67	0.80
	K	-0.06	-0.44	-0.53	0.45	-0.51	-0.56	-0.16	-0.23	0.14	———	———	0.67	0.80

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

CUADRO No. 16.— Coeficientes de correlación entre los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo y potasio y la producción de los cafetos del experimento 1.

		FACTORES DE CORRELACION											COEFICIENTES TABULARES *	
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1962												
Prod.	Trat.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agt.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	r 0.05	r 0.01
1963	N	0.22	0.83^{oo}	0.29	0.85^{oo}	0.20	0.59	0.69^{o}	0.70^{o}	0.79^{o}	0.71^{o}	0.28	0.67	0.80
	P	-0.51	-0.52	-0.40	-0.36	-0.67^{o}	-0.44	-0.80^{oo}	-0.45	0.47	-0.41	-0.19	0.67	0.80
	K	-0.031	0.59	-0.27	———	———	———	———	-0.057	-0.37	-0.33	0.11	0.67	0.80
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1963												
1964	N	0.41	0.64^{o}	0.56^{o}	0.65^{o}	0.53^{o}	0.57^{o}	0.22	0.67^{o}	0.67^{o}	0.68^{o}	0.39	0.47	0.69
	P	-0.46	-0.56^{o}	-0.40	-0.55^{o}	-0.60^{o}	-0.49^{o}	-0.28	-0.46	-0.45	-0.41	-0.07	0.47	0.69
	K	-0.07	0.00	0.23	0.46	0.37	0.41	0.35	-0.15	0.08	0.38	0.25	0.47	0.69
		CONTENIDOS FOLIARES MENSUALES EN 1964												
1965	N	0.45	0.56	0.36	0.30	0.69^{o}	0.68^{o}	0.64	0.67^{o}	0.60	0.67^{o}	0.68^{o}	0.67	0.80
	P	-0.25	-0.51	-0.72^{o}	-0.61	-0.42	-0.29	-0.37	-0.77^{o}	-0.52	-0.56	-0.63	0.67	0.80
	K	-0.06	-0.44	-0.53	0.45	-0.51	-0.56	-0.16	-0.23	0.14	———	———	0.67	0.80

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

TERCERA PARTE

VARIACION ESTACIONAL DE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO.

El estudio de los contenidos de nutrientes minerales en las muestras foliares tomadas mensualmente del experimento 1 sirvió también para conocer las variaciones de estas concentraciones a través de los meses del año.

Observaciones de la pluviosidad realizadas paralelamente al estudio indicado, sirvieron para determinar, principalmente, la influencia que tienen las variaciones de la disponibilidad de agua sobre la nutrición mineral del cafeto en las condiciones de la zona de Quevedo.

En las figuras 1,2 y 3 se pueden apreciar las variaciones de las concentraciones foliares de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, de las plantas testigo y de las que recibieron tratamientos incluyendo dichos elementos.

Tanto en el caso del nitrógeno como del fósforo y potasio los contenidos foliares de las plantas testigo y también de las que recibieron tratamientos con los respectivos nutrientes, fueron más altos en la época de lluvias y disminuyeron a medida que entraba la época seca.

Otros investigadores (5, 10 y 18) trabajando en condiciones similares, encontraron iguales resultados y los atribuyeron al déficit de agua en la época seca. Espinosa (10) opina que estas variaciones están determinadas no sólo por el cambio de la disponibilidad de agua sino también por la variación de los requerimientos de dichos nutrientes, a través de la maduración de los frutos.

En los gráficos 2 y 3 puede verse, que en los casos del fósforo y potasio, los contenidos foliares de los cafetos tratados siguen una curva similar a la de los no tratados, denotando la poca influencia de dichos tratamientos; en cambio, en el caso del nitrógeno el gráfico 1 demuestra un marcado efecto de la fertilización sobre las concentraciones foliares del elemento, a través de todo el tiempo en que se realizó el estudio.

En los gráficos 2 y 3 puede apreciarse además que, aunque los promedios de los contenidos foliares de fósforo y potasio fueron adecuados (ver cuadro 7) dichos contenidos llegaron a ser bajos al finalizar la época seca, inclusive en los cafetos tratados con los respectivos nutrientes. Sin embargo, el hecho de haberse encontrado, en este mismo trabajo, relaciones inversas entre dichas concentraciones y la producción de los cafetos (cuadros 15 y 16) hace pensar que la disminución de los niveles en época seca no tiene repercución en la cosecha. Esta suposición podría respaldarse en el hecho de que esta época corresponde al tiempo de recolección de la cosecha, de tal manera que los bajos contenidos de minerales en las hojas en esta época son más bien, en parte, una consecuencia de translocación de minerales que se realizó, en los meses anteriores desde ellas para la formación y maduración de esta cosecha. En relación con ésto, Medcalf y col., citado por Malavolta y col. (19), trabajando en el Brasil con café de la variedad Arábica, demostraron que el contenido de nitrógeno del tercer par de hojas descendía de 4.10 ^{o}/o a 2.85 ^{o}/o durante la época de maduración de la cosecha.

En cuanto comenzó la siguiente época de lluvias, la planta inició la absorción y acumulación de los minerales necesarios para la formación de la producción del nuevo año, y lo hizo de tal forma, que rápidamente se alcanzaron (como en la época de lluvias del año anterior) niveles adecuados de fósforo y potasio en las hojas, inclusive de las plantas testigo. Esto último, que denota una buena disponibilidad de estos nutrientes en el suelo, coincide con lo encontrado por medio del análisis químico del suelo.

En la gráfica 4 se puede apreciar que los contenidos de nitrógeno en las hojas de los cafetos bajo riego del experimento 3, en la época seca fueron inferiores a los de las plantas testigo (no regadas ni fertilizadas). Es decir, el riego disminuyó los contenidos de nitrógeno de las hojas de estos cafetos. En cambio, las plantas a las que se aplicó urea y las que recibieron tratamientos combinados de urea y riego, tuvieron, como era de esperarse, concentraciones más altas de nitrógeno que las que no recibieron tratamiento alguno.

Posiblemente esta disminución de los niveles foliares de nitrógeno que se obtuvo cuando se realizó el riego independientemente de la fertilización, se debe a que la producción de los cafetos bajo el tratamiento indicado fue mayor que los testigo (ver cuadro 6). En estas circunstancias, la planta exigió una mayor movilización del nutriente desde los tejidos de reserva de las hojas para la formación de una cosecha más voluminosa (3).

Cuando junto con el riego se practicó la fertilización con urea; se obtuvieron los mejores resultados: los contenidos foliares del elemento se mantuvieron en niveles adecuados tanto en época lluviosa como en época seca.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

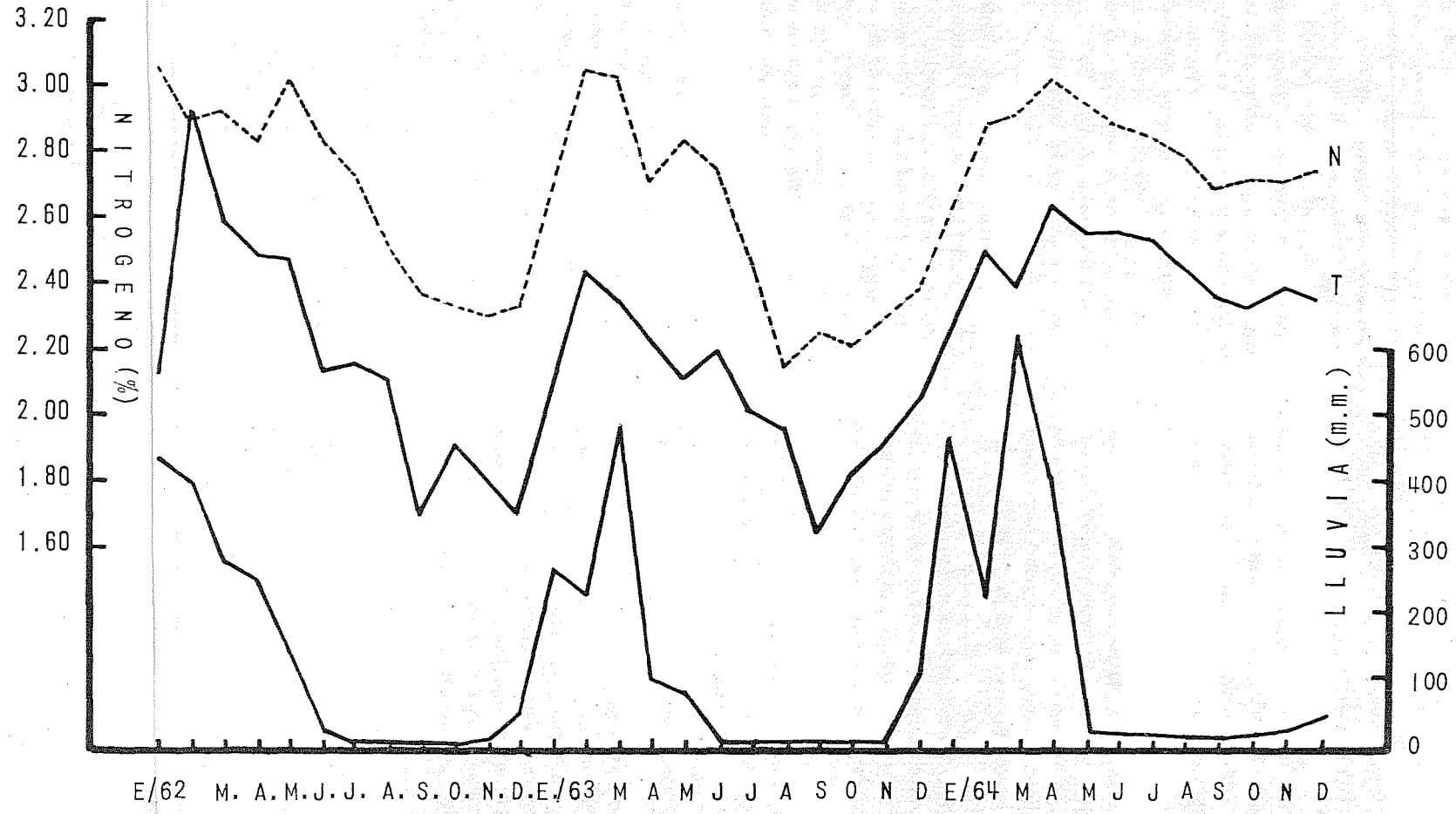

GRAFICO No. 1.— VARIACIONES MENSUALES DE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE NITROGENO EN CAFETOS TRATADOS CON EL ELEMENTO Y EN CAFETOS SIN TRATAMIENTO.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

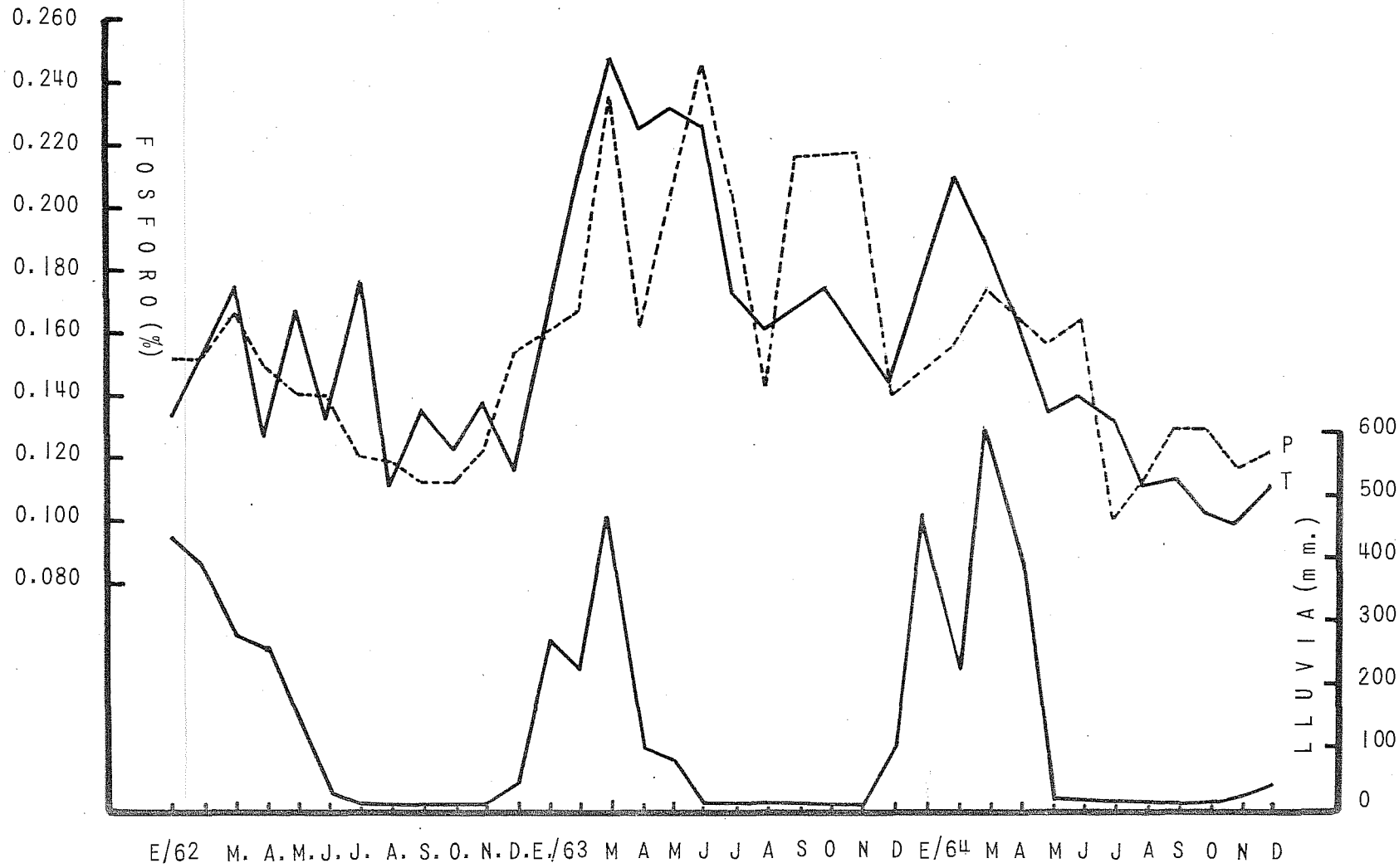

GRAFICO No. 2.— VARIACIONES MENSUALES DE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE FOSFORO EN CAFETOS TRATADOS CON EL ELEMENTO Y EN CAFETOS SIN TRATAMIENTO.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

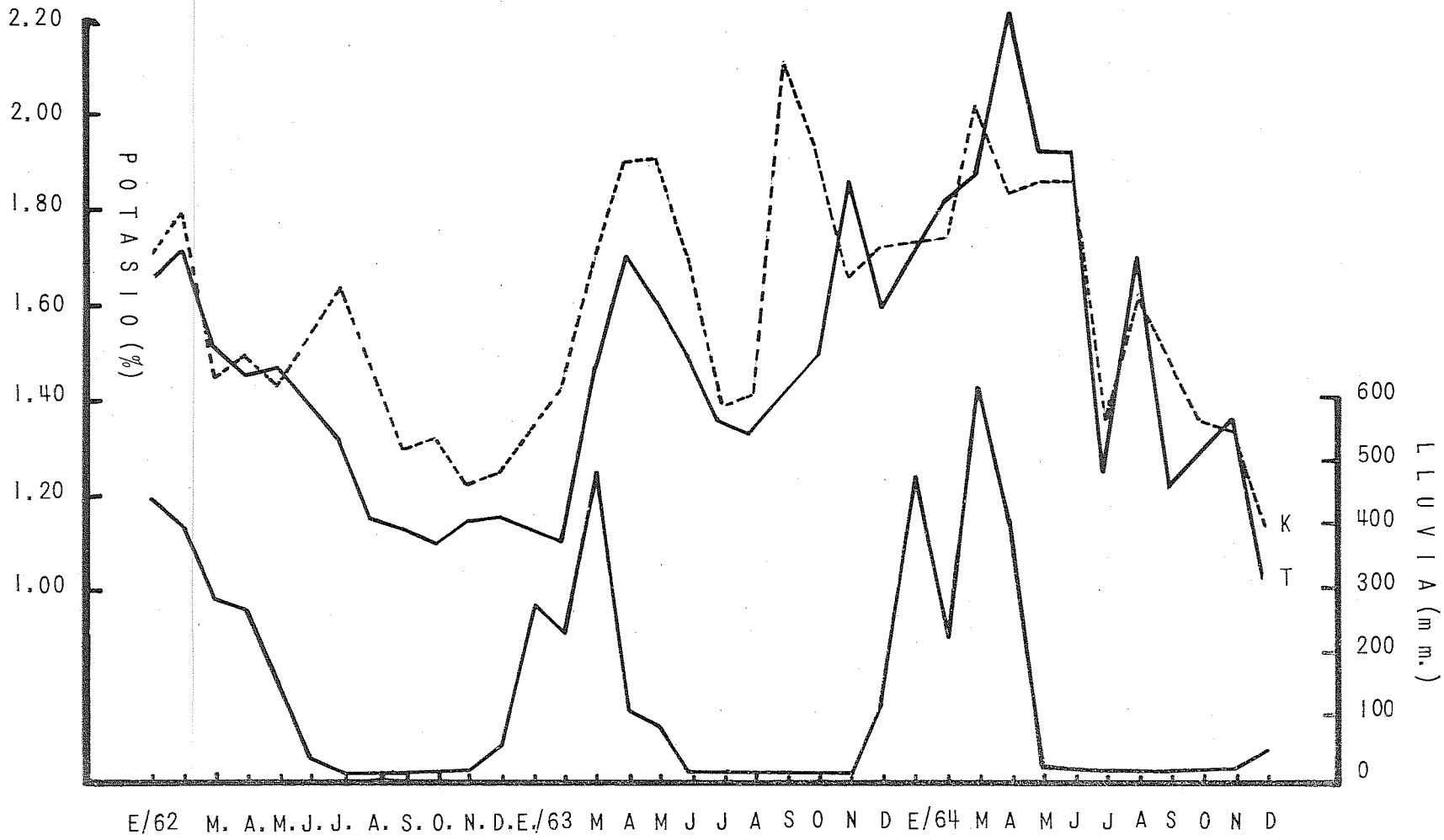

GRAFICO No. 3.— VARIACIONES MENSUALES DE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE POTASIO EN CAFETOS TRATADOS CON EL ELEMENTO Y EN CAFETOS SIN TRATAMIENTO.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

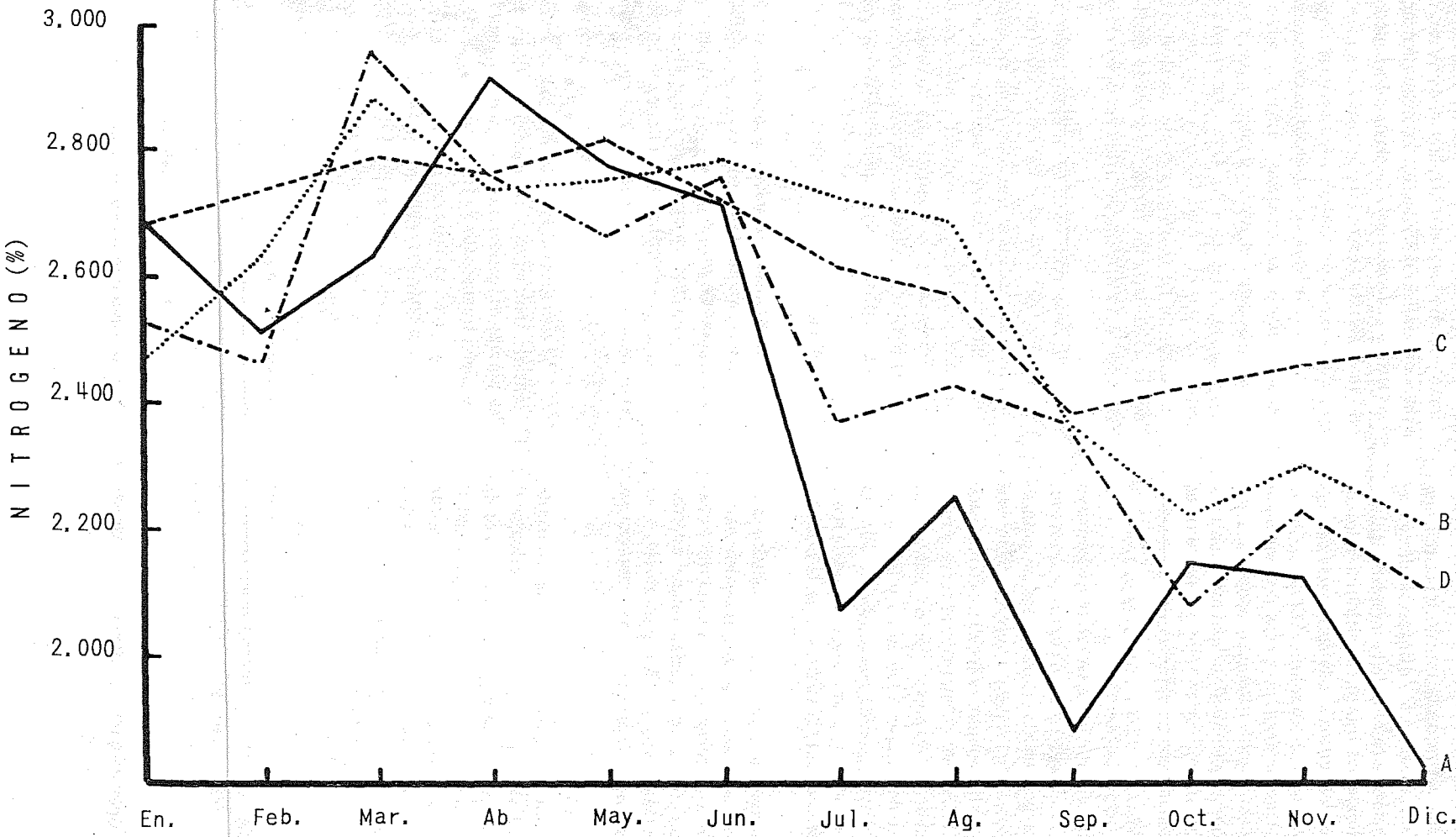

GRAFICO No. 4.— VARIACIONES DURANTE EL AÑO 1.964, DE LOS CONTENIDOS FOLIARES DE NITROGENO EN LOS CAFETOS TRATADOS: A.- CON RIEGO; B.- CON UREA; C.- CON RIEGO+UREA, Y D.- EN CAFETOS SIN TRATAMIENTO.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

CONCLUSIONES.

Los resultados del presente trabajo muestran una clara influencia beneficiosa de la fertilización nitrogenada sobre la producción de cafetos de la variedad "Robusta" en Quevedo, influencia que puede atribuírse a los altos requerimientos del cultivo y a la deficiencia del nutriente en los suelos de la indicada zona. El hecho de no haberse obtenido con las dosis más altas del nutriente aumentos de cosecha significativamente mayores a los que se consiguieron al aplicar la dosis más baja ensayada (1 lb. de urea/planta/año), sugiere que probando dosis menores podría encontrarse una práctica de fertilización aún más económica.

La fertilización con potasio, en cambio, disminuye la producción de cafetos en las condiciones de Quevedo, lo cual se explica por los altos contenidos de potasio disponible, que por su naturaleza volcánica, tiene este suelo. Debido a dicha riqueza, la fertilización potásica acentuó el antagonismo del potasio con el calcio y magnesio, obstaculizando su absorción por las plantas; los contenidos foliares de potasio aumentaron y las de calcio y magnesio disminuyeron, resultando de ello un rompimiento del equilibrio K/Ca - Mg, que podría ser la causa básica de la indicada disminución de la cosecha.

De acuerdo con los experimentos realizados con café Robusta en otros países, los cafetos de esta variedad que crecen sin fertilización y en las condiciones naturales de Quevedo, tienen contenidos foliares adecuados de fósforo, potasio, hierro, calcio y magnesio; y en cambio los contenidos de nitrógeno, zinc y manganeso son bajos.

La fertilización con nitrógeno aumenta los contenidos del elemento al mismo tiempo que disminuye el fósforo en las hojas de los cafetos; con lo que el valor de la razón N/P aumenta. Dicho aumento al igual que el aumento de la razón N/K que se consigue con la misma práctica, determina un mejor equilibrio nutricional que puede ser la causa básica de los incrementos de cosecha, que se obtienen en las plantas tratadas con nitrógeno.

La estrecha relación encontrada entre los contenidos de nitrógeno de las hojas y la producción de los cafetos permite afirmar que en las condiciones del medio, el análisis químico foliar del nutriente constituye un buen método de diagnosis de la capacidad de producción de estas plantas.

Las aplicaciones de quelatos de zinc y manganeso al follaje del café Robusta de la zona de Quevedo, aumentan los niveles foliares de estos micronutrientes y al mismo tiempo disminuyen los síntomas atribuíbles a sus deficiencias. En las aplicaciones al suelo, no sólo los quelatos conteniendo los microelementos deficientes (zinc y manganeso) sino también el de hierro, disminuye los síntomas de deficiencia. La naturaleza peculiar del quelato posiblemente sea la causa del resultado anunciado en el último término.

En los cafetos bajo la ecología de la zona, los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo o potasio son más altos en la época de lluvias y disminuyen a medida que se entra en la época seca. Esta disminución se explica fácilmente por el déficit del agua en la época seca y por el transporte de nutrientes desde los tejidos de reserva de las hojas hacia los frutos, que ocurre desde la iniciación de la formación de éstos en la época de lluvias.

El riego practicado en la época seca aumenta la producción de café Robusta en la zona de Quevedo, pero no aumenta los niveles foliares de los macronutrientes en esta época y más bien disminuye los de nitrógeno; sin embargo, cuando se combina el riego con la fertilización nitrogenada, se consigue una considerable alza de dichos niveles de nitrógeno, lo cual se corresponde con con un aumento muy apreciable de la producción.

RESUMEN.

En el suelo volcánico de la Hda. "Coffea Robusta", cuya precipitación media anual es de 1.900 m.m. y su temperatura media es de 24° C, se llevaron a cabo cuatro experimentos de campo con el fin de conocer, la influencia de la fertilización química y del riego; en los rendimientos del café Robusta que crece en la zona de Quevedo.

El estudio fue complementado con trabajos de laboratorio tendientes a conocer el estado nutricional de las plantas en condiciones naturales, y cuando recibieron algún tratamiento de fertilización.

El primer experimento de campo fue un factorial de dos niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, y el segundo se originó para estudiar los efectos de cinco niveles de nitrógeno en combinación con tres de potasio. En el tercer experimento se estudiaron los efectos de la fertilización nitrogenada y del riego, y en un cuarto ensayo se probaron los efectos de aplicaciones de quelatos sobre ciertos síntomas que se observaron en los cafetos de la zona y que se atribuyeron a deficiencias nutricionales de hierro, zinc y manganeso.

Los datos tomados de estos ensayos mostraron un pronunciado aumento de la cosecha de las plantas que recibieron fertilización nitrogenada. Las plantas que recibieron potasio, en cambio, disminuyeron en produc-

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

ción, debido a una concentración demasiado alta del elemento en este suelo.

Tanto la fertilización nitrogenada como la potásica elevaron las concentraciones foliares de nitrógeno y potasio respectivamente; pero sólo en el caso del nitrógeno estos aumentos estuvieron directamente relacionados con la producción de las plantas.

Los contenidos relativos de los macronutrientes en las hojas de los cafetos testigo, mostraron desequilibrio nutricional que se corrigió con sólo la adición del fertilizante nitrogenado. Las aplicaciones de potasio contribuyeron, en cambio, a aumentar el desequilibrio existente.

Los contenidos foliares de fósforo y potasio fueron disminuyendo a medida que se pasaba de la época lluviosa a la seca, tanto en las plantas fertilizadas como en las no fertilizadas y, al finalizar la época de sequía llegaron a niveles bajos, los cuales aparentemente, no tuvieron repercusión en la cosecha. En el caso del nitrógeno sólo los contenidos foliares de las plantas testigo llegaron a niveles críticos en la época seca, en las plantas tratadas en cambio, dichos contenidos siempre se mantuvieron por encima del nivel crítico.

El riego aumentó considerablemente la producción de los cafetos pero, posiblemente por esta causa los contenidos de nitrógeno en las hojas de las plantas regadas y sin fertilización fueron inferiores, especialmente en la época seca, a los de las plantas no regadas.

Cuando en combinación con el riego se aplicó urea, se obtuvieron los niveles más altos de nitrógeno foliar y al mismo tiempo se consiguieron las más altas cosechas.

Las aplicaciones de quelatos de zinc y manganeso al follaje de cafetos con síntomas, que se hicieron en el experimento 4, disminuyeron considerablemente dichos síntomas al mismo tiempo que aumentaron los niveles foliares de los micronutrientes; sin embargo, cuando las aplicaciones se hicieron al suelo, sólo se consiguió la disminución de síntomas, mas no el aumento de los niveles foliares.

LITERATURA CITADA

1. *ALVIM, P. de T. Fisiología del crecimiento y de la floración del cafeto. Café (Turrialba, Costa Rica) 2(6):57-64. 1960.*

2. *BORGET, M., DEUSS, J. and FORESTIER, J. Anelques résultates des essais d'engrais sur coffea robusta en Centre de Recherches de Boukoko. Café, Cacao, Thé 7(1):22-32. 1963.*

3. *COOIL, B. J. y FUKUNAGA, E. T. Aplicaciones intensivas de fertilizantes y sus efectos. En: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Progresos en la Técnica de Producción de Café. Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1958. pp. 92.*

4. *CIBES, H. and SAMUELS, E. Mineral deficiency symptoms displayed by coffee trees growing under controlled conditions. Puerto Rico, Agricultural Experimental Station, 1955. Technical paper No. 14. 21 pp.*

5. *CHAVERRI, G., BORNEMISZA, E., y CHAVEZ, F. Resultados del análisis foliar del cafeto en Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, STICA, 1957. Información Técnica No. 3. 39 pp.*

6. *DUNCAN, D. B. Multiple range and multiple F test. Biometrics 11(1):1-42. 1955.*

7. *DE GEUS, J. G. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming. Zurich, Centre d'Etude de l'Azote, 1967. 727 pp.*

8. *ECUADOR, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. Producción estimativa de los cultivos agrícolas del Ecuador en el año 1965. Quito, Dirección General de Extensión Agropecuaria, Sección de Estimaciones Agrarias, 1966. 36 pp.*

9. *ESPINOZA, F. M. El análisis foliar en el diagnóstico del estado nutricional del cafeto. Santa Tecla, El Salvador. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, 1960. Bol, Inform., Suplemento No. 2 20 pp.*

10. *————————. Resultados preliminares del análisis foliar del cafeto en el Salvador. Santa Tecla, El Salvador. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, 1961. Boletín Informativo, Suplemento No. 10. 81 pp.*

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

11. FIESTER, D. R. The study of leaf chlorosis of coffee resembling the magnesium deficiency symptoms in some other fruit crops, M. S. unpublished Thesis. Ithaca, New York.

12. FERRY, J. F. and WARD, H. S. Fundamentals of plant physiology. New York, The Mac Millan Co., 1959. p. 67.

13. FREI, E. Informe al Gobierno del Ecuador sobre reconocimientos edafológicos exploratorios. Roma, FAO, 1957. Informe No. 585 47 pp. (mimiografiado)

14. FORESTIER, J., BELEY, J. Teneurs en soufre et en oligóelements des fouilles du cofeier robusta en Lobaye (R. C. A.) Café, Cacao, Thé, 4(3):133-49. 1960.

15. HUERTA, A. Efectos de la fertilización del suelo en la composición mineral foliar del cafeto. Café(Turrialba, Costa Rica) 18(5):49-59. 1963.

16. LOUE, A. Etude de la nutrition du cofeier par la methode du diagnostic foliaire. Bingerville, Cote d'Ivoire, Centre de Recherches Agronomiques, 1953. Bull. No. 8.

17. ————————. Nouvelles observations sur les oligo - elements dans la nutrition du coféier (coffee canephora Pierre). Café, Cacao, Thé 4(3):133-49. 1960.

18. ————————. Studies on the inorganic nutrition on the coffee tree in the Ivory Coast. Berne, International Potash Institute, 1957. pp. 41-42.

19 MALAVOLTA, E., HAAG, H. P., MELLO, F. A. y BRASIL, M. O. La nutrición mineral de algunas cosechas tropicales. Berna, Suiza, Instituto Internacional de la Potasa, 1957. p. 49.

20. MALAVOLTA, M. M., GOMEZ, P. y COURY, T. Estudio de la alimentación mineral del cafeto. Fertilité 5:15-25. 1958.

21. MEYER, B., ANDERSON, D. and BOHNING, G. Introduction to plant physiology. Princeton, New Jersey, D. Van Nostrand Company. Inc., 1960. pp. 316-317.

22. MEDCALF, J. C. y LOTT, W. L. Aplicación de quelatos metálicos en cafetales. New York, I B E C Research Institute, 1965. Bol No. 11. 28 pp.

23 SMYTH, A. J. La selección de suelos para cultivo del cacao. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1967. Boletín sobre suelos No. 5. p. 40.

24. SOMERS, J. J. and SHIVE, J. W. The Fe/Mn relation in plant metabolism. Plant Physiology 17:582-602. 1942.

25. STEWART, J. and LEONARD, C. D. Studies of chelated plant nutrients with radioactive isotopes. Lake Alfred, Florida, Citrus Experiment Station, University of Florida, 1956. 7 pp.

26. VAN DIERENDONCK, F. J. The Manuring of Coffee, Cocoa, Tea and Tabacco. Geneva, Centre d'Etude de l'Azote, 1959. pp. 38-39.

27. WELLMAN, F. L. Coffee. New York, Leonard Hill (Books), 1961. pp. 220-221.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

APENDICE

PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO.

Excepto para los análisis de calcio y magnesio, los procedimientos de laboratorio que se usaron en el presente trabajo y que se describen en esta sección, salvo modificaciones sin importancia, son los mismos que se empleaban en el Laboratorio de Análisis Foliar del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Los métodos fueron los siguientes:

Digestión: Con mezcla 5:1 de ácido nítrico y perclórico.
Análisis de nitrógeno: Semi-micro-Kjeldhl modificado por Müller *.
Fósforo: Molibdato de amonio.
Potasio: Fotómetro de llama.
Hierro: 0-fenantrolina.
Manganeso: Como permanganato mediante oxidación con periodato.

Las determinaciones de calcio y magnesio se hicieron por el método del versenato y básicamente de acuerdo al procedimiento indicado por Willard, Furman y Bricker **.

PREPARACION DE LA MUESTRA.

Aparatos: Recipientes para lavar las muestras.
Estufas
Molino Wiley tamaño intermedio
Fundas glacine.

Procedimiento: Inmediatamente después de tomadas las hojas se llevan al laboratorio y se lavan primero con una solución de ácido clohídrico al 1 °/o, luego con una solución detergente, agua corriente y por fin con con abundante agua destilada. De inmediato, las hojas se secan en estufas a 70°C. y luego se muelen en el molino Wiley con malla No. 40. Las muestras se guardan en funditas de papel glacine, que se cierran lo mejor posible y se colocan en un sitio seco.

* *Muller, L. Un aparato micro Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. Turrialba (Costa Rica) 11(1):17-25. 1961.*

** *Willard, H. H., Furman, N. H. y Bricker, C. E. Elements of cuantitative analysis. Princeton, New Yersey, D. van Nostrand Co. Inc. 1956.*

Digestión y solución:

Aparatos: Balanza analítica
Hornilla eléctrica
Fiolas pirex de 125 mls.
Bureta automática de 100 mls.
Condensadores para fiolas
Frascos volumétricos de 50 ml.
Embudos de 70 mm. de diámetro.
Frasco lavador de polietileno; etc.

Reactivos: Acido nítrico: 1.40-1.42 de densidad, reactivo analítico.
Acido perclórico: 70-72 °/o, reactivo analítico.
Agua destilada.

Procedimiento:

1. Pesar exactamente 1.0 grmo. de hojas secas y molidas y transferir a una fiola de 125 ml.
2. Por medio de una bureta automática, añadir a la muestra 10 ml. de la mezcla 5:1 de los ácidos nítrico y perclórico.
3. Calentar en la hornilla eléctrica, primero lentamente hasta que cese la reacción violenta (alrededor de 20 minutos); luego elévese la temperatura y continúese la digestión hasta que el producto sea incoloro.
4. Enfriar, añadir aproximadamente 25 ml. de agua destilada y hervir por pocos segundos.
5. Diluír a 50 ml. en balón volumétrico.
6. Filtrar a través de papel filtro y guardar la solución en frascos de polietileno. Esta solución se designa como solución A en los procedimientos siguientes.

DETERMINACION DE NITROGENO

Aparatos: Balanza analítica
Aparato de digestión
Aparato de destilación
Balones Kjeldahl
Pipeta automática
Fiolas de 125 ml.
Micro-bureta de 10 ml.

Reactivos: Acido sulfúrico concentrado, conteniendo 15 gramos de sulfato de potasio por litro.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

Mezcla digestora: A 100 ml. de agua destilada y caliente agregar 50 gramos de sulfato de cobre; adicionar luego 10 gramos de selenito de sodio por cada 100 ml. de solución de sulfato de cobre. Se agrega 25 ml. de esta mezcla por litro del ácido sulfúrico indicado.

Solución aproximadamente 0.02 N de ácido sulfúrico: Tomar 6 mls de ácido sulfúrico concentrado, (densidad 1.84) reactico analítico, y agregar a 10 lts. de agua destilada. Titular esta solución con 0.2114 grms. de 1.3 - difenilguanidina disuelta en 35 mls. de alcohol etílico de 95 °/o con reacción neutra. Para percibir el punto estequiométrico en la titulación, se usa unas gotas de la solución indicadora que se señala a continuación.

Solución indicadora: Disolver 0.180 g. de rojo de metileno y 0.100 g. de azul de metileno en 100 mls. de alcohol etílico de 95 o/o.

Solución de ácido bórico con indicador: Disolver 200 grms. de ácido bórico, reactivo analítico, en 10 lts. de agua destilada. Agregar 40 mls. de la solución indicadora.

Procedimiento:

1. Pesar 0.100 g. de muestra y vaciarla en un balón Kjeldahl de 30 mls.
2. Agregar 4 mls de ácido sulfúrico con la mezcla digestora.
3. Iniciar la digestión a baja temperatura y luego continuarla a una temperatura más alta hasta lograr que el digesto sea incoloro; retirar entonces el balón y dejar que se enfríe.
4. Añadir con precaución 8 mls. de agua destilada para disolver el residuo de sales formado.
5. Conectar el balón al aparato de destilación.
6. Vaciar 4 mls. de la solución de hidróxido de sodio al 50 °/o abriendo en el aparato de destilación la llave del recipiente que la contiene.
7. Conectar el generador de vapor del mismo aparato e iniciar la destilación.
8. Recibir el amonio destilado de la muestra sobre 15 mls. de la solución de ácido bórico con indicador y prolongar la destilación hasta 4 minutos después del virage de color de esta solución.
9. El porcentaje de nitrógeno en la muestra es igual a:

$$\frac{V \times 0.00028 \times 100}{0.1}$$

donde V significa mls. del ácido sulfúrico 0.02 N gastados en la titulación de la muestra.

DETERMINACION DEL FOSFORO.

Aparatos: Espectrofotómetro Coleman Jr., Modelo 6A.
Pipetas.
Frasco lavador de polietileno.
Frascos volumétricos de 50 ml.

Reactivos: Solución de Molibdato de amonio: Pesar 10 grms de molibdato de amonio, reactivo analítico y disolver en 85 mls. de agua destilada, en un beaker de 250 mls., vaciar luego el contenido del beaker en otro conteniendo 180 mls. ácido clorhídrico.
Solución reductora: Pesar 0.25 de ácido 1-amino 2-naftol 4-sulfónico, 0.5 g. de sulfito de sodio y 14.4 g. de metabisulfito de sodio; disolver en 50 mls. de agua destilada caliente (50 a 60° C) una a una estas substancias; completar a 90 mls, filtrar y guardar fuera de la luz y a baja temperatura.

Solución concentrada de fósforo: Disolver 0.4393 g. de fosfato monopotásico, reactivo analítico (previamente disecado) en agua destilada; completar a un litro en un frasco volumétrico. Cada ml. de esta solución contiene 100 microgramos de fósforo.
Solución 10 PPM de fósforo: Traspasar con pipeta 25 mls. de la solución concen-

con pipeta 25 mls. de la solución concencentrada de fósforo, recién preparada, a un frasco volumétrico de 250 mls., agregar 0.2775 g. de cloruro de amonio, reactivo analítico y llevar a volumen con agua destilada, resultará una solución de 10 PPM de fósforo.
Para hacer soluciones patrones, pipetear de esta solución y diluír en frascos volumétricos de 50 mls. los volúmenes que se indican a continuación:

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

mls. de la soluc. 10 mcg/ml.	mcg. P por ml. en el patrón	°/o de P en la muestra
0	0	0
5	1	0.05
10	2	0.11
15	3	0.16
20	4	0.22
25	5	0.27

Procedimiento:

1. Pipetear en tubos del espectrofotómetro 1 ml. de la solución A y en otros tubos 11 mls. de las soluciones patrones.
2. Agregar a los tubos con soluciones A, 10 mls. de agua destilada.
3. Añadir a cada tubo, con una pipeta automática, 0.5 ml. de la solución de molibdato de amonio y agitar.
4. Con la otra pipeta automática adicionar a cada tubo 0.5 ml de la solución reductora, agitar y esperar 30 minutos.
5. Leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 525 milimicrones; se usa agua destilada para partir de 100 °/o de transmitancia cuando se asume no hay fósforo en la muestra.
6. Trazar una curva de calibración usando las lecturas correspondientes a los patrones, como ordenada y su concentración en fósforo como abscisa.
7. Leer la transmitancia de la alícuota de la solución A y refiriéndose a la curva de calibración, determinar su concentración en fósforo.
8. Sobre la base de la concentración en fósforo de la alícuota, calcular el °/o de fósforo de la muestra.

$$\frac{\text{mcg. P en alícuota x 50 ml. x 100}}{\text{1'000.000 x 1 ml. x 1 gr.}}$$

= mcg. P en alícuota x 0.005

= °/o de P en la muestra.

DETERMINACION DE POTASIO

Aparatos: Fotómetro de llama Coleman, modelo 21.
Frascos volumétricos de 100 mls.
Pipetas de 2 mls.
Frasco lavador de polietileno.

Reactivos: Solución concentrada de potasio: Pesar 1.907 grams. de cloruro de potasio secado a 120° C en la estufa por dos horas. Disolverlo en agua destilada y llevar a un matraz volumétrico. La solución resultante contiene un gramo de potasio por litro o sea 1.000 PPM de potasio.
Soluciones patrones de potasio: En frascos volumétricos de un litro pipetear los volúmenes que se indican a continuación y luego llevar a volumen con agua destilada.

mls. de la soluc. de 1000 P.P.M. de K	mls. H C104	PPM de K en el patrón	°/o de K en la muestra
0	4	0	0
5.0	4	5.0	1.25
10.0	4	10.0	2.50
15.0	4	15.0	3.75

Procedimiento:

1. Usando las soluciones patrones de potasio y tomando como punto de referencia 10 PPM de potasio igual a 50 °/o de transmitancia, preparar con las lecturas una curva de calibración.
2. Pipetear 2 mls. de la solución A y diluír en frascos volumétricos de 100 mls. Leer en el fotómetro de llama previamente calibrado con las soluciones patrones.
3. Con la transmitancia obtenida con la alícuota encontrar su concentración en la curva de calibración y con ella calcular el °/o de K de la muestra de hojas, de acuerdo con la siguiente forfula:

$$\frac{\text{PPM en la alícuota x 100 mls. x 50 mls. x 100}}{\text{1'000.000 x 2 ml. x 1 gramo.}}$$

PPM en la alícuota x 0.25 = °/o K en la muestra.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

DETERMINACION DE CALCIO Y MAGNESIO.

Aparatos: Pipetas de 5, 10 y 25 mls.
Fiolas de 125 mls.
Bureta de 50 mls.
Agitador magnético.

Reactivos: Solución reguladora de oxalato de amonio: Pesar 12 grms. de oxalato de amonio, reactivo analítico; disolver en 200 mls. de agua destilada; agregar 288 grms. de cloruro de amonio y 26 mls. de amoniaco; completar con agua destilada.
Solución Tampón: Pesar 134 grams de de cloruro de amonio y disolver en 1.140 mls. de amoniaco; completar a 2 lts. con agua destilada.
Solución de versenato disódico (EDTA): Disolver en un poco de agua destilada 4 grms. del versenato y luego 0.1 g. de cloruro de magnesio, diluír a 2 ltrs.

Solución patrón 0.1 N de carbonato de calcio: Disolver 0.5005 grms. de carbonato de calcio puro, en aproximadamente 20 mls. de ácido clorhídrico 1 N, llevar a un litro con agua destilada.
Solución indicadora de eriocromo negro: Medir 50 mls. de alcohol etílico de 95°/o y disolver con él 2 grms. de cloruro de hidroxilamina; pesar luego 0.2 g. de ericromo negro y agregar a la solución de hidroxilamina.
Solución de cianuro de potasio: Pesar 2 grms. de cianuro de potasio, reactivo analítico y disolver en 100 mls. de agua destilada.

Procedimiento: Para la determinación de Ca + Mg en conjunto, se procede de la siguiente forma:

1. Tomar con pipeta volumétrica 5 mls. de la solución A y vaciar en fiola de 125 mls.
2. Agregar también con pipeta 25 mls. de la solución tampón.
3. Agregar además 6 gotas de la solución de cianuro de potasio y 8 gotas del eriocromo negro.
4. Titular vaciando con bureta la solución de EDTA 0.01 N hasta cambio de color del indicador.
5. El contenido de Ca + Mg de la muestra se calcula:

$$\frac{\text{mls. EDTA gastados titulación} \times 0.01 \times 50 \text{ ml.} \times 100}{5 \text{ ml.} \times 1 \text{ g.}}$$

= mls EDTA x 10.0 = meq. Ca + Mg por 100 grms.

Para la precipitación del calcio y determinación del magnesio:

1. Se transfiere 5 ml. de la solución A a una fiola de 125 mls.
2. Adicionar 10 mls. de la solución tampón y 25 mls. de la solución oxalato de amonio.
3. Esperar 2 horas hasta la completa precipitación del calcio de la alícuota.
4. Filtrar y agregar 10 mls. más de la solución tampón.
5. Tomar 40 mls. del producto y agregar 8 gotas del indicador eriocromo negro y 6 de la solución de cianuro.
6. Titular con la solución de EDTA 0.01 N, hasta cambio de color del indicador.
7. El contenido de magnesio de la muestra se calcula:

$$\frac{\text{mls. EDTA} \times 0.01 \times 50 \times 50 \times 100}{5 \times 40 \times 1}$$

= mls. EDTA x 12.5 = meq. de Mg por 100 grms.

El magnesio expresado en °/o de materia seca se obtiene multiplicando meq. por 100 g. x 0.0122.
El cálculo del calcio se hace por diferencia: Ca meq. por 100 g. = Ca + Mg meq. por 100 grms.- Mg meq. por 100 grms.
El Ca expresado en porcentaje se obtiene multiplicando meq. de Ca por 100 g. x 0.020.

DETERMINACION DE HIERRO.

Aparatos: Espectrofotómetro Coleman Jr. modelo 6A.
Beakers de 50 mls.
Baño de maría
Pipetas de 2 y 5 mls.
Frasco lavador de polietileno
Tubos graduados.

Reactivos: Para esta determinación, las soluciones reactivos deben prepararse con agua bidestilada.
Acido sulfúrico concentrado, reactivo

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

analítico.
Solución de ácido clorhídrico 1:10;
Solución de citrato de sodio: 250 grms. por litro.
Solución 5°/o de cloruro de hidroxilamina.
Cloruro de O- phenantrolina solución 0.5 °/o en alcohol etílico al 50 °/o.
Acido acético concentrado, reactivo analítico.
Solución concentrada de hierro: Disolver 0.702 grms. de sulfato ferroso amonical (Fe S04. (NH4) S04. 6H20) en 50 mls. agua bidestilada conteniendo 10 mls de ácido sulfúrico concentrado. Se deja enfriar y se completa a un litro en un matraz volumétrico. Se tendrá una solución 100 PPM de Fe.

Soluciones patrones de hierro: Pipetear de la solución 100 PPM de Fe y diluír en frascos volumétricos de 100 mls. los volúmenes que se indican a continuación:

mls. solución 100 PPM de Fe	*mcg. de Fe por ml. en el patrón*	*PPM de Fe en la muestra.*
0	*0*	*0*
1	*1*	*50*
2	*2*	*100*
3	*3*	*150*
4	*4*	*200*
5	*5*	*250*
6	*6*	*300*

Procedimiento:

1. Pasar con pipeta 2 mls. de la solución A (de las soluciones patrones también se toman 2 mls.) a beakers de 50 mls.
2. Adicionar 2 gotas de ácido sulfúrico concentrado.
3. Evaporar a sequedad en baño maría.
4. Expulsar el ácido perclórico calentando en plancha caliente.
5. Una vez frío agregar 5 mls. del ácido clorhídrico 1:10 y calentar por 10 minutos en baño maría.
6. Ajustar el pH hasta cerca de 4.0 adicionando alrededor de 3 mls. de la solución de citrato de sodio.
7. Transferir cuantitativamente el contenido del beaker a tubos graduados de 10 mls. y llevar a volumen con agua.
8. Agregar 1 ml. de la solución O-phenatrolina y 1 ml. de la solución de hidroxilamina y esperar 1 hora.
9. Leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 490 milimicrones.
10. Leer por otro lado las soluciones patrones, tratadas del mismo modo que la solución A.
11. Trazar una curva de calibración usando las lecturas de la transmitancia correspondiente a los patrones como ordenada y sus concentraciones en Fe como abscisa.
12. Referir la lectura de la alícuota de la solución A a la curva de calibración así obtenida y determinar su concentración en Fe.
13. Sobre esta base, calcular la concentración del microelemento en la muestra.

$$\frac{\text{mcg. Fe en alícuota x 50 ml.}}{\text{2 ml. x 1 g.}}$$

= mcg. Fe en alícuota x 25

= mcg. Fe por gramo = PPM Fe en la muestra.

DETERMINACION DEL MANGANESO.

Aparatos: Espectrofotómetro Coleman Jr. modelo 6A.
Beakers de 50 mls.
Hornilla eléctrica
Tubos de ensayo graduados a 10 mls.
Baño de maría
Estante para acomodar varios tubos de ensayo.
Pipetas de 2 y 5 mls.

Reactivos: Acido fosfórico 1:3: Un volumen de H_3PO_4 diluído con 3 de agua.
Periodato de potasio en polvo.
Solución concentrada de manganeso: Disolver 0.288 grms. de permanganato de potasio en 300 mls. de agua destilada y

INIAP - Estación Experimental Pichilingue

agregar 20 mls. de ácido sulfúrico concentrado; agregar sulfito de sodio hasta que desaparezca el color del permanganato; hervir lentamente por media hora; enfriar y completar a un litro en frasco volumétrico. Se tendrá una solución 100 PPM de Mn.

Soluciones patrones de manganeso: Pipetear de la solución 100 PPM de Mn y diluír en frascos volumétricos de 100 mls. los volúmenes que se indican a continuación.

mls. solución 100 PPM de Mn	*mcg. de Mn por ml. en el patrón*	*PPM de Mn en la muestra*
0	0	0
1	1	50
2	2	100
3	3	150
4	4	200
6	6	300

Procedimiento:

1. Pasar con pipetas 5 mls. de la solución A (de las soluciones patrones también se toman 5 mls.) a beakers de 50 mls.
2. Desecar en plancha caliente.
3. Aún caliente, agregar 2 mls. de ácido fosfórico 1:3.
4. Traspasar, cuantitativamente a tubos de ensayo de 10 mls. y llevar a volumen con agua destilada.
5. Calentar a 70° C en baño maría.
6. Agregar con espátula, aproximadamente 50 mg. de peryodato de sodio, elevar la temperatura de baño maría y calentar por media hora más.
7. Enfriar el contenido de los tubos y completar nuevamente el volumen (10 mls.).
8. Traspasar a los tubos del espectrofotómetro y leer a una longitud de onda de 550 milimicrones.
9. Con las transmitancias obtenidas con las soluciones patrones, tratadas del mismo modo que la solución A, trazar una curva de calibración relacionándolas con sus concentraciones de manganeso.
10. Referir la lectura de la alícuota de la de la solución A a la curva de calibración así obtenida y determinar su concentración en Mn.
11. Sobre esta base, calcular la concentración del micronutriente en la muestra.

$$\frac{\text{mcg. de Mn en alícuota x 50 ml.}}{\text{5 mls. x 1.g.}}$$

mcg. de Mn en la alícuota x 10 = PPM en la muestra.

INIAP - Estación Experimental Pichilingue