

EFFECTO DE LA UREA Y DEL NITRATO DE AMONIO SOBRE LA MOVILIDAD DE NITRATO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO EN UN Dystrandept DE COSTA RICA¹

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

ABSTRACT

Effect of urea and ammonium nitrate on the mobility of nitrate, potassium, calcium and magnesium in a Dystrandept of Costa Rica. A study was carried out to evaluate the downward movement of nitrates, calcium, magnesium and potassium in a volcanic ash soil at the Centro de Investigaciones en Café (CICAFE). Urea and ammonium nitrate were used at the rate of 300 kg N ha⁻¹ per year, applied in May and August. Soil water samples were taken at four depths (15, 30, 60 and 90 cm) twice a week during the rainy season and analysed for the above mentioned ions. Ammonium was not detected in the water samples.

Nitrate from both sources had similar mobility patterns in the soil profile. Since nitrate was found in low concentration at 90 cm, it was deduced that some retention might have taken place in this soil.

Potassium had a low mobility within the soil. However, the application of urea and ammonium nitrate induced calcium losses down to 60 cm but not to 90 cm. Magnesium concentration slightly increased at 90 cm during the experimental period mainly when ammonium nitrate was applied. The high losses, that occurred after August, are related to the deficiency symptoms of magnesium in coffee plants, usually present at this time of the year.

INTRODUCCION

El nitrógeno es el principal elemento en la fertilización del café en los suelos volcánicos del Valle Central de Costa Rica. Su abastecimiento para el normal desarrollo de las plantas es afectado por varios factores. Uno de ellos es el movimiento vertical, que puede desplazar al nitrógeno fuera de la zona de absorción radicular y que culmina con la pérdida del nutrimento en el agua subterránea. Este es probablemente el medio por el cual se pierde mayor cantidad de nitrógeno proveniente de la

nitrificación o aplicado como fertilizante nítrico. Dicha pérdida está sujeta a los regímenes de lluvia aunque puede ocurrir también cuando se irrigan los cultivos durante las épocas secas sobre todo en suelos derivados de cenizas volcánicas con conductividades hidráulicas moderadas a rápidas (8, 9).

No obstante aseverarse que la lixiviación de nitratos es la principal causa de pérdida de nitrógeno en las plantaciones de café (3), se cuenta con muy pocos datos al respecto (2).

El objetivo de este estudio fue determinar, en condiciones de campo, la lixiviación de nitratos, calcio, magnesio y potasio, que ocurre después de la aplicación de la fertilización nitrogenada en un suelo volcánico de Costa Rica dedicado al cultivo del café.

1 Recibido para su publicación el 23 de abril de 1985.

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

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en la finca del Centro de Investigaciones en Café (CICAFE) ubicado en San Pedro de Barva, Heredia, a una altitud de 1180 msnm, una precipitación anual para 1981 de 3054,5 mm (Fig. 1) y una temperatura media anual de 19 C.

El suelo experimental es un Typic Dystrandept y ha sido caracterizado por Vásquez*, según se transcribe en el Cuadro 1. En el Cuadro 2 se presentan algunas características químicas y físicas del suelo en cuestión. También se determinó la infiltración instantánea del agua, por el método del infiltrómetro (7) obteniéndose valores que varían entre 7 y 32 cm h⁻¹, con un promedio de 18 cm h⁻¹.

El experimento consistió en medir la lixiviación de nitratos, calcio, magnesio y potasio que resulta al adicionar al suelo la dosis normal de fertilizante nitrogenado (300 kg ha⁻¹ por año de N, en dos aplicaciones) a las plantaciones de café. Las fuentes de nitrógeno fueron nitrato de amonio y urea, que se aplicaron a razón de 150 kg ha⁻¹ de N el 5 de mayo y el 25 de agosto de 1981.

El diseño experimental consistió en bloques al azar con parcelas subdivididas y cuatro repeticiones. La parcela útil fue de 1 m², en la cual se distribuyó el fertilizante nitrogenado. Se incluyó una parcela testigo sin fertilizante. El experimento fue instalado el 5 de mayo de 1981, al inicio de la estación lluviosa. Dos veces por semana se tomaron muestras de la solución del suelo a 15, 30, 60 y 90 cm de profundidad, mediante el uso de muestreadores de agua del suelo. Estos consisten de tubos de plástico de 4,5 cm de diámetro interno y de profundidad variable. En el extremo inferior se instaló una copa porosa permeable a la solución del suelo. En el otro extremo se conectó un tapón de hule con un agujero, desde el cual se aplicó succión (40 cb), por medio de una bomba manual.

Las muestras fueron analizadas por nitratos según el método descrito por Stahr (19) y por Ca, Mg y K, los cuales fueron determinados directamente en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 303. No fue posible encontrar nitrógeno amoniacal en las muestras de agua analizadas. Además, se midieron los volúmenes de agua recolectados en cada oportunidad,

así como los valores de centibares en tensiómetros instalados en las mismas profundidades que los muestreadores. Se efectuaron en total 52 muestreos, que fueron analizados estadísticamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Movimiento de nitratos

En la Fig. 2 se presentan las concentraciones de nitratos en el agua del suelo, recolectada a diferentes profundidades en el período correspondiente a mayo-diciembre.

Tratamiento sin fertilización nitrogenada. En las parcelas testigo se encontró, al inicio de las mediciones, concentraciones relativamente altas de nitratos a 15 y 30 cm de profundidad correspondientes posiblemente a nitrificaciones o movimientos ascendentes, que tuvieron lugar durante el verano anterior y cuyo producto se acumuló en los horizontes superficiales. Estas concentraciones en la profundidad de 30 cm, bajaron desde aproximadamente 3,5 hasta 1,5 mmol (e⁻)L⁻¹ de nitrato un mes después de iniciado el experimento, coincidiendo con el pleno establecimiento de la estación lluviosa. Posteriormente, en las parcelas testigo se encontraron para todas las profundidades estudiadas concentraciones de aproximadamente 1 mmol (e⁻)L⁻¹. Cabe destacar dos casos en que las concentraciones de nitratos fueron excepcionalmente altas, una a finales de agosto y otra a principios de octubre, en donde las concentraciones se elevaron hasta 5,5 y 4,0 mmol (e⁻)L⁻¹, respectivamente. En el primer caso esto se encontró en las profundidades correspondientes a 60 cm, con valores menores para las de 15 y 30 cm. En el segundo caso, la alta concentración correspondió a la pro-

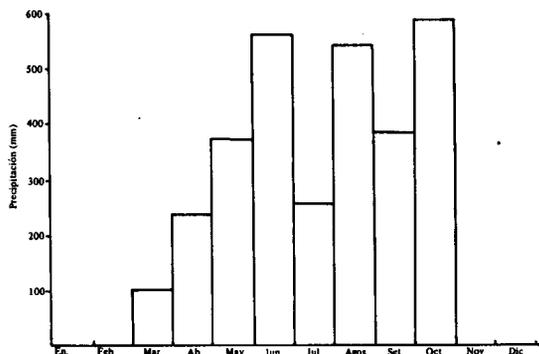


Fig. 1. Distribución de la precipitación en el período experimental (1981).

* Vásquez, A. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Comunicación personal.

Cuadro 1. Descripción del suelo experimental.

I. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SITIO DE LA MUESTRA

Clasificación: Typic Dystrandept

Fecha de observación: 9 de junio de 1981

Ubicación: Estación CICAPE, Heredia 100 m Norte del Edificio Principal

Altitud: 1180 msnm.

Forma del terreno: a) Posición fisiográfica: planicie

b) Forma del terreno circundante: plano a ligeramente inclinado.

Pendiente: 3%

Uso de la tierra: café (experimentos)

II. INFORMACION GENERAL ACERCA DEL SUELO

Material matriz: cenizas volcánicas recientes

Drenaje: bueno

Capa freática: muy profunda

Pedregosidad y/o rocosidad: ausentes

Erosión: laminar ligera

Sales y/o álcalis: no evidentes

III. DESCRIPCION DEL PERFIL

Ap 0–26 cm	Pardo muy oscuro (10YR2/2) en húmedo, franco arcilloso; bloques subangulares medios débiles a migajosa fina moderada, no adherente y no plástico en mojado, muy friable en húmedo, poros comunes medios, abundantes finos y muy finos, raíces abundantes medias finas y muy finas, límite claro plano, pH 5,5.
A ₁₂ 26–45 cm	Pardo oscuro a pardo grisáceo oscuro (10YR3/2,5) en húmedo, franco arcilloso, bloques subangulares medios moderados a débiles a granular fina débil, no adherente y ligeramente plástico en mojado, muy friable en húmedo, poros escasos gruesos y medios abundantes finos y muy finos, raíces abundantes medias, finas y muy finas, límite claro plano, pH 5,2.
B ₂₁ 45–73 cm	Pardo oscuro (7,5YR3/4) en húmedo, franco arcilloso, bloques subangulares medios y finos moderados a granular fina débil, no adherente y ligeramente plástico en mojado, friable en húmedo, poros escasos medios, abundantes finos y muy finos, raíces comunes finas y muy finas, límite gradual ondulado, pH 5,3.
B ₂₂ 73–126 cm	Pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo, arcillo arenoso a franco arcillo arenoso, bloques subangulares medios y finos moderados a granular fina moderada, ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado, friable a firme en húmedo, poros abundantes finos y muy finos, raíces comunes a escasas finas y muy finas, límite gradual ondulado, pH 5,5.
B ₂₃ 126–211 cm	Pardo amarillento oscuro (10YR3/4) en húmedo, franco a franco arenoso, bloques subangulares medios y finos moderados a granular fina moderada, ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado, friable en húmedo, poros abundantes finos y muy finos; raíces escasas finas y muy finas, pH 5,7.

fundidad de 90 cm. No se ha encontrado una explicación lógica para este comportamiento en el movimiento de los nitratos en la parcela testigo. Al respecto, Sánchez (16) anota que cuando ocurren sequías cortas durante la estación lluviosa, éstas son seguidas de pronunciados pero pequeños aumentos de nitrógeno inorgánico y luego de disminuciones graduales. Estos picos de corta duración llamados incrementos repentinos fueron descritos primero por Hardy en 1946 (11, 12).

Tratamiento con nitrato de amonio. En las parcelas experimentales que recibieron nitrato de amonio, en dos aplicaciones de 150 kg ha⁻¹ de N cada una, en mayo y agosto, se encontró un enriquecimiento inicial de nitratos en el agua recolectada a 15 cm hasta el mes de junio. A partir de este mes las concentraciones bajaron y se notó un aumento de nitratos a 30 cm, hasta el mes de julio. Las concentraciones de nitratos a 60 cm también subieron a partir de junio, obteniéndose los valores más altos en julio y agosto.

Después de la segunda fertilización nitrogenada de agosto se notó un fuerte incremento en la concentración de nitratos a 90 cm y a la vez a 15 cm de profundidad en el suelo, con incrementos menores a 30 y 60 cm. Probablemente con la aplicación de nitrato de amonio en el suelo completamente húmedo se provoca una fuerte pérdida de los nitratos a profundidades iguales o mayores a los 90 cm de profundidad, lo que no ocurrió al aplicar la fuente nitrogenada al inicio de la época lluviosa. Se considera que la alta concentración de nitratos observada en las parcelas testigo, en esta época puede deberse a movimientos laterales de los nitratos en el agua del suelo, los que permitieron una "contaminación" del agua en las parcelas tes-

tigo, no obstante la existencia de bordes adecuados.

A partir de este incremento después de la fertilización se notó una fuerte disminución en la concentración a 90 cm y un aumento progresivo a las profundidades de 15 cm hasta el mes de octubre, en donde las concentraciones mayores aparecen a 60 y 90 cm de profundidad. Destaca el hecho de que durante los primeros meses de observaciones, a saber, mayo a agosto, las concentraciones de nitratos en el agua del suelo recolectada a 90 cm de profundidad no se incrementaron de manera notable, deduciéndose que no ocurrieron pérdidas significativas de este nutrimento a tales profundidades. Las mayores concentraciones fluctuaron entre 15 y 60 cm, que corresponden a una zona del suelo explorable por las raíces del café. Este hecho indica que deben existir mecanismos de retención de nitratos en este suelo volcánico que impiden una rápida lixiviación de los mismos, sobre todo al aplicarse una fuente tan soluble como el nitrato de amonio.

Tratamiento con urea. La presencia de nitratos se determinó a 15 cm de profundidad aproximadamente dos semanas después de aplicada la urea. Se considera que esta diferencia de comportamiento con el nitrato de amonio correspondió al tiempo necesario para la hidrólisis y nitrificación de la urea; esto concuerda con las observaciones de Fassbender (6) y Greenland (10), quienes encontraron una fuerte activación de la nitrificación al inicio de la época lluviosa. A partir de ese momento se notó que las concentraciones a la profundidad de 15 cm tuvieron tendencia descendente hasta la siguiente fertilización en agosto. A la vez, se notó

Cuadro 2. Características químicas y físicas del suelo experimental.

Horizonte	Profundidad cm.	pH H ₂ O	M.O. %	Ca Mg K CIC cmol (p+) kg ⁻¹				Saturación bases %	Humedad 1/3 15 atmósfera atmósferas %		Densidad Aparente Partículas g cm ⁻³		Porosidad Arena Limo Arcilla %			
Ap	0-26	5,5	8,3	3,7	0,8	1,1	33,3	17	47,1	34,5	1,1	2,1	49	34	39	27
A ₁₂	26-45	5,2	5,6	3,6	1,0	1,5	31,3	20	44,9	33,2	0,9	2,2	58	37	34	29
B ₂₁	45-73	5,3	3,2	2,9	1,1	2,6	21,8	21	46,5	34,4	1,1	2,2	53	30	39	31
B ₂₂	73-126	5,5	2,4	4,6	1,7	1,8	27,8	30	47,6	36,1	1,2	2,2	46	63	2	35
B ₂₃	126-211	5,7	4,0	6,5	2,6	0,6	29,3	34	44,7	33,1	1,1	2,2	50	50	35	15

* Datos obtenidos de muestras recolectadas por el Ing. Agr. Alexis Vásquez M. en la Unidad de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. Se utilizó la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (4).

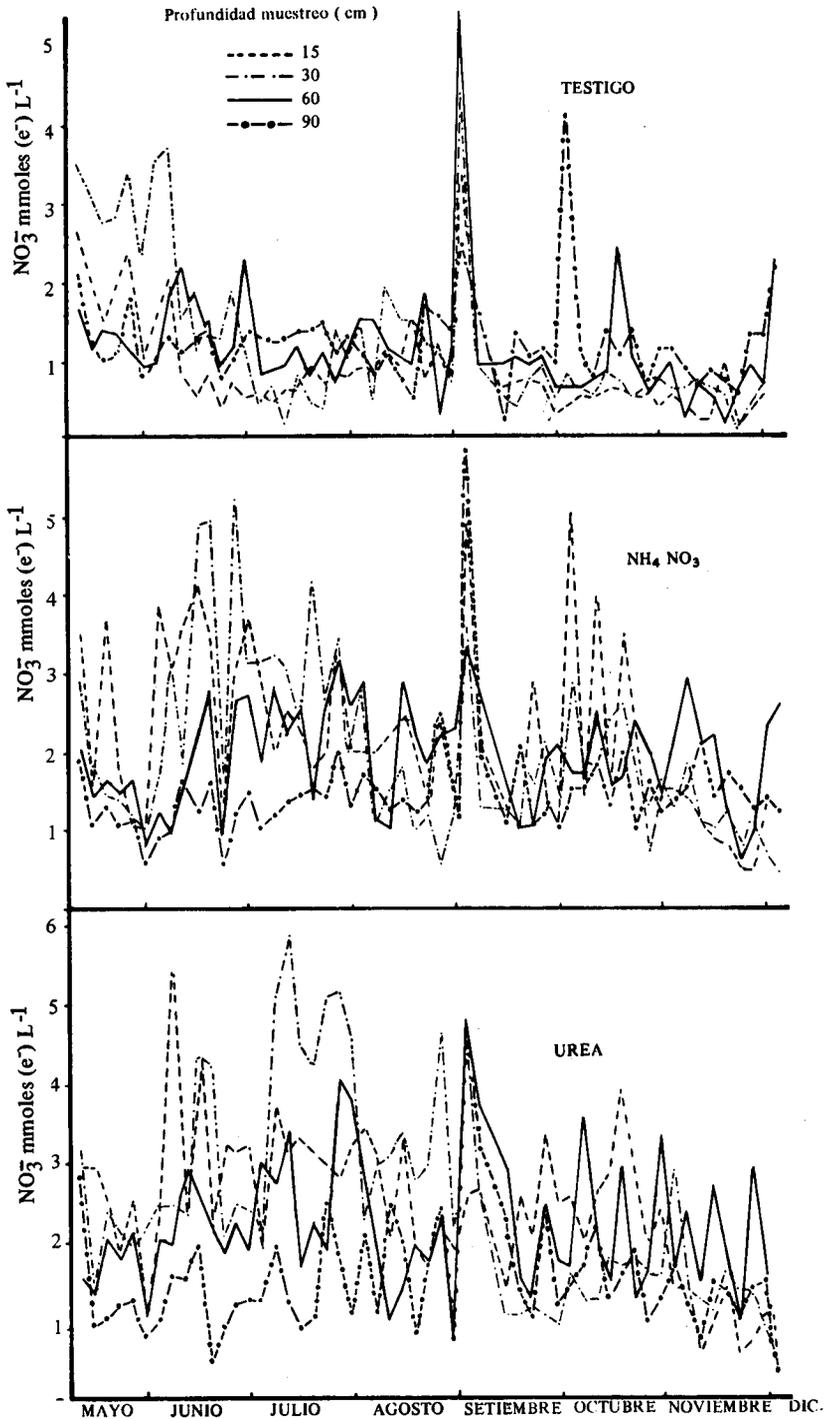


Fig. 2. Variación en la concentración de nitrato en la solución del suelo a diferentes profundidades.

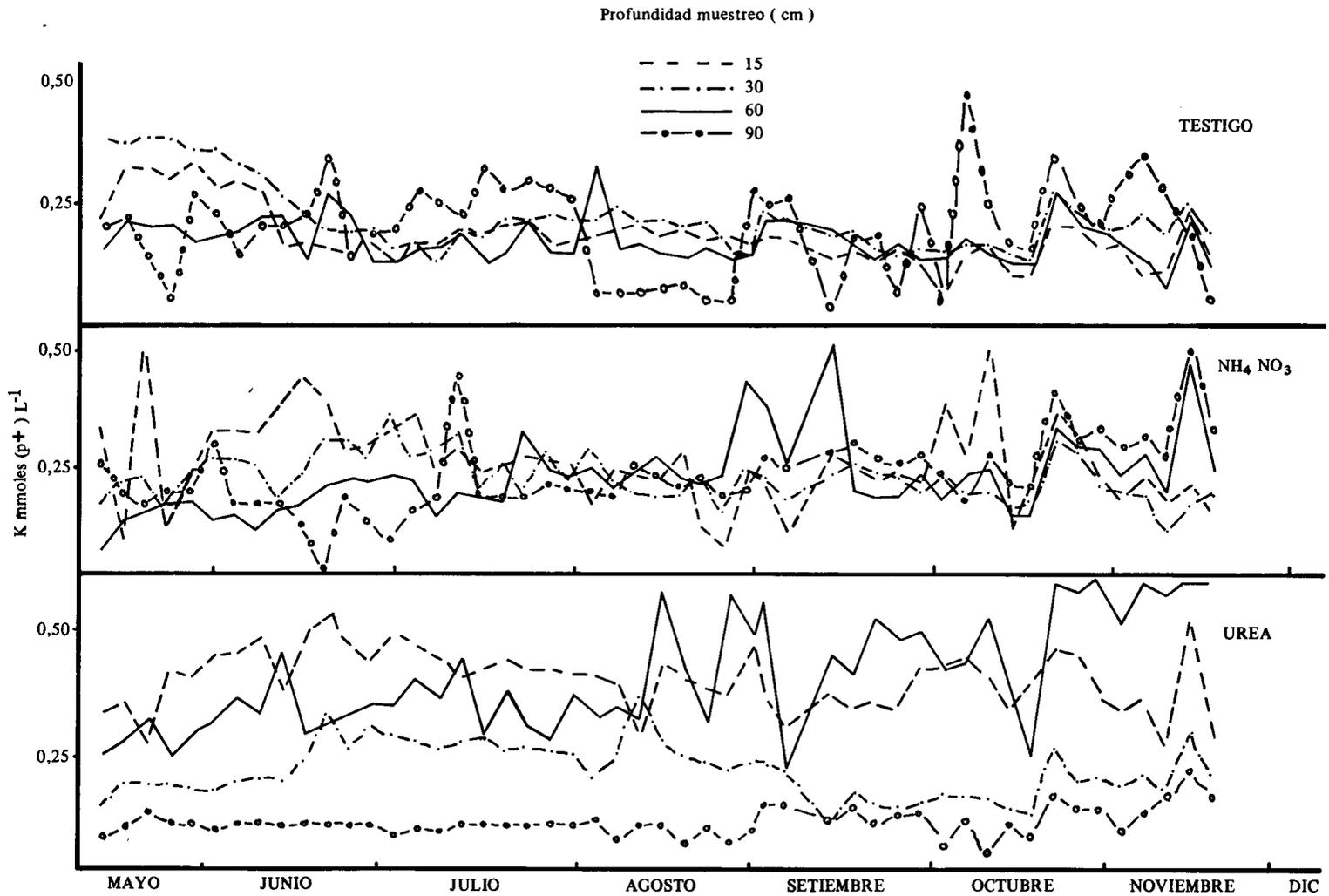


Fig. 3. Variación en la concentración de potasio en la solución del suelo a diferentes profundidades.

un incremento considerable de nitratos a 30 cm de profundidad hasta el mes de agosto. Las muestras recolectadas a 60 cm tuvieron valores fluctuantes siempre menores que los correspondientes a las muestras a 15 y 30 cm; también a 90 cm se encontraron valores que oscilaron entre aproximadamente 1 y 2 mmol (e⁻)L⁻¹ de nitrato. En ningún momento se encontró un aumento considerable de nitratos a 90 cm en las muestras tomadas de mayo hasta la fertilización de agosto. Esto indica que los nitratos permanecieron en las capas del suelo arriba de los 90 cm durante aproximadamente cuatro meses. Después de la fertilización del 25 de agosto se notó un fuerte aumento en la concentración de nitratos en todas las profundidades consideradas; posteriormente se determinó una disminución en la concentración de nitratos en todos los casos. En los meses siguientes las mayores concentraciones se presentaron principalmente a 15 y 60 cm de profundidad.

Se concluye que la movilidad de nitratos procedentes de los fertilizantes aplicados fue menor en la primera aplicación que en la segunda. En relación a las fuentes nitrogenadas usadas, el nitrato proveniente tanto de la urea como del nitrato de amonio tuvo una movilidad similar.

Debido a la baja magnitud de la concentración de nitratos encontrada a la profundidad de 90 cm, se deduce que el suelo en estudio tiende a retener dicha forma nitrogenada y que el proceso de lixiviación se lleva a cabo más lentamente en comparación con suelos no volcánicos (18). La retención o adsorción de nitratos en suelos volcánicos ha sido reportada en la literatura (5, 14, 17); esto se debe principalmente a dos factores: presencia de materia orgánica e intercambio aniónico. En la mayoría de los suelos, sin embargo, el complejo de intercambio aniónico como fenómeno de retención de nitratos sólo tiene importancia en suelos fuertemente ácidos (17). No obstante en suelos volcánicos debido a la presencia de alofana existe la capacidad de retener iones como fluoruro, fosfato, cloruro y sulfato (13) y ésta debe influir en la adsorción de nitrato, aunque en menor grado.

Movimiento de potasio (Fig. 3)

Tratamiento sin fertilización nitrogenada. La concentración de potasio en el agua del suelo en las parcelas testigo, de mayo a diciembre, mostró pocas variaciones a las diferentes profundidades analizadas. La mayoría de los datos oscilaron alrededor de 0,25 mmol (p +)L⁻¹ de K. Solamente se encontró un aumento en la concentración de

este elemento en la profundidad de 90 cm a partir de octubre, relacionada posiblemente con la alta precipitación de ese mes.

Tratamiento con nitrato de amonio. En este tratamiento se observó un comportamiento similar al encontrado en las parcelas testigo. Las concentraciones fluctuaron alrededor de 0,25 mmol (p +)L⁻¹ para todas las muestras recolectadas a las diferentes profundidades; en general, se observó gran variabilidad en los datos.

Tratamiento con urea. Las concentraciones de potasio correspondientes a las profundidades de 15 y 60 cm se mantuvieron arriba de 0,25 mmol (p +)L⁻¹ durante la estación lluviosa. A partir de agosto, los valores correspondientes a 60 cm fueron los más altos observados hasta alcanzar cerca de 0,60 mmol (p +)L⁻¹ en noviembre. Las muestras recolectadas a 30 y 90 cm mostraron poca variación durante el tiempo experimental. Los valores más bajos correspondieron a 90 cm.

Estos resultados indican una baja movilidad del K en este suelo. En contraste, Abruña y colaboradores (1) determinaron en suelos no volcánicos que el K se perdió más rápidamente que otras bases a niveles altos de fertilización nitrogenada. Estos autores no encontraron una zona de acumulación de este elemento en el subsuelo.

Movimiento de calcio (Fig. 4)

Tratamiento sin fertilización nitrogenada. Las muestras de solución del suelo recolectadas durante mayo mostraron concentraciones de calcio a 30 cm mucho más altas que a las otras profundidades estudiadas. A partir de junio los valores oscilaron entre 0,50 y 1,0 mmol (p +)L⁻¹ en las profundidades consideradas.

Tratamiento con nitrato de amonio. Una semana después de la aplicación inicial del nitrato de amonio la concentración de calcio aumentó de 1,10 a 2,25 mmol (p +)L⁻¹, en la solución del suelo recolectada a 15 cm. Posteriormente se presentaron valores fluctuantes hasta aparecer un pico de concentración hacia la mitad del mes de junio con 3,2 mmol (p +)L⁻¹ de Ca. A partir de ese momento se notó una drástica disminución en la concentración de ese elemento la que continuó hasta principios de octubre en que ocurrió un leve aumento, correspondiendo posiblemente a la aplicación de nitrato de amonio a finales de agosto.

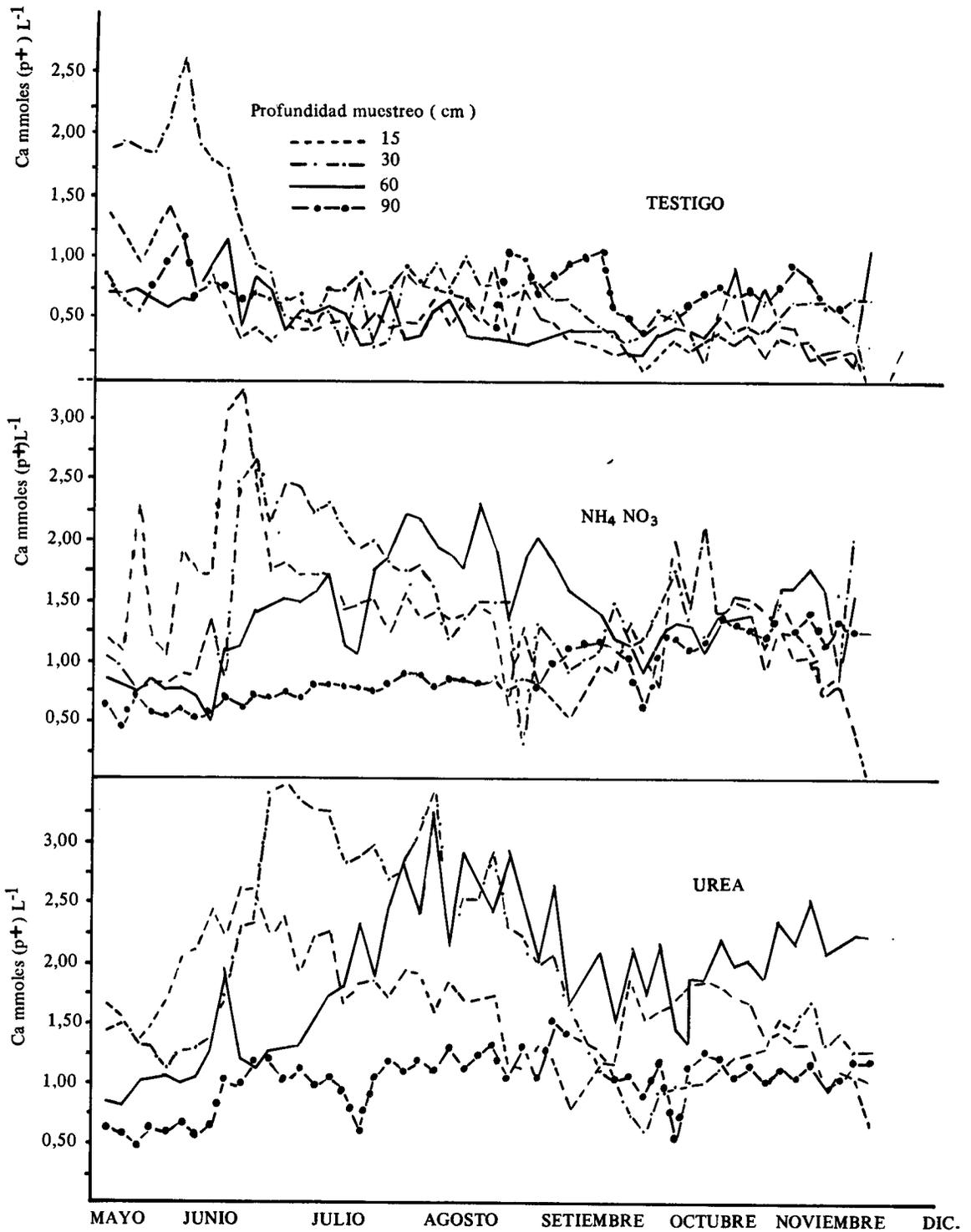


Fig. 4. Variación en la concentración de calcio en la solución del suelo a diferentes profundidades.

Posteriormente, la concentración de calcio en la solución del suelo exhibió valores muy bajos hasta el final de noviembre.

La concentración de calcio a 30 cm sólo aumentó dos meses después de la primera aplicación obteniéndose un pico de concentración de 2,7 mmol (p +)L⁻¹ en junio. Después de esa fecha las concentraciones descendieron hasta agosto en que se fertilizó de nuevo con nitrato de amonio. Al igual que a la profundidad de 15 cm, se encontraron valores mayores a principios de octubre, para luego descender de nuevo y volver a incrementarse hacia el final del ensayo.

A partir de junio la concentración de calcio a la profundidad de 60 cm fue aumentando progresivamente. Los valores más altos (2,25 mmol (p +)L⁻¹) se hallaron en los primeros 15 días de agosto, para luego descender encontrándose un ligero aumento en noviembre. Las muestras de agua recolectadas a 90 cm no presentaron variaciones en las concentraciones de calcio durante el lapso experimental, lo que indica que el movimiento de este elemento estuvo confinado a profundidades menores a los 90 cm. Es de esperar que no ocurrieran pérdidas de calcio en el agua de drenaje a profundidades iguales o mayores a 90 cm.

Tratamiento con urea. Los valores de calcio al inicio del experimento fueron similares a las profundidades de 15 y 30 cm. Luego se encontró un aumento desde aproximadamente 1,5 hasta 2,5 mmol (p +)L⁻¹ el 10 de junio, en la profundidad de 15 cm. A partir de ese momento la tendencia fue descendente para esta profundidad hasta setiembre. La concentración de calcio a 30 cm fue ascendente alcanzándose valores de 3,0 y 3,5 mmol (p +)L⁻¹ desde el 15 de junio hasta el 15 de julio aproximadamente, para descender durante el resto del experimento hasta valores entre 1,0 y 1,50 mmol (p +)L⁻¹.

Los datos correspondientes a la profundidad de 60 cm mostraron una tendencia ascendente desde el inicio hasta el 15 de julio en donde se observaron las concentraciones más altas (3,25 mmol (p +)L⁻¹). Fue en esta profundidad de muestreo en la que se presentaron los valores más altos desde esta fecha hasta el final del ensayo. No se encontraron variaciones considerables en las concentraciones de calcio en las muestras recolectadas a 90 cm de profundidad.

Después de la aplicación de urea el 15 de agosto, de nuevo se encontró un aumento en la concentración de calcio a 15 cm y posteriormente a

30 cm; estas concentraciones disminuyeron rápidamente.

Estos resultados ponen de manifiesto que la aplicación de urea al igual que la de nitrato de amonio provocó un lixiviado del calcio desde 15 cm hasta 60 cm de profundidad. Este movimiento del calcio en el suelo ocurrió inmediatamente después de la primera aplicación nitrogenada y no se manifestó después de la segunda aplicación de nitrógeno. Se concluye que al no encontrarse un aumento en la concentración de calcio en el agua del suelo recolectada a 90 cm, el movimiento de este elemento parece haber estado confinado a las capas de suelo más superficiales. Por lo tanto, la pérdida de este elemento fuera de los volúmenes de suelo que exploran las raíces del café aparentemente es de poca importancia.

Movimiento de magnesio (Fig. 5)

Tratamiento sin fertilización nitrogenada. Al inicio del experimento las mayores concentraciones de magnesio (0,75 a 1,10 mmol (p +)L⁻¹) correspondieron a las muestras recolectadas a 30 cm. Después de junio, los valores disminuyeron y se mantuvieron, en general, entre aproximadamente 0,25 y 0,50 mmol (p +)L⁻¹. Los valores más altos fueron determinados en las muestras de agua provenientes de la profundidad de 90 cm.

Tratamiento con nitrato de amonio. Después de la fertilización de mayo se encontró un enriquecimiento con magnesio en el agua del suelo recolectada a 15 cm, desde 0,35 hasta 1,30 mmol (p +)L⁻¹ en el mes de junio. Posteriormente la concentración disminuyó drásticamente hasta valores inferiores a 0,15 mmol (p +)L⁻¹ en setiembre. Se encontró otro pico de aproximadamente 0,8 mmol (p +)L⁻¹ en octubre, relacionado posiblemente con la aplicación de nitrato de amonio efectuada en agosto; después, los valores bajaron de nuevo. Las muestras recolectadas a 30 cm mostraron de mayo a julio, valores crecientes de magnesio, para descender bruscamente a partir de ese mes. Una tendencia similar ocurrió a 15 cm, pero con valores entre 0,50 y 0,75 mmol (p +)L⁻¹ hasta diciembre.

Asimismo, las muestras de agua recolectadas a 60 cm exhibieron valores ascendentes en la concentración de magnesio, destacándose dos picos en el mes de agosto de 1,70 y 1,85 mmol (p +)L⁻¹. De nuevo ocurrió un descenso pronunciado a partir de este mes, manteniéndose las concentraciones

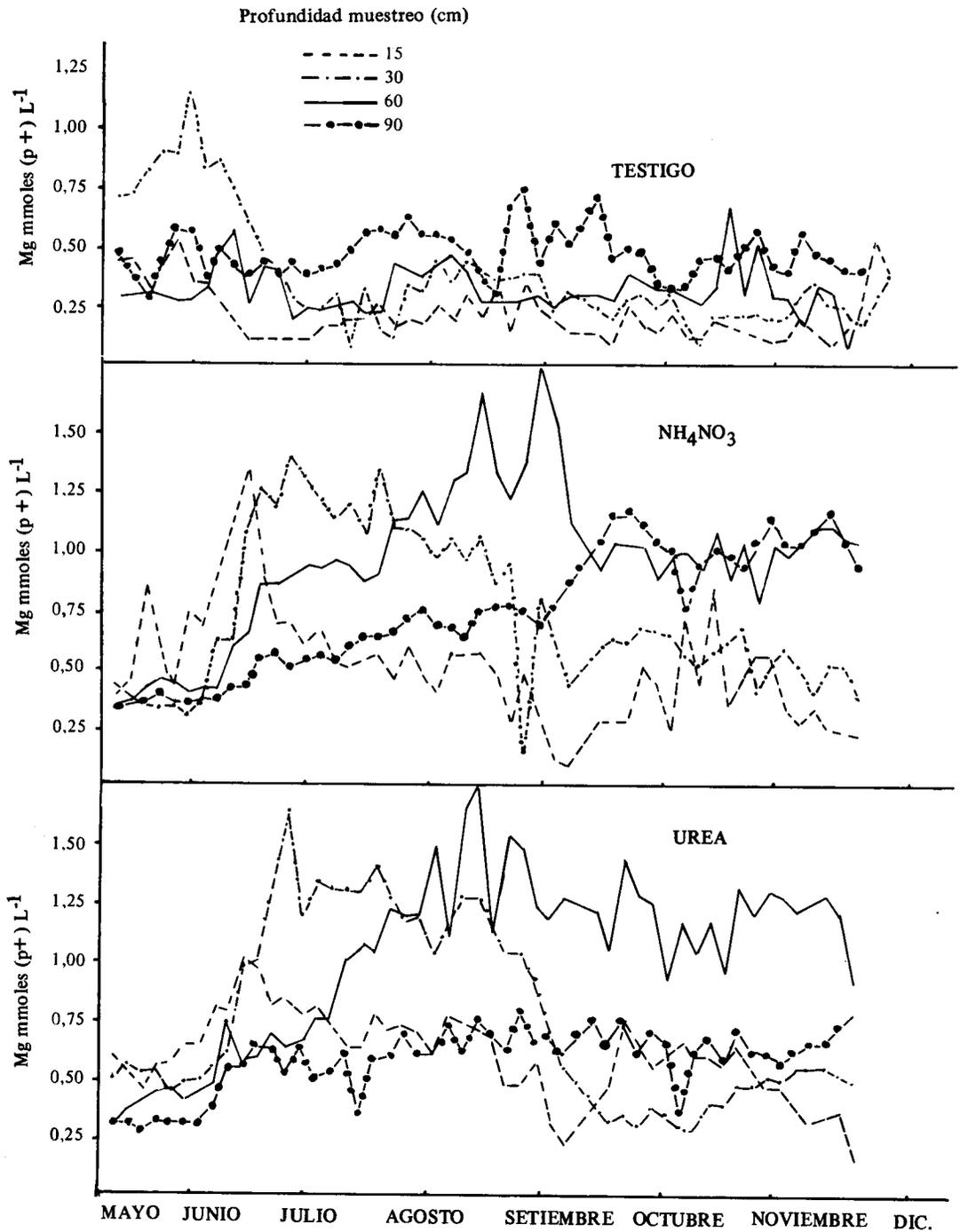


Fig. 5. Variación de la concentración de magnesio en la solución del suelo a diferentes profundidades.

cercanas a 1 mmol (p +)L⁻¹ hasta el final del experimento.

Las muestras recolectadas a 90 cm exhibieron una tendencia de aumento continuo hasta la mitad de setiembre, en que las concentraciones de magnesio alcanzaron valores de aproximadamente 1,25 mmol (p +)L⁻¹.

Estos datos muestran la manera en que ocurre el movimiento progresivo de magnesio desde los horizontes más superficiales del suelo hasta profundidades iguales o mayores a 90 cm.

Tratamiento con urea. La concentración de magnesio en el agua del suelo recolectada a las diferentes profundidades mostró valores ascendentes durante mayo. Posteriormente y hasta la mitad de julio, los valores más altos correspondieron a las muestras recolectadas a 30 cm (1,25 a 1,60 mmol (1,75 mmol (p +)L⁻¹). Luego las concentraciones a esta profundidad disminuyeron hasta valores aproximados a 0,35 mmol (p +)L⁻¹ a partir de setiembre y hasta el final del experimento.

Desde el inicio de la toma de muestras, fue claro el aumento en concentración que se notó paulatinamente en las soluciones correspondientes a 60 cm. Se obtuvo un máximo de concentración (1,75 mmol (p +)L⁻¹) al inicio de agosto y después de esta fecha los datos fueron consistentemente mayores que para las otras profundidades consideradas. Se encontró además, un aumento lento pero constante en la concentración de magnesio correspondiente a la profundidad de 90 cm.

Estos datos demuestran que la urea, una vez hidrolizada y transformada a nitratos provocó, de alguna forma, una lixiviación del magnesio hasta 60 cm conforme avanzó la época lluviosa. El movimiento de este elemento alcanzó la profundidad de 90 cm aunque no de manera notoria, lo que hace suponer que la lixiviación de magnesio, provocada por la fertilización con urea, estuvo confinada a profundidades inferiores a 90 cm, durante gran parte del período experimental.

Cabe destacar que la lixiviación de magnesio, que prácticamente se completa a partir de agosto a setiembre, coincide con la deficiencia foliar de este elemento que aparece en esos meses, cuando los cafetales de esta zona inician la maduración de los frutos.

La fertilización nitrogenada, según se determinó en este estudio, favoreció el movimiento vertical del potasio en menor grado y mayormente el del calcio y magnesio. Al respecto Abruña y cola-

boradores (1) encontraron que aplicaciones anuales altas de nitrógeno (900-400 kg ha⁻¹) causaron una disminución drástica del pH y en la saturación de bases en dos subsuelos no volcánicos de Puerto Rico. Similarmente, la movilidad de los cationes en estudio puede estar relacionada con valores bajos de pH provocados por las fuentes nitrogenadas usadas.

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los estudios de lixiviación efectuados en lisímetros por Ramos (15), quien encontró, en suelos volcánicos cafetaleros, retención de hasta un 60 % del potasio aplicado como fertilizante. Además, esta autora determinó que el calcio y el magnesio se lixiviaron en más de un 100% lo que indica la total pérdida del elemento aplicado, así como de una parte del contenido inicial de estos elementos en el suelo.

Se evidencia de nuevo, con este estudio, que el magnesio es el elemento que más fácilmente tiende a perderse y en menor grado el Ca, tanto naturalmente, como por el efecto de la fertilización con nitrato de amonio o urea en suelos volcánicos.

RESUMEN

Se estudió la lixiviación de nitratos de calcio, magnesio y potasio en un suelo volcánico en el Centro de Investigación en café (CICAFE). Se usaron nitrato de amonio y urea a razón de 300 kg ha⁻¹ de N por año, en dos aplicaciones (mayo y agosto) y se tomaron muestras de agua del suelo a cuatro profundidades (15,30,60y90 cm) dos veces por semana durante la estación lluviosa.

Las soluciones recolectadas fueron analizadas por los iones mencionados. No se encontró NH₄⁺ en las muestras analizadas.

En general, los nitratos provenientes de ambas fuentes, tuvieron un comportamiento similar en lo referente a movimiento en las capas de suelos estudiadas. Al no encontrarse un aumento considerable en la concentración de nitratos a 90 cm de profundidad se dedujo que el suelo experimental tiende a retener nitratos y que el proceso de lixiviación se lleva a cabo más lentamente que en suelos no volcánicos.

El potasio tuvo una movilidad baja en el suelo, no ocurriendo lo mismo para el calcio y el magnesio. Las fuentes nitrogenadas provocaron pérdidas de calcio hasta 60 cm de profundidad. Este elemento no se encontró en las muestras recolectadas a 90 cm, lo que hace suponer que no ocu-

rrieron pérdidas importantes por lixiviación. El magnesio se lixivió paulatinamente desde el inicio del experimento y de manera similar para las dos fuentes de nitrógeno usadas. A partir del mes de agosto, el movimiento de este elemento alcanzó profundidades de 60 cm y posteriormente se encontró a 90 cm, principalmente cuando se aplicó nitrato de amonio. Esto indica que dicho elemento se pierde por lavado dejando de ser disponible para el café.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Víctor Quiroga del IICA, por su dedicada colaboración en la programación y análisis de los datos.

A los Ingenieros Agrónomos Rodrigo Clévez y Belarmino Soto, funcionarios del MAG-OFICAFE, por su colaboración en la escogencia de la parcela experimental y la atención de la misma en el Centro de Investigaciones en Café (CICAFE).

A la Vicerrectoría de Investigación y a la Oficina del Café por el financiamiento parcial del experimento.

LITERATURA CITADA

1. ABRUÑA, F., PEARSON, R.W. y ELKINGS, C.B. Quantitative evolution of soil reaction and base status changes resulting from field applications of residually acid forming nitrogen fertilizers. *Soil Science Society of America Proceedings* 22(6):539-542. 1958.
2. BORNEMISZA, E. Nitrogen cycling in coffee plantations. *Plant and Soil* 67:241-246. 1982.
3. COWGILL, W.H. Coffee planting without shade. *Coop. Agric. Service Agric. Bull. No. 3*, La Aurora, Guatemala, 1955. 18 p.
4. DIAZ-ROMEY, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químicos de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica, 1978. 68 p.
5. ESPINOZA, W., GAST, R.G. y ADAMS, R.S. Charge characteristics and nitrate retention by two andepts from south-central Chile. *Soil Science Society of America Proceedings* 39(5):842-846. 1975.
6. FASSBENDER, H.W. Química de Suelos. San José, Costa Rica, IICA, 1980. pp. 243-244.
7. FORSYTHE, W. Manual de laboratorio de física de suelos. San José, IICA, 1975. pp. 157-170.
8. FORSYTHE, W.M., GAVANDE, S.A. y GONZALEZ, M.A. Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas considerando algunos suelos de América Latina. *In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica, 1969. p.B.3.1-B.3.7.
9. GAVANDE, S.A. y GONZALEZ, M.A. Irrigation requirements of sugar cane in the Alajuela area of Costa Rica. *Turrialba* 19(2):221-234. 1969
10. GREENLAND, D.J. Nitrate fluctuation in tropical soils. *Journal of Agricultural Science* 50:82-91. 1958.
11. HARDY, F. Seasonal fluctuations of soil moisture and nitrate in a humid tropical climate. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 23:40-49. 1946.
12. HARDY, F. 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. 1946.
13. ISHIZUKA, Y. y BLACK, C.A. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón. Centro Internacional para el Mejoramiento del maíz y trigo (CIMMYT), Mexico 1980. 106 p.
14. LEON, L.A. y PRATT, P.F. Efectos agronómicos de la retención y lixiviación de nitratos en dos Andepts de Colombia. *Turrialba* 24(4):408-413. 1974.
15. RAMOS, A.M. Influencia de lixiviación de aniones en pérdida por arrastre de cationes. Ministerio de Agricultura e Industrias. Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola. Información Técnica No.6. San José, Costa Rica, 1958. 31p.
16. SANCHEZ, P. Suelos del trópico. San José, Costa Rica, 1981. p. 192.
17. SCHALSCHA, E.B., PRATT, P.F. y DOMEQ, T.C. Nitrate adsorption by some volcanic soils of southern Chile. *Soil Science Society of America, Proceedings* 38(1):44-45. 1974.
18. SCHUMAN, G.E., Mc CALLA, T.M., SAXTON, K. E. y KNOX, H.T. Nitrate movement and its distribution in the soil profile of differentially fertilized corn watersheds. *Soil Science Society of America Proceedings* 39:1197. 1975.
19. STAHR, H.M. (ed). Analytical toxicology methods manual. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1977. 315 p.