

EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LA LIXIVIACION DE NITRATO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO EN UN ANDEPT DE COSTA RICA ^{1/}

Rolando Pacheco *
Miguel Angel González *
Jorge A. Briceño *

ABSTRACT

Effect of split applications of nitrogen on the mobility of nitrate, potassium, calcium and magnesium in an Andept of Costa Rica. The effect of split applications of nitrogen fertilizer on the downward movement of nitrate, calcium, magnesium and potassium was studied under field conditions. The experiment was located in a two year old coffee plantation, at the Centro de Investigaciones en Café (CICAPE), Barva, Heredia, planted at 800 masl, with a precipitation of 2000 mm yr⁻¹. Ammonium nitrate was used at the rate of 300 kg N ha⁻¹ in a single application at the beginning of the rainy season and the same amount in two and three applications equally divided applied in May and August or, May, August and November. Soil water samplers were placed at 15, 30, 60 and 90 cm depths and soil solution samples were collected twice a week from May 1982 to July 1983. The samples were analyzed for nitrate, calcium, potassium and magnesium. The results indicate that under the three treatments the nitrate concentration increased rapidly at 30 cm depth. When the whole amount of N was applied in May or when it was split in two applications the nitrate concentration increased at 60 and 90 cm depth one and two months later, respectively. However, when the N-fertilizer was split in three applications nitrate increased slightly at 90 cm two months later. The movement of K, Ca and Mg in the soil solution was also affected by the nitrogen fertilization. The highest concentration of these cations was found when N-fertilizer was applied at once in May. The effect was more evident for Mg, and K was the least affected cation. Soil solution samples collected at the beginning of the rainy season in 1983 for all the treatments showed relatively high concentrations of NO₃⁻, but also K, Ca and Mg were found to be high, mainly at 15 and 30 cm depth.

INTRODUCCION

Bajo condiciones de precipitación alta, como las que se presentan durante 6 meses al año en el Valle Central de Costa Rica, es de esperar que los

fertilizantes solubles se pierden rápidamente por lixiviación. Se sabe además que los suelos derivados de cenizas volcánicas son muy porosos y presentan valores medios y altos de conductividad hidráulica (González *et al.*, 1986), lo que aumentaría las posibilidades de pérdida de los fertilizantes solubles. No obstante, estudios anteriores (Espinoza *et al.*, 1975; León y Pratt, 1974; Schalsha *et al.*, 1974), evidencian que en el caso del nitrato, tal pérdida procede en forma lenta, lo cual indica que

1/ Recibido para publicación el 8 de enero de 1986.

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

puede existir cierta retención de dicho anión. Una práctica corriente en estos suelos dedicados al cultivo de café es la adición de 300 kg ha^{-1} de N fraccionada en 3 aplicaciones, durante la estación lluviosa. Este procedimiento pretende minimizar la pérdida y por ende, aumentar la utilización de este elemento por los cafetos con la correspondiente economía de fertilizante. Además, se tiene información de que la urea y el nitrato de amonio, cuando se aplican en grandes cantidades, pueden provocar lixiviación de otros cationes esenciales como el calcio y el magnesio, (González, *et al.*, 1986).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la lixiviación de nitrato, calcio, magnesio y potasio en relación al fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en un suelo volcánico cafetalero de Costa Rica.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio es complementario de un trabajo efectuado durante 1981 (González *et al.*, 1986) en el cual se describen las condiciones experimentales y las características del suelo.

La dosis usual de fertilización nitrogenada (300 kg ha^{-1} de N por año) se aplicó en forma de nitrato de amonio a plantas de café cultivar Cati-mor de 2 años de edad. El fertilizante se distribuyó en una banda a 10 cm de ancho separada 20 cm del tronco.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- 300 kg ha^{-1} en mayo
- 150 kg ha^{-1} en mayo y 150 kg ha^{-1} en agosto
- 100 kg ha^{-1} en mayo, 100 kg ha^{-1} en agosto y 100 kg ha^{-1} en noviembre.

En cada tratamiento hubo cuatro repeticiones y la parcela experimental consistió de una planta de café. Se tomaron muestras de la solución del suelo dos veces por semana a 15, 30, 60 y 90 cm de profundidad, con la ayuda de muestreadores de agua del suelo instalados a la banda de fertilización.

Los muestreos se efectuaron durante la estación lluviosa de 1982 y se continuaron una vez reiniciadas las lluvias hasta julio de 1983.

Las muestras fueron analizadas por nitrato según el método de la brucina (IITA, 1979) y por calcio, magnesio y potasio mediante espectrofotometría de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente estudio el descenso en la concentración de nitrato, calcio, potasio y magnesio en la solución del suelo a una profundidad y el subsecuente aumento en la concentración de estos iones a otra profundidad mayor, se interpreta como movimiento vertical.

En general se encontró gran variabilidad en los datos obtenidos, no sólo entre repeticiones, sino también entre tratamientos de fertilización y épocas de toma de muestras. Dicha variabilidad ha sido informada para estudios de este tipo que emplearon una metodología similar (Hansen y Harris, 1975; Pratt, 1982). Según Pratt (1982) la conducta errática de los iones en el suelo es consecuencia del error experimental y de la variabilidad espacial del suelo. Se destaca también que el agua se mueve preferencialmente a través de una área limitada o número limitado de conjunto de poros en el suelo.

Movimiento de nitrato

Tratamiento con nitrato de amonio sin fraccionar

Al inicio del experimento (mayo) se determinó concentraciones de aproximadamente $1,50 \text{ mmoles (-) L}^{-1}$ a 15 y 30 cm de profundidad, las cuales descendieron rápidamente. De inmediato se empezó a notar un aumento de nitrato a 60 cm alcanzando un máximo a fines de junio y principios de julio. En este mes se notó un aumento a 90 cm. Esto indica que la pérdida del anión a profundidades mayores o iguales a 90 cm ocurrió dos meses después de la aplicación del fertilizante. De aquí en adelante se observa una concentración relativamente alta a 60 cm hasta finales de agosto. Posterior a una disminución en la precipitación durante agosto según se observa en la Figura 1, ocurrió un ligero aumento a 15 cm.

En adelante la concentración de nitrato resultó fluctuante entre $0,10$ y $0,60 \text{ mmoles (-) L}^{-1}$ para todas las profundidades, hasta el final de las lluvias. Los datos obtenidos al inicio de la estación lluviosa del siguiente año (1983) muestran una alta concentración de nitrato, principalmente a 15 cm ocurriendo luego un descenso rápido que resultó en una concentración similar y baja, a todas las profundidades estudiadas a mediados de julio.

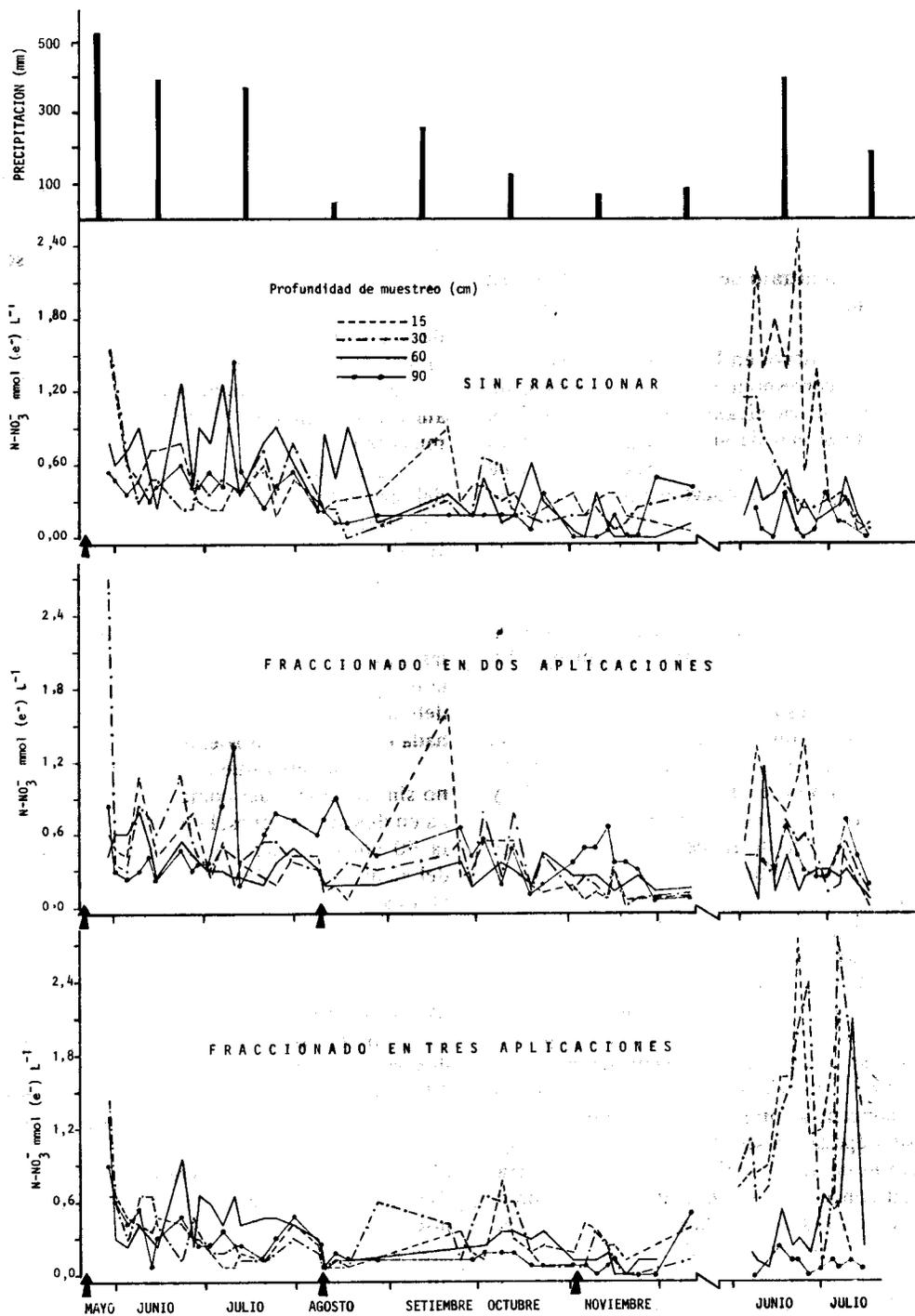


Fig. 1. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada sobre la movilidad de nitrato. Las flechas indican el tiempo de aplicación.

Al respecto Sánchez (1981) anota que, en condiciones tropicales ústicas se encuentra un patrón cíclico de fluctuaciones del nitrógeno inorgánico en el perfil del suelo; éste incluye movimiento ascendente del nitrato durante la estación seca, incrementos repentinos pero de corta duración de la mineralización al comienzo de la estación lluviosa y agotamiento gradual debido a la absorción y a la lixiviación.

Tratamiento con nitrato de amonio fraccionado en dos aplicaciones

Según se observa en la Figura 1 la aplicación del fertilizante correspondiente a mayo indujo un aumento en la concentración de nitratos a 15, 30 y 60 cm durante el mes de junio, luego se encontró un aumento a los 90 cm a mediados de julio la cual descendió y aumentó de nuevo manteniéndose entre 0,30 y 0,90 mmoles (-) L⁻¹ hasta noviembre.

La fertilización efectuada en agosto provocó un aumento en la concentración de nitrato principalmente a los 15 cm 1 mes después de la aplicación, luego posiblemente el desplazamiento vertical del anión condujo a un aumento a 30 cm en octubre.

Las cantidades relativamente altas de nitrato observadas a 90 cm durante agosto y setiembre son producto posiblemente de la segunda fertilización nitrogenada; los valores fluctuaron entre 0,30 y 0,90 mmoles (-) L⁻¹ hasta noviembre.

De nuevo, durante el mes de junio y julio de 1983 se encontró un aumento en la concentración de nitrato sobre todo a 15 cm y con menos intensidad, a las otras profundidades consideradas. Se observó una tendencia de disminución similar a la del primer tratamiento.

Al igual que en el caso anterior se observó movilización de nitrato hasta 90 cm. En el primer tratamiento se alcanzó una concentración de 1,5 mmoles (-) L⁻¹ en julio mientras que en este tratamiento la concentración fue de 1,3 mmoles (-) L⁻¹ en la misma época. La segunda aplicación de nitrato de amonio en agosto indujo a pérdidas de nitrato, pues su concentración aumentó a 90 cm inmediatamente después de la aplicación y se mantuvo alta durante los dos meses subsiguientes.

Tratamiento con nitrato de amonio fraccionado en tres aplicaciones

Cuando el nitrato de amonio se fraccionó en tres aplicaciones, igual que en los casos anteriores,

se encontró una concentración de nitrato inicialmente alta a todas las profundidades, la cual decreció en forma rápida.

Aproximadamente dos meses después de la primera aplicación se notó un incremento de nitrato a 60 cm, que se mantuvo relativamente alto hasta la segunda aplicación en agosto. Un ligero aumento de nitrato, se notó a 90 cm hasta finales de julio.

Después de la aplicación de agosto se observó un aumento en la concentración a 15 y 30 cm.

Un comportamiento similar se notó después de la tercera aplicación. No obstante las concentraciones de nitrato a 90 cm permanecieron bajas desde agosto hasta noviembre, se encontró un ligero aumento al final de la época lluviosa en el último muestreo.

Las muestras recolectadas en junio y julio del siguiente año mostraron concentraciones altas de nitrato a 15 y 30 cm, aunque también se observó una concentración relativamente alta a 60 cm. A 90 cm la concentración de nitrato fue la más baja.

En este tratamiento es donde se registraron las más altas concentraciones de nitrato al inicio de la estación lluviosa del siguiente año, posiblemente debido al efecto residual de la fertilización nitrogenada efectuada en noviembre.

Se concluye que cuando se aplica el nitrógeno sin fraccionar así como cuando éste se fracciona en dos aplicaciones, la lixiviación de nitrato hasta 90 cm es evidente y posiblemente las pérdidas del elemento son de importancia. Sin embargo, en el fraccionamiento de las dosis de nitrógeno en tres aplicaciones no se observaron aumentos notables de nitrato a la citada profundidad. Esto pone de manifiesto la ventaja en economía del fertilizante que se deriva con tal método de aplicación.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en un experimento previo (González *et al.*, 1986) se destaca la importancia de la distribución de la precipitación como factor que influye en el movimiento de nitrato. De nuevo en esta oportunidad se logró determinar retención de nitrato a profundidades inferiores a 90 cm, pero en forma menos evidente que en el primer estudio, esto posiblemente debido a que el fertilizante se aplicó en mayo en donde se registra una precipitación de aproximadamente 500 mm, mientras que en el estudio anterior la precipitación para ese mes fue de aproximadamente 375 mm. Además en este estudio las aplicaciones del fertilizante se efectuaron directamente a plantas de café en vez de suelo sin vegeta-

ción y posiblemente las raíces favorecieron la lixiviación al aumentar la capacidad de infiltración y por ende, la velocidad de arrastre de nitrato.

Las determinaciones efectuadas al inicio de la estación lluviosa del siguiente año revelaron que en todos los casos hubo concentraciones relativamente altas de nitrato. Esta tendencia fue evidente principalmente a 15 cm en todos los tratamientos y está relacionada con la nitrificación natural de los suelos y el acúmulo de nitrato durante la época seca (Greenland, 1958; Hardy, 1946a; Hardy, 1946 b).

En el tratamiento en donde el nitrato se fraccionó en tres aplicaciones se encontró además concentraciones altas a 30 y posteriormente a 60 cm de profundidad, posiblemente debido al efecto residual de la tercera aplicación nitrogenada.

Movimiento de potasio

Según se observa en la Figura 2 ninguno de los tratamientos tuvo un efecto notable sobre el aumento en la concentración de potasio en la solución del suelo para las profundidades consideradas. Únicamente cuando se aplicó el fertilizante nitrogenado de una vez en mayo se presentó un aumento de potasio a 15 y 60 cm un mes después. La concentración de potasio rara vez excedió 0,3 mmoles (+) L⁻¹ en el resto de los tratamientos.

Las determinaciones de potasio efectuadas a principios de la estación lluviosa del siguiente año no revelaron aumentos de consideración en la concentración de potasio en la solución del suelo.

Estos datos corroboran observaciones anteriores (González *et al.*, 1986) en donde se determinó que precisamente el potasio es el catión menos afectado por la aplicación de fertilizantes nitrogenados en este tipo de suelo.

Movimiento del calcio

Tratamiento con nitrato de amonio sin fraccionar

En este tratamiento se observó, después de la aplicación del fertilizante un aumento en la concentración de calcio a 30 cm la cual se mantuvo alta hasta la última semana de junio y luego descendió bruscamente, manteniéndose baja hasta el final de la estación lluviosa. También a 60 cm ocurrió un incremento en la concentración de calcio con valores máximos de 0,84 mmoles (+) L⁻¹ en los meses de junio, julio y principios de agosto (Figura 3).

Durante el resto del experimento las concentraciones de calcio se mantuvieron bajas a todas las profundidades. Las determinaciones hechas durante el principio de la estación lluviosa del siguiente año (1983) mostraron aumentos considerables de calcio en la solución a 15 cm únicamente.

Tratamiento con nitrato de amonio fraccionado en dos aplicaciones

La primera aplicación del fertilizante indujo a un marcado aumento en la concentración de calcio a 15 cm y de menor magnitud a 90 cm.

Durante el resto del período experimental la concentración de calcio se mantuvo baja y relativamente constante. La segunda aplicación produjo también un aumento a 15 cm principalmente y a 30 cm con menos intensidad. Tales concentraciones descendieron durante el mes de octubre y se mantuvieron bajas durante el resto del año.

Al igual que en el tratamiento anterior las mediciones hechas al inicio de la estación lluviosa del siguiente año mostraron aumentos en la concentración de calcio sobre todo a 15 cm de profundidad.

Tratamiento con nitrato de amonio fraccionado en tres aplicaciones

En este tratamiento se encontró que después de la primera aplicación ocurrió un aumento de calcio en la solución del suelo a 30 cm. Luego se observó otro incremento a 15 cm durante octubre el cual no coincide con aplicación alguna de fertilizante.

En el siguiente año a principios de la estación lluviosa se determinaron altas concentraciones de calcio a 15 y 30 cm, principalmente.

Los datos muestran que la fertilización nitrogenada provocó aumentos en la concentración de calcio en la solución del suelo; dichos aumentos ocurrieron principalmente a 15 y 30 cm y con menos intensidad a 60 cm. Estos incrementos fueron más evidentes cuando la fertilización nitrogenada se aplicó sin fraccionar. Resultados similares se obtuvieron en un experimento anterior (González *et al.*, 1986) en la misma localidad. El aumento en la concentración de calcio que se observó al inicio de la estación lluviosa del siguiente año no tuvo relación aparente con la fertilización nitrogenada precedente.

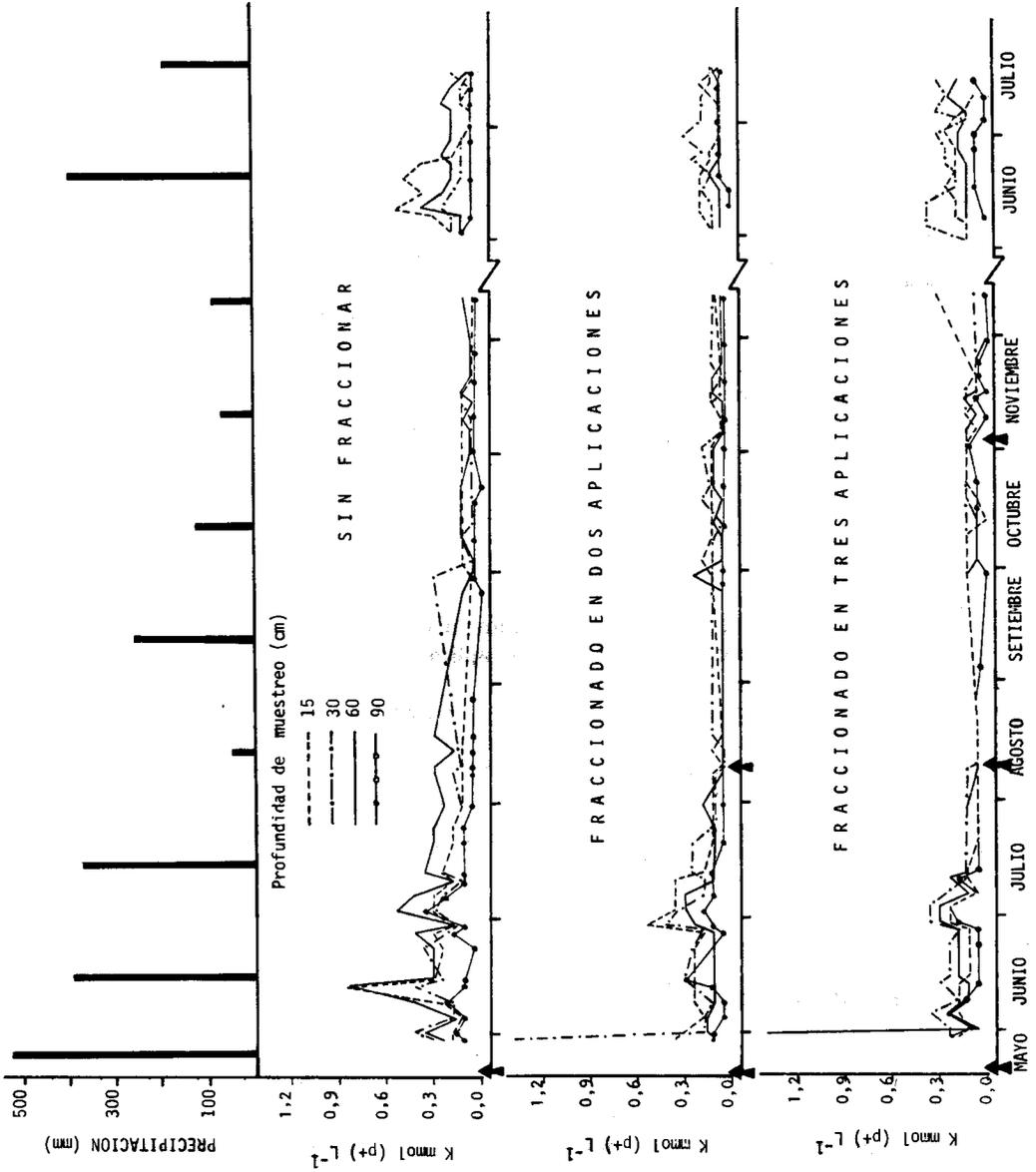


Fig. 2. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada sobre la movilidad de potasio. Las flechas indican el tiempo de aplicación.

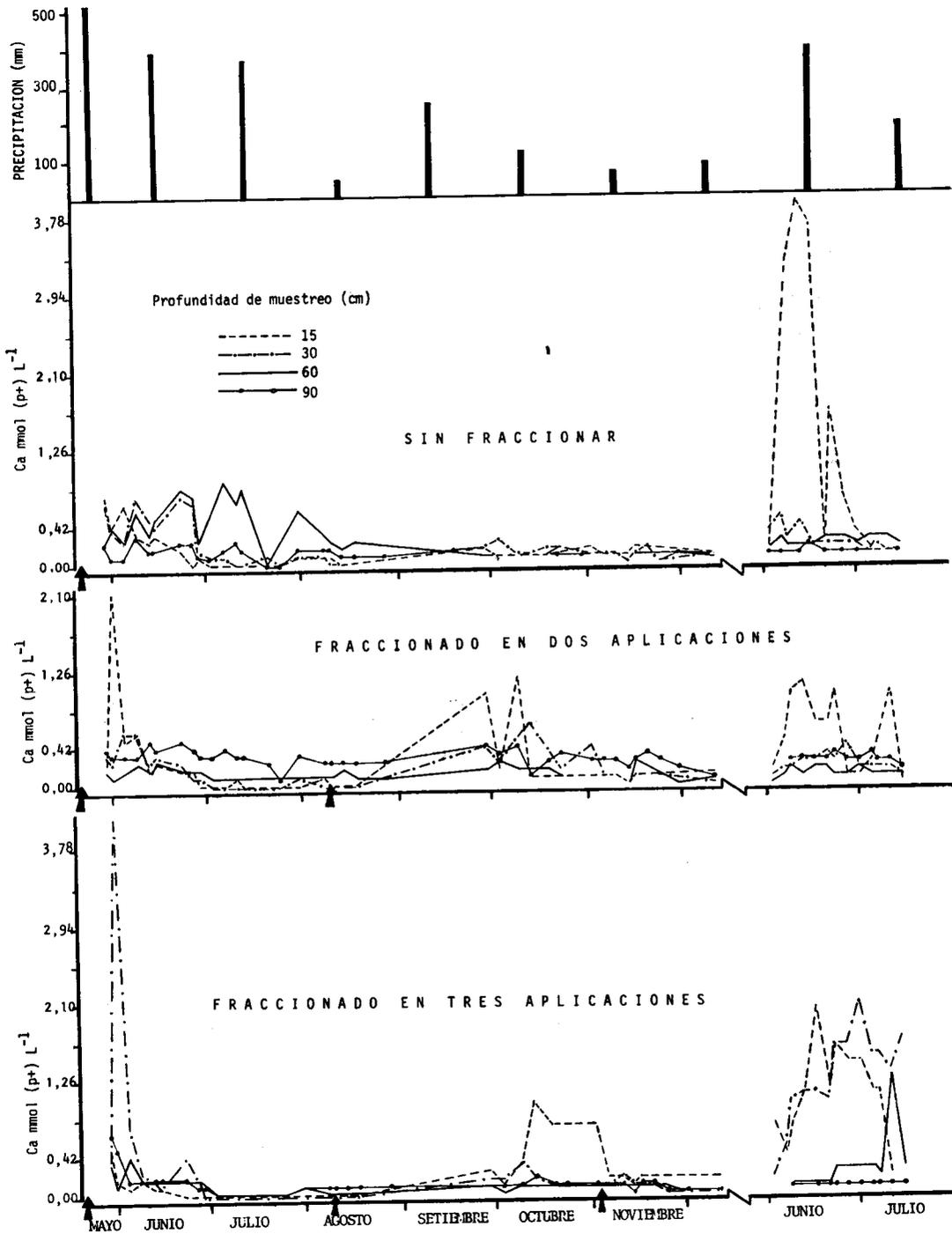


Fig. 3. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada sobre la movilidad de calcio. Las flechas indican el tiempo de aplicación.

No se tiene información para explicar el aumento observado en la concentración de calcio que se registra en este período.

Movimiento de magnesio

Tratamiento con nitrato de amonio sin fraccionar

La aplicación de fertilizante nitrogenado sin fraccionar provocó un aumento notorio en la concentración de magnesio a 30, 60 y 90 cm dos semanas después de la aplicación en donde se alcanzó hasta 2,7 mmoles (+) L⁻¹ a 90 cm. Posteriormente las concentraciones decrecieron manteniéndose más altas a 60 cm hasta principios de octubre. Debido al marcado aumento en la concentración de magnesio a 90 cm poco tiempo después de la aplicación del fertilizante nitrogenado, se deduce que éste, aplicado sin fraccionar, debe tener un efecto intenso sobre la lixiviación del magnesio, a diferencia de los otros cationes estudiados. Tendencias similares fueron encontradas en este mismo suelo en un estudio previo (González *et al.*, 1986) (Figura 4).

Los datos obtenidos a principios de la estación lluviosa del siguiente año revelan concentraciones de magnesio más altas a 15 cm y posteriormente a 60 cm. Tales concentraciones son comparativamente inferiores a las de calcio encontradas en esta época pero similares a las de potasio.

Tratamiento con nitrato de amonio fraccionado en dos aplicaciones

Dos semanas después de la primera aplicación del fertilizante nitrogenado, se observó un incremento en la concentración de magnesio a 15 y 60 cm la cual descendió para luego aumentar a 30 y 90 cm, aproximadamente a finales de junio. A partir de esta fecha las concentraciones en ambas profundidades disminuyeron, aunque la más alta concentración se observó siempre a 90 cm. La segunda aplicación del fertilizante no provocó variaciones considerables en la concentración de magnesio en las diferentes profundidades excepto por un valor alto a 15 cm a finales de setiembre y otro a 30 cm, a mediados de octubre. Tampoco se observaron variaciones de interés en las determinaciones hechas el siguiente año a principios de la estación lluviosa.

Tratamiento con nitrato de amonio fraccionado en tres aplicaciones

En este tratamiento la primera aplicación del fertilizante también provocó un aumento en la concentración de magnesio a 15 y 60 cm, que descendió rápidamente.

La segunda y tercera aplicación del fertilizante nitrogenado no provocaron variaciones notables en las concentraciones de magnesio a las diferentes profundidades estudiadas a excepción de un incremento registrado a 15 cm durante octubre. En las muestras recolectadas en junio y julio del siguiente año se registraron altas concentraciones de magnesio sobre todo a 15 y 30 cm de profundidad.

En general, se observó que el fraccionamiento de nitrógeno en tres aplicaciones no provocó movimientos notables de magnesio y la concentración de este catión a 90 cm no aumentó en forma considerable. Sin embargo, se notó un desplazamiento vertical de magnesio cuando se fraccionó el fertilizante nitrogenado en dos aplicaciones y sobre todo, cuando se aplicó todo de una vez, en mayo.

Se concluye que en este tipo de suelo el catión más susceptible de perderse a consecuencia de la fertilización nitrogenada es el magnesio, lo que de nuevo corrobora resultados similares obtenidos previamente (González *et al.*, 1986).

CONCLUSIONES

De este estudio se deduce que el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada no sólo indujo a pérdidas menores de nitrato sino también de todos los iones considerados.

El fertilizante aplicado influyó diferencialmente en el movimiento de los cationes siendo afectados en el siguiente orden Mg > Ca > K.

Se encontró que al inicio de las estaciones lluviosas no sólo el nitrato se presenta en concentraciones relativamente altas como ya se ha determinado, sino que también el potasio, calcio y magnesio exhibieron un comportamiento similar en los horizontes superficiales.

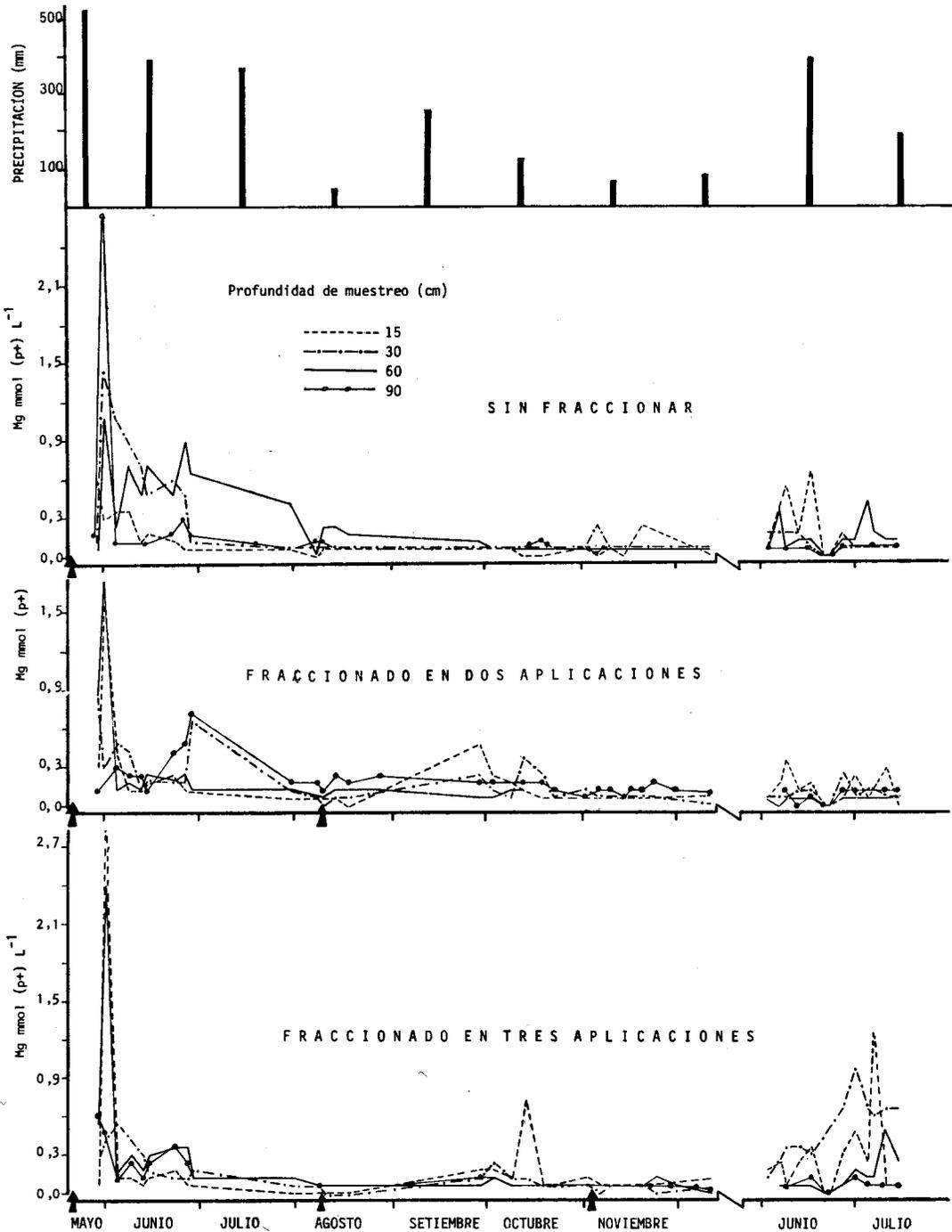


Fig. 4. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada sobre la movilidad de magnesio. Las flechas indican el tiempo de aplicación.

RESUMEN

Se estudió, en condiciones de campo, el efecto del fraccionamiento del fertilizante nitrogenado sobre el movimiento de nitrato, potasio, calcio y magnesio. El experimento se llevó a cabo en una plantación de café var. Catimor de dos años de edad en el Centro de Investigaciones en Café localizada en San Pedro de Barva, Heredia.

Se usó la dosis de 300 kg ha⁻¹ de N como nitrato de amonio el cual se aplicó sin fraccionar, fraccionado en dos y en tres partes.

Se tomaron muestras de la solución del suelo a 15, 30, 60 y 90 cm de profundidad, dos veces por semana desde mayo de 1982 hasta julio de 1983, con la ayuda de muestreadores de agua del suelo. Las muestras fueron analizadas por nitrato, calcio, magnesio y potasio.

Los resultados indicaron que bajo las tres formas de aplicación probadas, la concentración de nitrato aumentó rápidamente a 30 cm. Cuando el nitrato de amonio se aplicó sin fraccionar y fraccionado en dos partes se observó aumento en la concentración de nitrato a 60 y 90 cm uno y dos meses después, respectivamente. La fertilización fraccionada tres veces provocó solamente ligeros aumentos a 90 cm. La fertilización nitrogenada también influyó diferencialmente en la concentración de potasio, calcio y magnesio en la solución del suelo. La concentración de los tres cationes aumentó sobre todo cuando se aplicó la dosis de N sin fraccionar y disminuyó, proporcionalmente, cuando el fertilizante se fraccionó en dos y tres aplicaciones. Se observó que el magnesio fue el catión que aumentó más en la solución del suelo y el potasio fue el menos afectado.

Las determinaciones hechas al inicio de la estación lluviosa de 1983 evidenciaron en todos los tratamientos concentraciones relativamente altas tanto de nitrato como de calcio, magnesio y potasio principalmente a las profundidades de 15 y 30 cm.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la colaboración brindada por el director del Centro de Investigaciones en Café (CICAFE), Ing. Agr. Rodrigo Clevez por

las facilidades de campo brindadas, así como a la Oficina del Café y a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por la ayuda financiera otorgada para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- ESPINOZA, W.; GAST, R. G.; ADAMS, R. S. 1975. Charge characteristics and nitrate retention by two andepts from south-central Chile. *Soil Science Society of America Proceedings* 39 (5): 842-846.
- GONZALEZ, M. A.; PACHECO, R.; BRICEÑO, J. A. 1985. Efecto de la urea y del nitrato de amonio sobre la movilidad de nitrato, potasio, calcio y magnesio en un Dystrandept de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 9 (2):241-251.
- GREENLAND, D. J. 1958. Nitrate fluctuations in tropical soils. *Journal of Agricultural Science* 50: 82-91.
- HANSEN, E. A.; HARRIS, A. R. 1975. Validity of soil-water samples collected with porous ceramic cups. *Soil Science Society of America Proceedings* 39 (3) 528-536.
- HARDY, F. 1946 a. Seasonal fluctuations of soil moisture and nitrate in a humid tropical climate. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 23: 40-49.
- HARDY, F. 1946 b. The significance of carbon nitrogen ratios in soils growing cotton. III. Nitrate fluctuations in relation to planting date and soil manurial requirements in the British West Indies. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 23: 201-210.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1979. Selected methods for soil and plant analysis. Ibadan, Nigeria, IITA. Manual Series no. 1.
- LEON, L. A.; PRATT, P. F. 1974. Efectos agronómicos de la retención y lixiviación de nitratos en dos Andepts de Colombia. *Turrialba* 24 (4): 408-413.
- PRATT, P. F. 1982. Nitrate from effluents from irrigated lands. *In*. Nitrogen in agriculture. Ed. by F. J. Stevenson. American Society of Agronomy no. 22.
- SANCHEZ, P. 1981. Suelos del trópico. San José, IICA. p. 192.
- SCHALSHA, E. B.; PRATT, P. F.; DOMEQ, T. C. 1974. Nitrate adsorption by some volcanic-ash soils of Southern Chile. *Soil Science Society of America Proceedings* 38 (1): 44-45.