

Efecto del pH del sustrato en el crecimiento y la absorción del café

por

J. F. Carvajal* C. A. López*

y

A. Acevedo*

(Recibido para su publicación el 23 de agosto de 1963)

El efecto de la concentración del ión hidronio en la absorción de nutrientes y el acumulamiento de sales ha sido objeto de investigaciones anteriores (1, 2, 7, 9, 11, 13, 20). Estudios relacionados con el efecto del pH en el crecimiento de la raíz fueron dados a conocer en 1924 por REED y HASS (16); CORMACK (5) publicó en 1945 el resultado de sus experiencias acerca de la influencia del pH en el desarrollo de los pelos radicales. La comunicación de CAMARGO *et al.* (4) en relación con cafetos jóvenes data de 1929. En 1942, ARNON *et al.* (2, 3) dieron a conocer el resultado de sus investigaciones con tomate (*Lycopersicum esculentum*), lechuga (*Lactuca sativa*) y zacate bermuda (*Cynodon dactylon*) como plantas experimentales. Posteriormente KORDATZKI (12) se refirió en su monografía al resultado de algunos experimentos comparativos realizados por Hudig y Meyer en un cultivo de trébol; análogamente cita las investigaciones de Arrhenius en patata y trigo tremesino (géneros *Solanum* y *Triticum*, respectivamente), cultivados en suelos de características semejantes pero a diferente pH. Las causas del crecimiento pobre que exhiben las plantas cuando crecen en suelos ácidos y los factores responsables del daño fueron estudiados por SCHMEHL *et al.* (17) en 1950.

Los estudios que se han realizado durante la última década se han orientado a observar la influencia de efectos combinados. STEINBERG (18) estudió el efecto de la concentración del ión hidronio en presencia de niveles crecientes de

* Laboratorio de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

calcio y magnesio. OERTLY y JACOBSON (14) investigaron el efecto simultáneo de la acidez del medio y de diversas fuentes de hierro en la nutrición. VLAMIS (20) estudió el resultado de la acción conjunta de la acidez y de la presencia de altas concentraciones de calcio o amonio en el medio nutritivo. Las investigaciones *in vitro* con raíces de cebada separadas de la planta ponen de manifiesto la utilidad del método en estudios de absorción y pérdida de nutrientes (7, 11, 13). De la literatura se desprende que las investigaciones han sido hechas, según el objetivo, con plantas creciendo en suelo o en solución nutritiva.

El presente trabajo tiene por objeto evaluar el efecto directo de la concentración del ión hidronio del medio nutritivo en el crecimiento y la absorción del café (*Coffea arabica* var. *typica*).

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en invernadero en macetas de porcelana de cinco litros. El café germinó en vermiculita; las plantas fueron trasplantadas a los tiestos en estado de "hojas cotiledonales abiertas". El pH de las soluciones varió desde 4 hasta 7,5 a intervalos de cinco décimas de unidad, lo que dio lugar a un total de ocho tratamientos. Cada tratamiento se repitió tres veces, usando tres plantas en cada repetición (maceta).

Las plantas se mantuvieron creciendo en solución Hoagland # 1 durante el transcurso del experimento (8); el nitrógeno se adicionó como nitrato y el hierro en forma de quelato (Sequestrene NaFe de la casa Alrose Chemical Co.). Las soluciones se cambiaron cada treinta días, a excepción de cuando se estudió el efecto de los tratamientos en la absorción neta de nutrientes; en este caso se cambiaron 45 días después de renovadas. Los elementos menores y el hierro se añadieron una y dos veces por semana, respectivamente. Las soluciones se mantuvieron aeradas mediante un compresor automático. El sustrato se mantuvo libre de organismos dañinos a la raíz por la adición de 16.000 unidades de penicilina y 20 mg de estreptomina a cada maceta, al efectuar el cambio de las soluciones.

El ajuste de la acidez se hizo a intervalos de 24 horas, por un período de 180 días. Las lecturas de pH se hicieron en un potenciómetro Beckman modelo H2, de electrodos de vidrio. El pH se ajustó siempre que la lectura daba una desviación de $\pm 0,2$ de unidad, mediante la adición de HCl o NaOH 0,5 N, según el caso.

La evaluación cuantitativa de la respuesta de las plantas a los tratamientos se hizo con base en mediciones de rutina. La altura y el diámetro se midieron a intervalos de 60 días. Al concluir el experimento se determinó el área foliar. Para esto, las hojas se trazaron en papel y luego se recortaron; la superficie se obtuvo de la relación área-peso que se calcula al pesar un papel de la misma clase, de área conocida. Se obtuvieron datos del volumen del sistema radical, de la producción de materia seca y del número de pares de hojas producidos por cada tratamiento. A los cuatro meses de iniciado el experimento se determinó, mediante análisis químico del propio sustrato, la absorción neta de nutrientes (N,

P, K, Ca y Mg) en un período de 45 días. El precipitado que se formó en las soluciones a pH 7 y 7,5 se disolvió añadiendo HCl antes de la determinación química. Las cifras de absorción neta se obtuvieron por diferencia, por comparación con el contenido de nutrientes que componen la solución nutritiva original. Se comprobó por estudios posteriores que la composición química de las soluciones nutritivas solas (sin planta) no varía apreciablemente en función al tiempo.

MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS. La concentración de los elementos en las soluciones nutritivas se obtuvo de la manera siguiente: el sodio y el potasio se determinaron por fotometría de llama; el fósforo, colorimétricamente, con molibdato de amonio; se usó como agente reductor el ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfónico (14); calcio y magnesio, volumétricamente, por titulación con versenato sódico (9); cloruros por el método descrito por MAGISTAD *et al.* (9). Para la determinación del N-NO₃ se usó la misma instalación utilizada para el método clásico del micro-Kjeldahl, tomando una alícuota de 10 ml de la propia solución nutritiva. Los nitratos se redujeron en medio alcalino con aleación de Devarda; el nitrógeno amoniacal, producto de la destilación, se recogió en ácido bórico y se tituló luego con ácido sulfúrico.

RESULTADOS

Poco tiempo después de iniciado el ensayo las plantas empezaron a mostrar diferencias en tamaño, en la secuencia de brotación de esbozos foliares y en el tamaño de las hojas. El desarrollo de las raíces también se afectó, especialmente en las plantas que crecieron en la solución nutritiva ajustada a pH 4 (gráfico 3, figs. 1 y 2). El diámetro de los tallos no sufrió cambios apreciables durante los primeros cuatro meses (gráfico 1). No obstante, el análisis estadístico demostró la existencia de diferencias significativas al concluir el experimento (cuadro 1). El efecto de los tratamientos se manifestó también en la altura de las plantas (cuadro 1); al analizar los datos que se obtuvieron 60 y 120 días después de iniciado el experimento se encontraron diferencias significativas al cinco por ciento. A pesar de que al concluir el trabajo se apreciaba una curva bastante uniforme en la altura de las plantas (gráfico 2), con una acentuación a pH 6,5, la evaluación estadística no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. La influencia de la concentración del ión hidronio se notó también, aunque sin ser estadísticamente significativa, en el volumen del sistema radical (gráfico 3); en el número de pares de hojas desarrolladas (gráfico 4); en la superficie foliar (gráfico 5); en la producción de materia seca (gráfico 6). Como se aprecia en los gráficos respectivos, existe una curva en el crecimiento de las plantas en el ámbito de pH 4 a 7,5 que alcanza su punto más alto a pH 6,5.

Las curvas de absorción de nutrientes que aparecen en el gráfico 7 muestran la absorción neta de todos los elementos mayores, excepción hecha del azufre, en un período de 45 días. Las plantas que crecieron en un pH 7,5 absorbieron 2,3 veces más calcio en comparación con aquellas que se alimentaron de un subs-

CUADRO 1

*Altura y diámetro de las plantas a intervalos de 60 días después del trasplante**

Tratamiento	Diámetro en milímetros**			Altura en centímetros***		
	enero	marzo	mayo	enero	marzo	mayo
pH 4,0	2,0	2,5	3,6	2,4	7,1	27,1
pH 4,5	2,1	2,8	4,1	3,3	9,3	22,5
pH 5,0	2,2	2,7	3,9	3,4	10,9	25,5
pH 5,5	2,2	2,7	4,3	3,9	11,6	28,4
pH 6,0	2,3	2,9	4,6	3,7	11,4	26,0
pH 6,5	2,3	3,0	5,1	4,0	12,8	28,6
pH 7,0	2,0	2,8	4,7	3,0	10,0	31,4
pH 7,5	2,1	2,9	4,8	3,3	11,3	28,1
D.M.S. 0,05	N.S.	N.S.	0,80	0,96	2,84	N.S.
C.V. %			10,5	16,3	15,2	12,5

* Datos promedio de tres repeticiones.

** Las medidas originales se hicieron con un micrómetro graduado en milésimas de pulgada, a la altura del primer internodo.

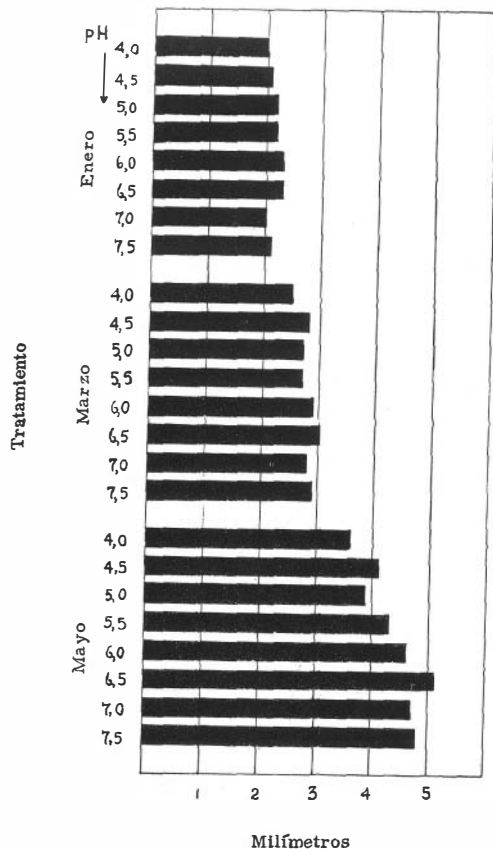
*** Mediciones de la distancia comprendida entre la cicatriz de las hojas cotiledonales y la base de la yema apical.

trato ajustado a pH 4. En el caso del fósforo la tendencia fue similar: se encontró que la diferencia de absorción que exhibieron las plantas crecidas a pH 4 y 7,5 fue 16,3 veces mayor en favor de la solución ligeramente alcalina. El análisis estadístico de los datos de absorción neta de calcio y fósforo (cuadro 2) mostró la existencia en ambos casos de diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,01$). Sin embargo, de acuerdo con los valores de las diferencias mínimas significativas los primeros seis tratamientos (pH 4 a 6,5) no tuvieron influencia en la absorción de ninguno de los dos nutrientes. La formación de precipitado en las soluciones a pH 7 y 7,5, y la posible depositación en las raíces, dan base para afirmar que la absorción de calcio y fósforo que se obtuvo es solamente una aproximación a la absorción neta. En lo referente a la absorción de los otros nutrientes (K, Mg y N-NO₃), las curvas muestran un comportamiento más o menos uniforme, aparentemente no influenciado por la concentración del ión hidronio del medio.

Como dato adicional, se determinaron las cantidades presentes de sodio y cloro en cada uno de los tratamientos (cuadro 2). La importancia de conocer la concentración de estos dos elementos es útil por el hecho de ser los iones que se adicionaron en forma periódica cada vez que se ajustaba el pH. No se observó ninguna condición anormal en las plantas experimentales, que permitiera sospechar la toxicidad de dichos elementos.

GRAFICO 1

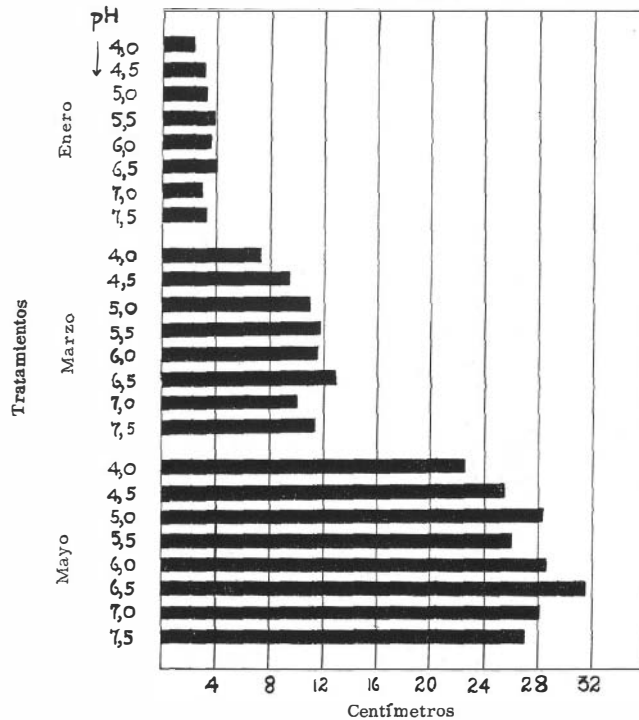
Diámetro de los tallos según la edad de las plantas



Los tratamientos se iniciaron en el mes de noviembre.

GRAFICO 2

Altura de las plantas según la edad



Los tratamientos se iniciaron en el mes de noviembre.

GRAFICO 3
Volumen del sistema radical

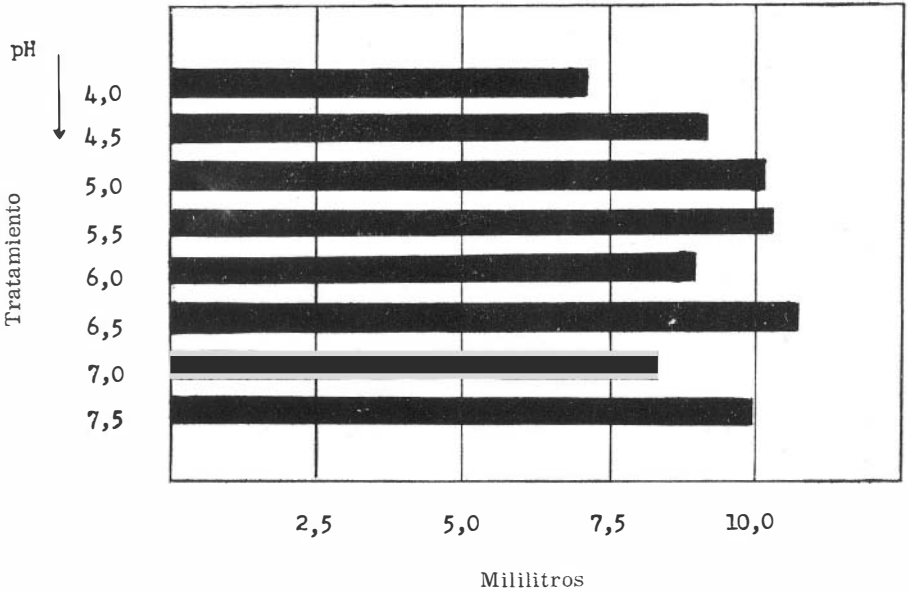


GRAFICO 4
Producción de hojas

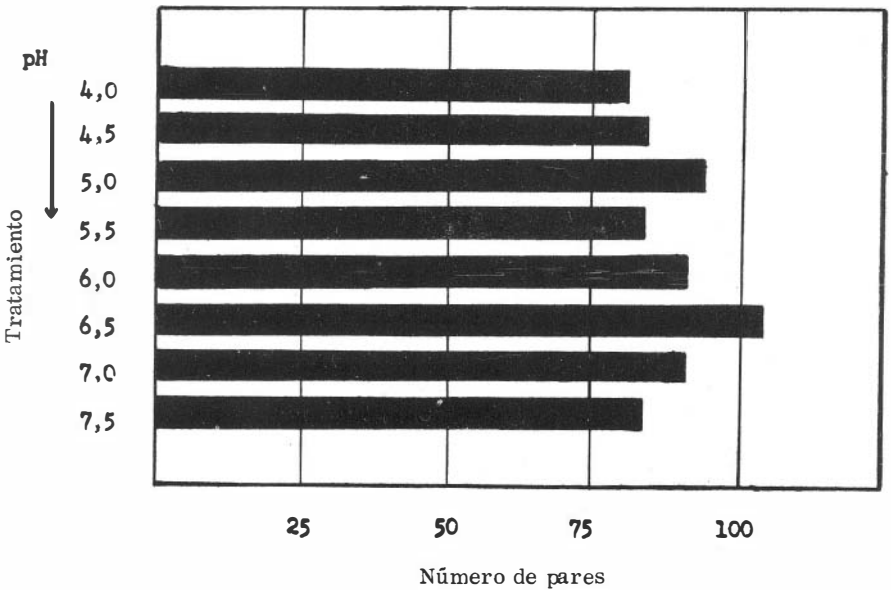
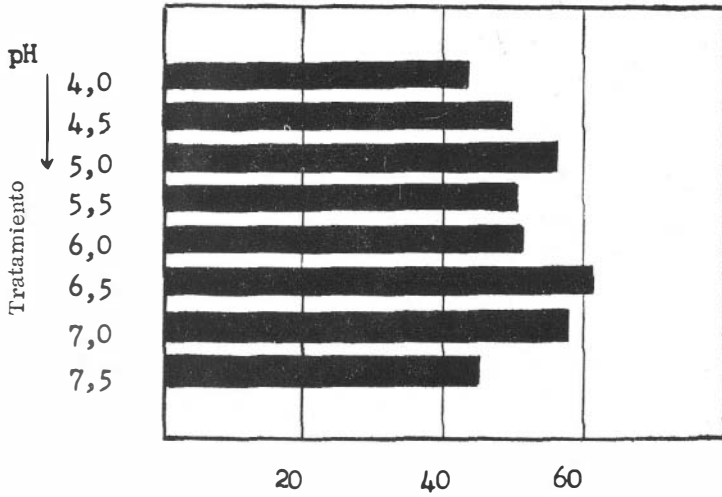


GRAFICO 5

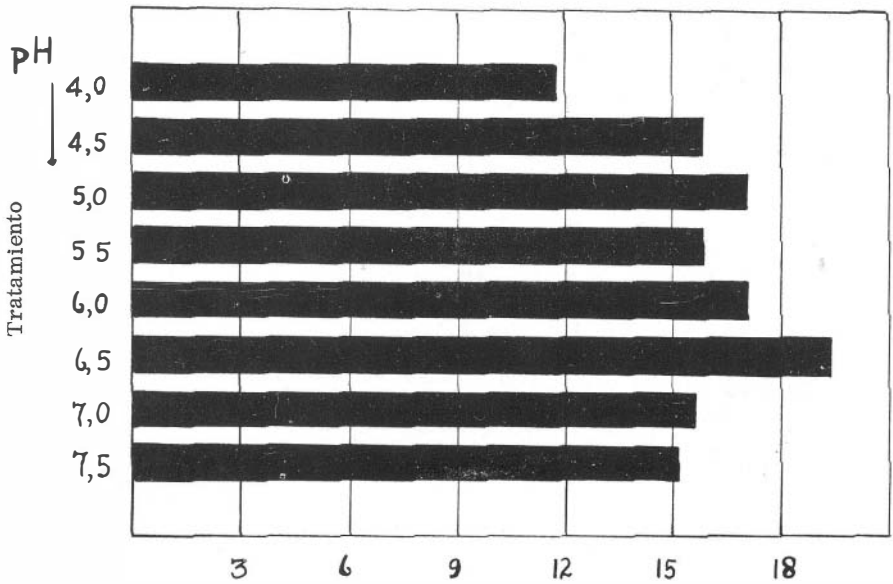
Area Foliar



Decímetros cuadrados

GRAFICO 6

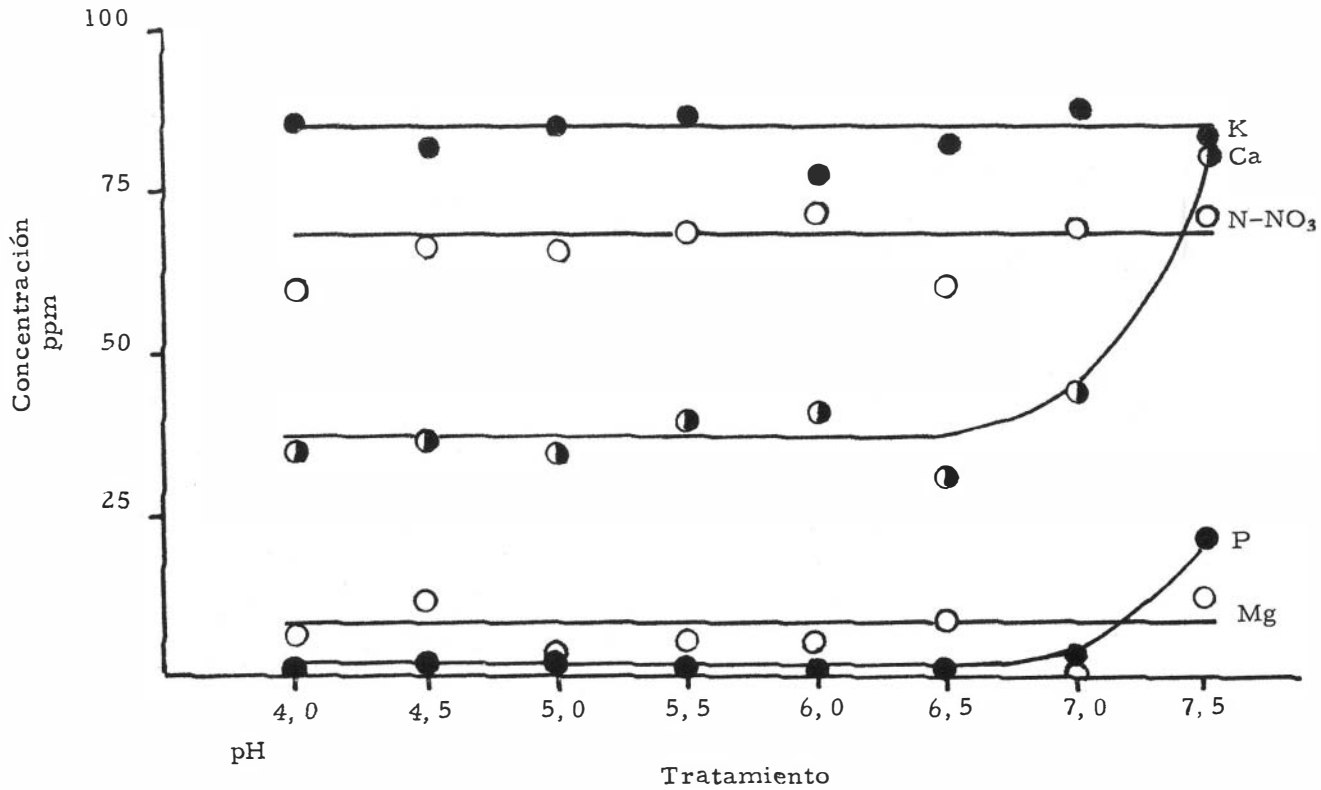
Producción de materia seca total



Pesos en gramos

GRAFICO 7

Absorción neta de nutrientes en un período de 45 días



CUADRO 2

Absorción neta de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en un período de cuarenta y cinco días¹

TRATAMIENTO	PARTES POR MILLON							
	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	
Contenido de nutrientes de la solución nutritiva original, según se comprobó por análisis químico*	pH 4,0	210	31,2	195	200	60	13	11
	pH 4,5	210	31,2	195	204	60	10	6
	pH 5,0	210	30,2	195	204	58	10	8
	pH 5,5	211	30,2	195	200	58	10	1
	pH 6,0	213	29,8	193	208	58	13	1
	pH 6,5	210	29,8	193	204	58	18	2
	pH 7,0	214	18,7	190	183	48	25	0
	pH 7,5	210	7,3	195	164	54	40	0
Datos de Absorción neta obtenidos por diferencia**	pH 4,0	60	1,3	86	35	7	21***	34***
	pH 4,5	67	2,3	82	37	12	22 "	21 "
	pH 5,0	66	2,9	86	35	4	28 "	23 "
	pH 5,5	69	2,0	87	40	6	43 "	42 "
	pH 6,0	72	1,6	78	41	6	46 "	37 "
	pH 6,5	61	1,7	83	31	9	61 "	32 "
	pH 7,0	70	3,7	88	44	1	73 "	11 "
	pH 7,5	72	21,3	84	81	13	96 "	13 "
D.M.S.	0,05		1,80		10,64			
	0,01		2,49		14,76			
C. V. %			22,2		14,2			

¹ El estudio de absorción se inició 110 días después de iniciado el experimento. Los datos que se presentan indican el promedio de tres repeticiones.

* Análisis practicado en el líquido supernatante; nótese la concentración menor del calcio y del fósforo a pH 7 y 7,5.

** El análisis se hizo agitando la disolución y disolviendo el precipitado.

*** Los datos no indican absorción neta sino concentración iónica en las soluciones al finalizar el experimento.

DISCUSION

La información disponible sobre el efecto de la concentración del ión hidronio en las plantas no es exhaustiva; existe evidencia de que las plantas suelen comportarse diferentemente de acuerdo con el pH del sustrato. Se han estudiado los efectos directos de la acidez (estudios *in vitro* son de este tipo); o los indirectos, como es el caso de las investigaciones con el propio suelo en donde precisamente estos efectos son tanto o más importantes. TRUOG (19) al referirse al suelo como un medio de crecimiento vegetal discute concretamente la existencia de ambos efectos. ARNON y JOHNSON (3) concluyeron de sus investigaciones en solución nutritiva, que el zacate bermuda, la lechuga y el tomate exhiben un crecimiento óptimo a pH 6. En la investigación nuestra con cafetos jóvenes, las plantas que crecieron en la solución ajustada a pH 6,5 obtuvieron los valores más altos en la prueba de crecimiento. En los gráficos en que ARNON *et al.* (2) comparan la absorción relativa de nutrientes se observa que todas las plantas no se comportan igual, pues el valor máximo de absorción de un elemento dado normalmente se alcanza a diferente pH, según la especie. Al igual que en nuestro caso, el calcio y el fósforo fueron los elementos que más se afectaron por la reacción del medio. Los valores que reporta el grupo de ARNON son representativos de un lapso de 96 horas, en contraposición con los propios de este trabajo, que corresponden a un período de 45 días. ARNON y JOHNSON (3) encontraron que en el lado ácido de reacción del sustrato se hace necesario la presencia de cantidades altas de calcio para obtener un buen crecimiento, pues 20 ppm del elemento en el medio nutritivo causaron un crecimiento muy pobre cuando las plantas experimentales se alimentaron de soluciones ajustadas a pH 4 y 5, respectivamente. La concentración de calcio no parece haber tenido influencia en nuestros resultados, o sea, en el crecimiento que se obtuvo a pH bajo; con solución Hoagland #1 el contenido de calcio que se obtiene es de 200 ppm, cantidad suficiente para producir un crecimiento normal. El hecho de no haber encontrado diferencias estadísticamente significativas en la absorción de este elemento, entre los primeros seis tratamientos, respalda igualmente la aseveración anterior. Esta conclusión puede hacerse extensiva con respecto al fósforo.

Los resultados obtenidos por CAMARGO *et al.* (4) en Brasil, también con cafetos jóvenes en solución nutritiva, discrepan bastante de los nuestros. Las diferencias posiblemente se deben en parte a la técnica experimental, pues el grupo de CAMARGO trabajó con 20 plantas en cada tiesto, con el sistema radical de todas confinado en un volumen de 250 cc. Al concluir la investigación encontraron que los cafetos cultivados en las soluciones nutritivas ajustadas a un ámbito de pH 4,2 — 5,1 crecían mejor. Estos resultados no concuerdan con los nuestros; en la evaluación cuantitativa hecha, únicamente la altura de las plantas mostró diferencias significativas durante los cuatro meses siguientes a la iniciación de los tratamientos; al concluir la prueba de crecimiento, dos meses después, solamente el diámetro de los tallos resultó estadísticamente significativo. En este trabajo queda establecido que bajo las condiciones de este experimento no hubo diferencias significativas en cuanto al crecimiento de las plantas en un ámbito

de pH 5,5 — 7,5. Un efecto directo del pH del substrato fue posiblemente responsable de la menor respuesta del crecimiento que se obtuvo en los tratamientos extremos del lado ácido. Puesto que se hace aparente que la edad de la planta cuenta en la respuesta al tratamiento sería conveniente investigar los efectos directos e indirectos del pH en plantas de café adultas.

RESUMEN

Se estudió el efecto de la concentración del ión hidronio del substrato en el crecimiento y la absorción de cafetos jóvenes.

La evaluación se realizó en condiciones de invernadero y se inició con plantas pequeñas en estado de "hojas cotiledonales abiertas".

La evaluación cuantitativa de la respuesta de las plantas a los tratamientos se hizo con base en mediciones de rutina, entre las que se citan: a) volumen del sistema radical; b) altura y diámetro de los tallos; c) área foliar; d) número de pares de hojas; e) producción de materia seca.

Se estudió la absorción de los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Las cifras de absorción neta se obtuvieron por diferencia, mediante análisis químico del propio substrato, por comparación con el contenido de nutrientes que componen la solución nutritiva original.

SUMMARY

The contribution deals with the effect of substrate reaction on the growth and uptake of nutrient elements shown by coffee seedlings grown under controlled conditions. Substrate pH was varied from 4 to 7.5 at intervals of 0.5 of a unit.

The reaction of the nutrient media had no effect on the absorption of nitrate-nitrogen, potassium and magnesium. The uptake of calcium and phosphorus was practically the same in treatments from pH 4 up to pH 6.5. The neutral and slightly alkaline treatments caused a sharp increase in the absorption of both calcium and phosphorus. The quantitative differences obtained in height, stem diameter, leaf area, dry matter content, etc., were not statistically significant at the end of the experiment, except for the stem diameter. The plant height data obtained at two-months intervals between the date of transplanting and the date of harvesting were also statistically significant at early stages of growth. According to the results which illustrate the report, the plants grown in the nutrient solutions adjusted to pH 6.5 gave the highest yield throughout the evaluation of the growth experiment.

REFERENCIAS

1. ARNON, D. I.
1937. Ammonium and nitrate nitrogen nutrition of barley at different seasons in relation to hydrogen-ion concentration, manganese, copper and oxygen supply. *Soil Sci.*, 44: 91-121.
2. ARNON, D. I., W. E. FRATZKE & C. M. JOHNSON
1942. Hydrogen ion concentration in relation to absorption of inorganic nutrients by higher plants. *Plant Physiol.*, 17: 515-524.
3. ARNON, D. I. & C. M. JOHNSON
1942. Influence of hydrogen ion concentration on the growth of higher plants under controlled conditions. *Plant Physiol.*, 17: 525-539.
4. CAMARGO, T. DE., R. BOLLIGER & P. C. DE MELLO
1937. *Fisiologia vegetal. Sobre a influencia da concentraçao em ionios hydrogenio do meio de cultura sobre o desenvolvimento do do cafeeiro (Coffea arabica L.)*. Instituto Agronomico de Campinas. Brasil. Boletim tecnico N^o 3., 5 pp.
5. CORMACK, R. G. H.
1945. Cell elongation and the development of root hairs in tomato roots. *Am. J. Bot.*, 32: 490-496.
6. DE TURK, E. E.
1941. Plant nutrient deficiency symptoms. Physiological basis. *Indus. Engin. Chem.*, 33: 648-653.
7. FAWZY, H., R. OVERSTREET & L. JACOBSON
1954. The influence of hydrogen ion concentration on cation absorption by barley roots. *Plant Physiol.*, 29: 234-237.
8. HOAGLAND, D. R. & D. I. ARNON
1950. *The water - culture method for growing plants without soil*. California Agr. Exp. Sta., Circ. 347, 32 pp.
9. HOAGLAND, D. R. & T. C. BROYER
1940. Hydrogen-ion effect and the accumulation of salt by barley roots as influenced by metabolism. *Am. J. Bot.*, 27: 173-185.
10. JACKSON, M. L.
1958. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall, Inc. 498 pp.
11. JACOBSON, L., R. OVERSTREET, R. M. CARLSON & J. A. CHASTAIN
1957. The effect of pH and temperature on the absorption of potassium and bromide by barley roots. *Plant Physiol.*, 32: 658-662.
12. KORDATZKI, W.
1948. *Manual para la medida práctica del pH*. Ed. Manuel Marín. Barcelona, España. 286 pp.

13. NIELSEN, T. R. & R. OVERSTREET
1955. A study of the role of the hydrogen ion in the mechanism of potassium absorption by excised barley roots. *Plant Physiol.*, 30: 303-309.
14. OERTLY, J. J. & L. JACOBSON
1960. Some quantitative considerations in iron nutrition of higher plants. *Plant Physiol.*, 35: 683-688.
15. PARKS, R. Q., S. L. HOOD, CH. HURWITZ & G. H. ELLIS
1943. Quantitative chemical microdeterminations of twelve elements in plant tissue. *Indus. Engin. Chem., Anal. Ed.*, 15: 527-533.
16. REED, H. S. & A. R. C. HASS
1924. The effect of hydrogen-ion concentration on the growth of walnut roots. *Am. J. Bot.*, 11: 78-85.
17. SCHMEHL, W. R., M. PEECH & R. BRADFIELD
1950. Causes of poor growth of plants on acid soils and beneficial effects of liming: I. Evaluation of factors responsible for acid-soil injury. *Soil Sci.*, 70: 393-410.
18. STEINBERG, R. A.
1951. Influence of acidity, calcium and magnesium on growth of Xanti tobacco in water-culture. *Plant Physiol.*, 26: 37-44.
19. TRUOG, E.
1953. Soil as a medium for plant growth. En: *Mineral nutrition of plants*. Ed. E. Truog: 23-55. Univ. Wisconsin Press.
20. VLAMIS, J. & D. E. WILLIAMS
1962. Ion competition in manganese uptake by barley plants. *Plant Physiol.*, 37: 650-655.

Figs. 1 y 2. Apariencia de las plantas al concluir el experimento.
La línea graduada que aparece al fondo está dada en centímetros.

