

VARIACIONES ESTACIONALES DE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE DOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO, NARIÑO, COLOMBIA.

OSCAR JURADO MARTINEZ*

RAUL JURADO MARTINEZ *

LUCIO LEGARDA BURBANO**

RICARDO GUERRERO RIASCOS***

RESUMEN

En dos suelos, uno clasificado como Tropept y ubicado en la Estación Experimental Obonuco, en el Altiplano de Pasto, y otro como Andept y localizado en las inmediaciones del Corregimiento de Chachagüí, se estudió la variación estacional de las propiedades químicas mediante observaciones mensuales y determinaciones de laboratorio en muestra seca al aire y a la humedad de campo.

Bajo la acción del secado, el N-NO₃ disminuyó, el pH aumentó al igual que las bases cambiables, en tanto que el P-aprovechable disminuyó. El comportamiento del Al-cambiable y la CIC fue contrario en los dos suelos, pues el secamiento los incrementó en el suelo Andept pero los atenuó en el Tropept. Los efectos del secado se consideran de trascendencia en lo pertinente a la confiabilidad y exactitud del análisis y su magnitud parece estar asociada al régimen de precipitación pluvial previo al muestreo.

Tanto en Andept como Tropept las variaciones estacionales de las propiedades químicas fueron considerables. A un

* Parcial de Tesis de Grado presentada por los dos primeros autores como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Nariño.

** Decano Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto.

*** Jefe Asistente Técnico, Monómeros Colombo-Venezolano. A 17972. Bogotá.

incremento en el volumen de precipitación pluvial correspondió un incremento en el $N-NO_3$, disminución del pH y las bases cambiables y un aumento en la CIC. Estos efectos fueron estadísticamente confiables en los dos suelos, salvo el efecto sobre la CIC que solo lo fue para el suelo Tropept. El comportamiento del aluminio fue contrario en los dos suelos experimentales, pues relacionó directamente con la precipitación en Andept, pero inversamente en Tropept.

Se considera que las variaciones estacionales observadas tienen importancia agronómica en lo pertinente a disponibilidad de N, P, K, Ca y Mg para los cultivos y a requerimientos de cal. Las determinaciones realizadas en muestras tras a la humedad de campo reflejan mejor el efecto estacional y por tanto, se consideran más confiables y válidos para las realizadas en nuestras secas al aire.

ABSTRACT

Two classifications were made in different soils type. One as Tropept localised in the Obonuco Experimental Station in the Pasto Higland, and another the Andept, Localised near Chachagüí village. On both places study of chemical properties variations were fulfilled as a result of monthly observations and laboratory determinations in dry sample in open air and in humid state condition.

Under the drying process, $N-NO_3$, pH grew increased, some as exchangeable-Al and the CEC, cationic exchange capacity, was contrary in both soils because dryness increased in Andept soils and decreased in Tropept soil. Dryness effect were considered important dealing with reliable and analysis accuracy; else its magnitude seems to be associated to rainfall conditions before the sample was performed.

In Andept as well as in Tropept soil, the seasonal variation of chemical properties were considerable. To an increase in rainfall volume, corresponded an increase in the $N-NO_3$ and in CEC, cationic exchange capacity, meanwhile changeable basis decreased.

Both effects were statistically reliable except for the aluminum effects in CEC, which was only for Tropept soil. The aluminum

nium behaviour was contrary in both experimental soils, due to a direct relationship in Andept precipitation conditions and conversely in Tropept soil.

The observed seasonal variations have agronomic importance related to N, P, K, Ca and Mg availability for cultivation and lime requirements. The given determinations in humid sample, reflect the seasonal effect and therefore are more reliable and valid, than those performed in dry samples.

INTRODUCCION

Desde el punto de vista agronómico es de gran importancia determinar cuál es la variabilidad y el estado de disponibilidad de los elementos del suelo para ser tomados por la planta, relacionándolos con la época y como es lógico, con las condiciones climáticas imperantes en que se hagan los análisis químicos, ya que los resultados que se obtengan pueden indicar con precisión la cantidad de fertilizante que se requiere en un suelo, según el tiempo en que se haga la aplicación (época de lluvia o época de sequía) y con ello obtener un ahorro en costos de producción, lo mismo que mayor rendimiento en las cosechas, puesto que si la deficiencia de nutrientes afecta el normal desarrollo de las plantas, también lo hace el exceso.

Este estudio se realizó con dos clases de suelos, que presentan características muy diferentes en cuanto a comportamiento de sus propiedades; el uno es un Tropept (Obonuco) y el otro es un Andept (Chachagüí), y el objetivo fue determinar el influjo de las variaciones estacionales en las propiedades químicas de estos suelos.

REVISION DE LITERATURA

En la literatura edafológica es conocido el hecho que los valores del pH, NO_3 , K-cambiable y P-provechable varían en un mismo suelo a lo largo del año en lo que se conoce como fenómeno de la "variación estacional" en las propiedades del suelo (7). Cline (8) dice al respecto que las propiedades químicas del suelo varían horizontalmente,

verticalmente con el manejo y a través del tiempo.

Para explicar el fenómeno de fluctuación estacional de nitratos se han propuesto diferentes mecanismos a nivel de teoría, pero en realidad no ha sido aun clarificado totalmente.

Hacia el año 1933, Dhar y colaboradores (10) recurren a la antigua teoría de que la nitrificación es un proceso fotoquímico para explicar la acumulación estacional de nitratos en los suelos del trópico. Los argumentos que emiten para apoyar su teoría, son entre otros:

a. La mayor acumulación de $N-NO_3$ se lleva a cabo en suelos desnudos y expuestos a la luz del sol y en donde casi todo el nitrato se acumuló en la primera pulgada del suelo.

b. Las temperaturas son demasiado altas y el contenido de humedad en el suelo demasiado bajo para que la actividad bacteriana ocurra normalmente.

La teoría de la fotonitrificación es apoyada por Rao (20) y Tandon y Dhar (25) argumentando que como la mayoría de las bacterias son anuladas en su acción por las altas temperaturas prevalentes en verano, la alta producción de nitratos en esa estación, no puede ser aplicada sino desde el punto de vista fotoquímico.

Con ocasión de los trabajos de Rao, Dhar y su grupo, relacionados con su teoría de la fotonitrificación, Waskman y Madhok (26), en Estados Unidos y Joshi y Biswas (18) en la India, realizaron experimentos serios que echaron por tierra la teoría fotoquímica y reafirmaron la teoría clásica, en el sentido de que la acumulación estacional de nitratos en los suelos tropicales debe tener su fundamento en las variaciones de la actividad microbiana, gobernadas por factores no muy bien entendidos.

Otros investigadores del problema (15, 21, 24) lo explican apoyándose exclusivamente en la actividad microbiana. Al respecto, Greenland (13) plantea la hipótesis de que durante la estación seca ocurre una esterilización parcial del suelo responsable de una lenta producción de nitratos, pero también de una acumulación de $N-NO_3$.

blo. Al comenzar las lluvias se estimula la actividad microbiana y rápidamente el $N-NO_3$ es convertido a nitratos. El $N-NO_3$ es entonces lixiviado y comienza de nuevo el ciclo.

Birch (3) postula tres mecanismos asociados con el efecto secamiento-humedecimiento:

En primer lugar, bajo condición húmeda, una parte de la fracción humus es protegida del ataque microbiano por la fracción arcilla; los sucesivos secamientos aligeran pequeñas cantidades de materia orgánica presente entre los "latices" de las arcillas. En consecuencia, más materia orgánica puede ser extraída de un suelo seco que de uno húmedo, lo que explica el impulso en la descomposición que sigue al humedecimiento de un suelo seco (2).

En segundo lugar, afirma que las esporas son resistentes a condiciones adversas, tales como secamiento y calentamiento y que se pueden multiplicar después de cada ciclo de secamiento-humedecimiento. En consecuencia, el impulso de la actividad microbiana que sigue al humedecimiento de un suelo seco se debe, tentativamente, a la alta actividad de la nueva población microbiana desarrollada.

En otro trabajo, Birch (4) afirma que el joven y vigoroso desarrollo microbiano activa la nitrificación una vez el suelo seco es rehumedecido. También acepta la posibilidad de que la descomposición de los restos de microorganismos destruidos por el calentamiento puede estar asociado con el fenómeno.

El tercer mecanismo planteado por Birch (4) responde a la hipótesis de que la mineralización del nitrógeno del humus es un fenómeno de superficie y, por tanto, dependerá del área superficial y de las condiciones de la superficie. El secamiento podría incrementar la superficie orgánica expuesta, lo que explicaría el flujo de nitratos al humedecer posteriormente el suelo. Luego, al hincharse los coloides por el exceso de agua disminuye el área de superficie donde ocurre la mineralización y por tanto, cae la producción de nitratos.

Childs y Jencks (7), al estudiar el fenómeno en suelos

Datos climáticos

Los datos meteorológicos correspondientes al suelo Obonuco se tomaron en la Estación Meteorológica del ICA- HIMAT y los correspondientes al suelo Chachagüí en la Estación Meteorológica del Aeropuerto "Antonio Nariño" administrada por el HIMAT.

La localidad de Obonuco registró una precipitación pluvial total de 980,6 mm y una temperatura promedio de 12,5°C. La localidad de Chachagüí registró un total de 1.325 mm de precipitación pluvial y 18,5°C de temperatura promedio.

Determinaciones químicas

Las determinaciones químicas se realizaron por duplicado en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Con el objeto de estudiar el efecto del secamiento de las muestras sobre las propiedades del suelo, las diferentes determinaciones se hicieron bajo condición de muestra seca al aire (suelo seco) y en la muestra que conservaba la humedad de campo (suelo húmedo).

Las determinaciones químicas realizadas fueron las siguientes:

Reacción del suelo (pH), se determinó potenciométricamente utilizando la relación agua: suelo 1:1; capacidad de intercambio catiónico, por el método de Schollemberger y Rincón, descrito por Saíz del Río y Bornemisza (23); las bases cambiables (K, Ca, Mg y Na) se extrajeron con acetato de amonio normal y neutro, siguiendo la técnica descrita por Saíz del Río y Bornemisza (23); el aluminio cambiable se determinó por el método descrito por Jackson (16); para el fósforo aprovechable se utilizó el método Bray II descrito por Saíz del Río y Bornemisza (23); los nitratos se determinaron colorimétricamente con ácido fenoldisulfónico, siguiendo la marcha analítica detallada por Jackson (16).

Análisis estadístico

Los datos se procesaron en el Centro de Cálculo Electrónico

de la Universidad Nacional de Colombia, utilizando una computadora IBM 1624. Se realizaron análisis de regresión y correlación lineal y cuadrática entre las variables del suelo y la precipitación potencial mensual.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del secamiento de las muestras sobre las propiedades químicas.

A pesar de que el objetivo primordial del estudio es el análisis de la variación estacional de las propiedades del suelo asociadas con su fertilidad, se considera oportuno tratar en primer lugar y en forma breve el efecto del secamiento al aire de las muestras, pues es evidente que según la revisión de literatura, este efecto en alguna forma relaciona con la fluctuación estacional de la fertilidad.

En las Tablas 1 y 2 y en las Figuras 1 y 2 se observa el efecto del secamiento de las muestras sobre las diferentes propiedades estudiadas. Es claro que los valores de las diferentes propiedades químicas, tanto para el suelo Andept como para el suelo Tropept, fueron dependientes en mayor o menor grado de la condición de humedad del suelo en el momento de realizar el análisis de laboratorio.

Todas las propiedades químicas estudiadas mostraron cambios consistentes por acción del secamiento de las muestras, en comparación a los valores obtenidos en las muestras a la humedad de campo. Sin embargo, es notorio que el efecto dependió del suelo y el volumen mensual de la precipitación.

La concentración de N-NO₃ tendió a disminuir, tanto en Andept como en Tropept, cuando la muestra se secó al aire. Para el caso del suelo Andept las disminuciones son más o menos constantes a lo largo de los doce meses de observación y los valores en húmedo superan a los obtenidos en seco en más o menos 20 ppm. En el suelo tropept la disminución por secado no fue constante y, evidentemente, las mayores diferencias se obtuvieron en los meses más húmedos, al punto que en Noviembre, la concentración de N-NO₃ en la muestra húmeda superó a la seca en 81 ppm, mientras

que en los meses secos fue prácticamente nula.

De acuerdo a lo anterior, es claro que en ninguno de los dos suelos estudiados se produjo el llamado "efecto Birch" (2, 3, 6) y más bien tiende a presentarse el efecto contrario. Al respecto, no se tienen elementos de juicio para explicar la contradicción, lo cual es apenas natural si se tiene en cuenta que tal efecto tan solo ha sido explicado a nivel de hipótesis. No obstante, parece probable que la acción del secado es dependiente de los cambios hídricos del suelo previos al muestreo.

En el suelo Tropept, el pH y Al-cambiable son afectados por el secamiento en sentidos contrarios (Figura 1 y 2), pues mientras el aluminio disminuye el pH aumenta y, por tanto, son efectos que se explican mutuamente. De nuevo, las mayores diferencias entre nuestra seca y húmeda ocurrieron para esas dos variables en los períodos más húmedos, Octubre a Diciembre. En Noviembre, la diferencia para aluminio fue de 50 ppm (0,55 me/100 g) y para pH de 0,2 unidades.

En el suelo Andept el efecto fue contrario al anterior en lo que respecta al aluminio, pues el secamiento incrementó la concentración y en este caso, los incrementos tienden a ser mayores en los meses secos: Agosto, Enero, Marzo y Julio, con 63 ppm, 73 ppm, 71 ppm y 71 ppm de aumento respectivamente, es decir, alrededor de 0,8 me/100 g, lo cual tiene indudable importancia práctica desde el punto de vista de la confiabilidad y exactitud del análisis. El hecho de que el efecto del secado dependa de la magnitud de la precipitación, previa al muestreo, es una nueva evidencia que refuerza la hipótesis ya planteada.

El pH en el suelo Andept (Figura 3) sufre un efecto similar al experimento en el Tropept, es decir se incrementa por acción del secado. En este caso es claro que su incremento no se lo puede atribuir al observado para el aluminio y más bien está asociado con el incremento en la concentración de bases.

Efectivamente, las bases cambiables, tanto en Tropept como en Andept se incrementan en forma apreciable por acción del secado de la muestra. En Tropept los incrementos son más bien constantes y pueden alcanzar 5 me/100 g (para la

de bases), en tanto que en Andept los incrementos son mayores en los períodos húmedos. El incremento de las bases cambiables por acción del secado, quizá pueda explicarse por un efecto de incremento en la concentración de los cationes, en contraste con la dilución causada por el mayor porcentaje de humedad en la muestra húmeda, pero seguramente no será el único factor involucrado.

Al igual que el aluminio cambiable, la acción del secado sobre la capacidad de intercambio catiónico es contraria en los dos suelos experimentales: disminuye en Tropept pero aumenta en Andept. En Tropept las diferencias tienden a ser mayores en la época húmeda, pudiendo alcanzar 6 me/100 g, mayor en húmedo que en seco; En Andept los incrementos por secado son variables y oscilan entre 2 y 5 me/100 g.

No es fácil explicar la acción del estado de humedad de la muestra sobre la CIC y mucho menos el efecto contrario observado en los dos suelos. Sin embargo, los incrementos en la CIC causados por el secado en Andept son muy congruentes con los incrementos en el pH (Figura 3), sugiriendo por tanto, que la mayor CIC por secado se debe a que se generan cargas negativas dependientes del pH, fenómeno éste común en suelos alofánicos (19). Por el contrario, en el suelo Tropept, cuya fracción arcillosa está dominada por coloides laminares, la acción de la humedad es posible que, al incrementar la superficie por hinchamiento, consiga incrementar la superficie por hinchamiento, consiga incrementar las cargas negativas expuestas.

El secamiento de la muestra causó en los dos suelos experimentales una disminución en el P-aprovechable extraído por Bray II (Figura 4). Sin embargo, en este caso, como para otras propiedades, la magnitud de la diferencias observadas es afectada por la variación de la precipitación mensual en forma contraria en los dos suelos, pues en Tropept son mayores en los períodos húmedos, mientras que en Andept lo son en los períodos secos. Esta diferencia de comportamiento está probablemente asociada con la capacidad de fijación de fosfatos, mucho mayor en Andept que en Tropept y su relación con el régimen de humedad. De todas maneras, los mayores niveles de P-aprovechable en húmedo se explican por la mayor solubilidad de los fosfatos minerales bajo estas condiciones (12).

Variación estacional de las propiedades químicas

Nitratos

La evolución estacional de los nitratos se observa en forma clara en la Figura 5 (Tropept) y en la Figura 6 (Andept).

El patrón de fluctuación estacional es inequívoco y muy consistente en los dos suelos. La concentración de $N-NO_3$ incrementó adecuadamente en los meses húmedos y decayó en los meses secos, o sea que un período húmedo después de un seco significó un flujo importante de $N-NO_3$. Este patrón de variación coincide con el modelo indentificado por la mayoría de los investigadores (9, 11, 13, 14, 15, 17, 21), y responde al efecto secamiento-rehumedecimiento o "efecto Birch" (2, 3, 5, 6,).

Al respecto, si se observan las Figuras 5 y 6 se puede constatar que desde el comienzo de la estación lluviosa, en Septiembre, la concentración de $N-NO_3$ aumenta, hasta alcanzar un máximo en Noviembre (Tropept) y Octubre (Andept). Sin embargo, hacia el final de la estación lluviosa (Diciembre), la concentración disminuye pese a que el volumen de precipitación se mantiene, lo cual sugiere que la acumulación de nitratos toma lugar al comienzo de la estación lluviosa pero al prolongarse el período húmedo la cantidad de nitratos disminuye a causa de procesos de lixiviación o lavado.

Tanto en Tropept como en Andept, la variación estacional del $N-NO_3$ relacionó estadísticamente con el volumen de precipitación pluvial mensual previo al muestreo, efecto que fue detectable tanto en húmedo como en seco, pero de mayor significancia estadística cuando la determinación se hizo en húmedo. De la misma manera, se destacaron asociaciones confiables entre la concentración de $N-NO_3$ y el contenido de humedad al momento del muestreo, variable que de todas maneras es un reflejo de la precipitación pluvial.

El efecto fue de naturaleza lineal positiva ($p > 0,05$) en el suelo Tropept. Este hecho se presentó tanto en muestra seca como en húmeda y se registra en la Figura 5. Los incrementos en la cantidad de lluvia mensual previa al muestreo llevaron a incrementos sostenidos en los nitra -

tos.

En el suelo Andept ajustó mejor a un modelo de respuesta cuadrática ($p > 0,01$), tanto en seco como en húmedo (Figura 6). La precipitación pluvial causó aumento en la concentración de $N-NO_3$, pero estos incrementos fueron más acentuados cuando la precipitación fue mayor de 75 mm/mes.

En lo que permite el alcance de la revisión efectuada, las relaciones estadísticas entre precipitación pluvial previa al muestreo y concentración de $N-NO_3$ no tienen antecedentes en la literatura edafológica. La explicación de las mismas es indudablemente difícil, pero si se acepta que la fluctuación estacional de los nitratos depende fundamentalmente de las variaciones en la actividad microbial, tal como lo sostienen la mayoría de los tratadistas (2, 3, 4, 13, 15, 22, 24), también habría que aceptar que la actividad microbial en los suelos experimentales estuvo en relación directa con la precipitación pluvial, y por ende, con el contenido de humedad del suelo. Además, sobre el supuesto anterior habría que aceptar en base al patrón de relación cuadrática observada (Figura 6) que la microfauna nitrificadora del suelo Andept requiere un mínimo de 75 mm/mes de precipitación para realizar una actividad nitrificadora de importancia.

Reacción del suelo

Los patrones de fluctuación del pH registrados se pueden observar en la Figura 2 (Tropept) y Andept Figura 3. Las tendencias identificadas son similares en los dos suelos: hay un incremento del pH en las épocas secas y una disminución en las lluviosas.

Como consecuencia de la tendencia anterior, los valores de pH relacionaron en forma lineal inversa significativa tanto en Tropept ($p > 0,05$) como en Andept ($p > 0,01$). Estas correlaciones fueron detectables, tanto para muestra húmeda como para muestra seca al aire y se observan en los Cuadros 1 y 2. Esta variación en la reacción del suelo, pese a ser relativamente pequeña, puede tener significado, sobre todo para el caso del suelo Andept, y parece claro que están muy asociadas con la fluctuación observada en las bases cambiabiles. En efecto, la mayor

acumulación de bases en las épocas secas, implica incrementos en el pH, en tanto que la caída de la misma en los meses húmedos, coincide con una disminución en los valores del pH.

Aluminio cambiabile

La evolución estacional de aluminio cambiabile tiene patrones diferentes en los dos suelos experimentales. Si se observan las Tablas 1 y 2 se deduce que mientras en el suelo Tropept las mayores concentraciones de aluminio se registran en los meses húmedos, en el Andept ocurrió lo contrario, es decir las mayores concentraciones se detectaron en los meses secos.

Lo anterior expresa una relación lineal directa entre el contenido de humedad del suelo, al momento del muestreo, y el aluminio cambiabile en el suelo Tropept ($P > 0,05$), en tanto que la relación es inversa en el suelo Andept. Lógicamente, con la precipitación pluvial las relaciones estadísticas obtenidas son semejantes a las anteriores, salvo que las relaciones se ajustaron mejor a tendencias cuadráticas ($P > 0,05$), lo que implica que en el suelo Andept la tasa de disminución en la concentración de aluminio cambiabile, por acción de la precipitación pluvial, disminuye conforme ésta aumenta y en el suelo Tropept los incrementos en el aluminio cambiabile se registran a volúmenes de precipitación pluvial mensual superiores a los 60 mm/mes.

El comportamiento del aluminio con relación a la precipitación pluvial en el suelo Tropept coincide con el modelo encontrado en Latosoles de Hawaii, donde se explica que los bajos niveles de aluminio cambiabile en épocas secas, pueden estar asociados con una inactivación del Al en los sitios de intercambios provocada por la deshidratación de los coloides.

La relación inversa registrada en el suelo Andept, no tiene antecedentes en la literatura y su explicación hipotética podría estar en el hecho de que a mayor precipitación pluvial el aluminio se inactiva en forma creciente a causa de la formación de complejos organominerales, que se forman a través del aluminio entre la alúmina y los compuestos orgánicos.

Capacidad de Intercambio catiónico

En las Figuras 2 y 3 se aprecia la evolución de la capacidad de intercambio catiónico a lo largo de los meses de observación. En el suelo Tropept (Figura 7) la tendencia estacional de la CIC es clara en el sentido de que aumentó consistentemente en los meses de mayor precipitación pluvial (Octubre, Noviembre y Diciembre), en tanto que disminuyó en los meses secos (Agosto, Sep. y Enero). Por el contrario, en el suelo Andept el comportamiento de la CIC a lo largo del año es errático y no muestra una tendencia definida.

Consecuentemente con la situación anterior, en el suelo Tropept se encontró una correlación cuadrática ($p > 0,01$) entre la precipitación pluvial y la CIC, bajo condiciones de muestra seca y en las trabajadas a la humedad de campo. Las dos tendencias son muy similares. Acorde con ellas, a volúmenes de precipitación pluvial mayores de 50 mm/mes, la CIC se incrementó en forma sostenida. En cambio, en el suelo Andept no se encontró correlación alguna significativa (Tabla 2).

En el suelo Tropept el incremento de la CIC del mes más seco al más húmedo fue de 42 me/100 g (Agosto a 58 me/100 g (Noviembre) para las determinaciones en húmedo y para las determinaciones en suelo seco al aire el incremento fue de 38 me/100 g a 53 me/100 g en los mismos meses. De donde se deduce que los mayores aumentos de la CIC fueron de 16 mm/100 g para las determinaciones en seco y de 15 me/100 g en húmedo, cifras que por sí solas muestran significado práctico del fenómeno.

Bases cambiabiles

Conforme se puede detallar, la concentración de bases cambiabiles evoluciona a lo largo del año siguiendo en forma muy clara la distribución de la precipitación pluvial. La suma de bases cambiabiles (Ca + Mg + K + Na) disminuye acentuadamente en los períodos húmedos, pero en los secos restituye la concentración inicial.

En consecuencia las relaciones estadísticas obtenidas, aunque algunas veces fueron de tendencia lineal y otras de tendencia cuadrática, en todos los casos implican que

los incrementos en la precipitación pluvial causan una disminución en la concentración de las diferentes bases cambiables, tanto en el suelo Tropept como en Andept. Estas relaciones se presentan en la Tabla 2. El hecho de que en algunos casos, como para el Ca, Mg, y K, las relaciones obtenidas se ajustan más bien a funciones de tipo cuadrático se debe a que, ocasionalmente, la tasa de disminución aumenta con la precipitación.

Así sea a título hipotético, la explicación del fenómeno anterior, que también fue observado por Fassbender (11) en suelos volcánicos de Costa Rica, es relativamente sencilla. La mayor precipitación causa pérdidas de bases por lavado o lixiviación causando así una disminución en la concentración en los meses húmedos. Sin embargo, gracias al equilibrio dinámico del sistema suelo, esta pérdida es rápidamente compensada por la restitución por solubilización desde las fracciones no cambiables de las bases, lo cual indica la alta capacidad de restitución de los suelos experimentales.

Fósforo aprovechable

También el fósforo aprovechable (Bray II) muestra fluctuación estacional en los dos suelos experimentales; sin embargo el patrón de variación difiere radicalmente entre ellos. Así, mientras en el suelo Tropept el P-aprovechable se incrementa en las épocas húmedas, en el Andept disminuye y en cambio aumenta en las épocas secas (figura 8).

Lo anterior se refleja en correlaciones estadísticas detectadas. La Figura muestra como la concentración de P-aprovechable en el suelo Tropept aumenta conforme se incrementa la precipitación pluvial, en tanto que en el suelo Andept el incremento en la humedad del suelo causa caída en el P-aprovechable. En el primer caso, la mayor humedad probablemente aumenta la solubilidad de ciertos fosfatos minerales del suelo, en tanto que en el segundo, al tratarse de un suelo alofánico altamente fijador de fosfatos, la mayor humedad incrementa la intensidad de ese fenómeno.

Salvo en el caso del fósforo, la variación estacional de las propiedades químicas de los suelos estudiados afecta

fundamentalmente la fertilidad del suelo. En general, el potencial nutricional de los suelos es mayor en los períodos secos o al comienzo de los períodos lluviosos. Sin duda la distribución de la precipitación o el manejo de la disponibilidad de humedad por medio de la irrigación incidirá, no solamente en la disponibilidad de agua para los cultivos, sino sobre importantes componentes de fertilidad, y por tanto, de potencial de producción.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades químicas estudiadas mostraron cambios bajo la acción del secamiento. El N-NO₃ disminuyó, el pH aumentó, la concentración de bases cambiables se incrementó y el P-aprovechable disminuyó. En el suelo Tropept el secamiento causó una disminución del Al-cambiable y la CIC, en tanto que en el Andept el efecto sobre las dos variables fue positivo.
2. Para la mayoría de las propiedades químicas el efecto del secado de la muestra tiene significado práctico, desde el punto de vista de la confiabilidad y exactitud del análisis, y la magnitud del efecto tiende a depender directamente del régimen de precipitación pluvial previo al muestreo.
3. La totalidad de propiedades químicas estudiadas sufrieron variaciones estacionales de consideración en los dos suelos experimentales. A un incremento en el volumen de precipitación pluvial correspondió un aumento en la concentración de N-NO₃, siendo ésta más importante en Tropept que en Andept, una disminución del pH, una disminución de las bases cambiables y un incremento en la capacidad de intercambio catiónico, aunque este último efecto solo fue estadísticamente confiable en el suelo Tropept.
4. El comportamiento estacional del aluminio cambiable fue contrario en los dos suelos experimentales. Mientras en el suelo Tropept relacionó directamente con la precipitación pluvial, en el suelo Andept un incremento en el volumen de lluvia causó una disminución en el nivel de aluminio cambiable.
5. Las variaciones estacionales registradas y la relación

nes estadísticas obtenidas, tanto con la precipitación pluvial como en el contenido de humedad del suelo, al momento del muestreo, tienen evidencia y significativa importancia agronómica. El comienzo de la estación lluviosa (Octubre, Noviembre y Diciembre), no solo significó disponibilidad de suficiente humedad sino también mayor disponibilidad de nutrimentos.

BIBLIOGRAFIA

1. BIRCH, H. F. y EMECHEBE, A. M. The effect of soil drying on millet. *Plant and Soil* 24(2): 333-335. 1966.
2. _____ y FRIEND, M. T. Humus decomposition in East Africa soils. *Nature* 178 : 500-501. 1956.
3. _____. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 19(1): 9-31. 1958.
4. _____. Simultaneous decomposition processes in soil. *Nature* 183: 14-15. 1959.
5. _____. Further observations humus decomposition and nitrification. *Plant and Soil* 11(3): 262-268. 1959.
6. _____. Nitrification in soils different periods of dryness. *Plant and Soil* 12(1): 81-96. 1960.
7. CHILDS, F. D. y JENCKS, E. M. Effect of time and depth of sampling upon soil test results. *Agronomy Journal* 59(6): 537-540. 1967.
8. CLINE, M. G. Principles of soil sampling. *Soil Science* 58(2): 275-288. 1944.
9. CORNFORTH, I. A. Seasonal changes in mineralizable nitrogen in Trinidad soils. *Tropical Agriculture* 48 (2): 157-162. 1971.
10. DHAR, N. R. BHATTACHARYA, P. y BISWAS, N. photonitrification in soil. *Soil Science* 35(2): 281-284. 1933.
11. FASSBENDER, H.W. Variaciones estacionales de elementos nutritivos en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica. In Blasco, L. M. y Guerrero R.R. Ed. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, Universidad de Nariño-IICA. 1975. 398 p.
12. _____. Química de suelos, con análisis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica, Editorial IICA, 1975. 398 p.
13. GREENLAND, D. J. Nitrate fluctuation in tropical soils. *Journal of Agricultural Science* 50(1): 82-91. 1958.
14. GRIFFITH, G. y MANNING, H.L. Nitrate accumulation in Uganda soils. *Nature* 165: 571. 1950.
15. HAGENZIEKER, F. Soil nitrogen studies at Urambo, Tanganyika territory East Africa. *Plant and Soil* 9(2): 97-113. 1957.
16. JACKSON, M. L. *Soil Chemical analysis.* Englewood Cliffs, N. J. Prentice Hall, Inc. 1958. 498 p.
17. JONES, T. A. Nitrogen studies on the Sudan Gezira. *Journal of Soil Science* 8(2): 211-224. 1957.
18. JOSHI, V. N. y BISWAS, S.C. Does photonitrification occur in the soil? *Indian Journal of Agricultural Science* 18: 115-129. 1984.
19. LUNA, Z.C. y CARLHOUN, G.P. Suelos derivados de ceniza volcánica del Departamento de Nariño. Bogotá Instituto Geográfico "Agustin Codazzi", Dirección Agrológica, 1973. 157 p.
20. RAD, G.G. Newer aspects of nitrification. I. *Soil Science* 38(a): 143-158. 1934.
21. ROBINSON, O.B. Nitrogen studies in a coffee soil. I. Seasonal trends of natural soil nitrate and ammonia in relation to crop, growth, soil moisture and rainfall. *Journal of Agricultural Science* 55: 333-336. 1960.

22. ROBINSON, D. R. y GACOKA, P. Evidence of the upward movement of nitrate during the dry season in the kiku yu red loam coffee soil. Journal of Soil Science 13(1): 133-139. 1962.
23. SAIZ DEL RIO, J.P. y BORNEMISZA, E.S. Análisis químico de suelos. Método del laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107 p.
24. SIMPSON, J.R. The mechanism of surface nitrate accumulation on the bare fallow soil in Uganda. Journal of Soil Science 11(1): 45-60. 1960.
25. TANDON, S.P. y DHAR, N.R. Influence of temperature on bacterial nitrification in tropical countries. Soil Science 38: 183-189.
26. WASKMAN, A.S. y MADHOK, M.R. Influence of light and heat upon the formation of nitrate in soil. Soil Science 44: 361-375. 1937.

Tabla 1. VARIACION ESTACIONAL DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS Y COEFICIENTES DE CORRELACION (r) CON HUMEDAD DE CAMPO Y PRECIPITACION MENSUAL. — S U E L O T R O P I C O —

PROPIEDADES	r LINEAL		r CUADRATICA		CONDICION	- MESES DE OBSERVACION -											
	PREC. PLUV	HUM. DE C.	PREC. PLUV	NUM. DE C.		A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	JUL
TEMPERATURA					TROPEPT	21,40	50,60	127,60	146,80	140,40	18,80	96,40	87,20	74,80	43,40	121,50	52,10
F ¹	-0.65 ¹	N. S.	N. S.	N. S.	TROPEPT	12,96	13,02	12,49	12,83	12,38	12,26	12,42	12,98	13,48	12,71	12,40	11,24
C. r. c. (mg/100g)	-0.60 ¹	N. S.	N. S.	N. S.	HUMEDO	6,10	6,20	6,00	5,90	6,00	6,10	6,10	6,20	6,00	6,20	6,10	6,20
N-NO ₃ (ppm)	0.82 ¹¹	0.65 ¹	0.7747 ¹¹	N. S.	SECO	6,20	6,30	6,10	6,10	6,10	6,20	6,20	6,30	6,10	6,30	6,20	6,30
P-APROVECHABLE (ppm)	0.84 ¹¹	N. S.	0.7662 ¹¹	N. S.	HUMEDO	42,04	46,13	54,94	58,67	56,43	48,86	51,29	48,63	46,03	43,53	47,02	45,33
Al de CAMBIO (ppm)	0.76 ¹¹	0.72 ¹¹	N. S.	N. S.	SECO	38,47	45,36	50,47	53,31	52,60	44,57	48,78	42,67	43,36	40,30	45,95	43,59
K de CAMBIO (mg/100g)	0.69 ¹	N. S.	0.679 ¹	N. S.	HUMEDO	26,60	40,48	91,27	159,51	114,31	39,45	110,11	103,52	96,13	80,11	98,13	64,11
Mg de CAMBIO (mg/100g)	0.60 ¹	N. S.	N. S.	N. S.	SECO	22,67	36,07	48,84	78,30	66,60	46,86	70,91	78,30	61,93	50,91	59,85	48,78
Ca de CAMBIO (mg/100g)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	HUMEDAD	3,63	2,73	4,23	4,44	3,75	2,59	3,94	3,68	3,36	3,04	2,95	3,84
N de CAMBIO (mg/100g)	0.64 ¹	0.59 ¹	0.6175 ¹	N. S.	SECO	2,10	2,06	1,98	2,08	1,33	1,60	2,63	2,58	2,33	2,09	1,91	2,93
K de CAMBIO (mg/100g)	-0.73 ¹¹	-0.77 ¹¹	N. S.	N. S.	HUMEDAD	36,00	41,40	52,20	90,00	81,90	60,30	49,10	50,40	52,20	60,30	60,30	54,90
Mg de CAMBIO (mg/100g)	-0.91 ¹¹	N. S.	0.8298 ¹¹	N. S.	SECO	27,90	37,80	48,60	40,50	39,60	43,20	45,50	46,80	49,50	46,80	56,70	49,50
Ca de CAMBIO (mg/100g)	-0.71 ¹¹	N. S.	0.6491 ¹¹	N. S.	HUMEDO	1,14	1,09	0,84	0,55	0,60	0,77	0,71	0,75	0,80	0,81	0,78	0,92
Mg de CAMBIO (mg/100g)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	SECO	1,49	1,44	0,94	0,67	0,80	1,27	0,84	0,95	1,07	1,21	0,91	1,28
N de CAMBIO (mg/100g)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	HUMEDO	0,47	0,54	0,44	0,33	0,36	0,45	0,38	0,51	1,43	0,56	0,41	0,53
Ca de CAMBIO (mg/100g)	-0.88 ¹¹	N. S.	0.8273 ¹¹	N. S.	SECO	0,60	0,63	0,57	0,60	0,54	0,59	0,59	0,60	0,49	0,72	0,55	0,67
Mg de CAMBIO (mg/100g)	-0.88 ¹¹	N. S.	0.794 ¹¹	N. S.	HUMEDO	24,14	21,28	14,69	10,89	12,32	22,20	17,82	18,57	20,09	24,80	20,93	23,71
N de CAMBIO (mg/100g)	-0.90 ¹¹	-0.84 ¹¹	0.8127 ¹¹	0.7062 ¹¹	SECO	28,64	26,75	17,03	13,86	14,68	26,10	18,45	24,26	21,80	27,98	24,48	25,93
Ca de CAMBIO (mg/100g)	-0.88 ¹¹	N. S.	0.7695 ¹¹	0.6654 ¹¹	HUMEDO	33,65	29,20	18,81	17,10	21,02	26,59	22,56	23,31	23,95	26,68	21,80	26,16
Mg de CAMBIO (mg/100g)	-0.88 ¹¹	N. S.	0.7695 ¹¹	0.6654 ¹¹	SECO	36,74	31,52	22,63	20,52	23,29	29,01	28,66	21,10	27,14	31,31	26,50	29,02

¹ = Significativo
¹¹ = Anómalo Significativo
¹¹¹ = No Significativo

Tabla 2 - VARIACION ESTACIONAL DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS Y FISICAS DEL SUELO DE OBONUCO Y SU RELACION CON LA PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL

PROPIEDADES	LINEAL		CUADRATICA		CONDICION	MESES DE OBSERVACION																							
	PREC. PLUV.	RUM. S.E.C.	PREC. PLUV.	RUM. S.E.C.		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	JL													
PRECIPITACION						1.80	2.28	2.58	2.75	2.80	2.75	2.60	2.35	2.00	1.60	1.20	0.90	0.60	0.30	0.10	0.10	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80		
TEMPERATURA						1.80	2.28	2.58	2.75	2.80	2.75	2.60	2.35	2.00	1.60	1.20	0.90	0.60	0.30	0.10	0.10	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80		
P.H.	-0.71**	-0.87**	N.S.	N.S.		5.20	5.30	5.40	5.50	5.60	5.70	5.80	5.90	6.00	6.10	6.20	6.30	6.40	6.50	6.60	6.70	6.80	6.90	7.00	7.10	7.20	7.30	7.40	
C.I.C.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	40.18	
W-100g	-0.83**	0.78**	N.S.	N.S.		42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	42.35	
W-100g (p.p.)	-0.82**	0.7321**	N.S.	N.S.		55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	55.25	
W-1000g	0.82**	0.75**	N.S.	N.S.		37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	37.82	
W-1000g (p.p.)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	
W-1000g (p.p.)	N.S.	-0.65*	N.S.	N.S.		0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	
W-1000g (p.p.)	-0.83**	-0.88**	N.S.	N.S.		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	
W-1000g (p.p.)	-0.75**	N.S.	N.S.	N.S.		1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	
W-1000g (p.p.)	-0.79**	-0.83**	N.S.	N.S.		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	
W-1000g (p.p.)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
W-1000g (p.p.)	-0.72**	N.S.	N.S.	N.S.		0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	
W-1000g (p.p.)	-0.65*	N.S.	N.S.	N.S.		0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
W-1000g (p.p.)	-0.77**	-0.78	N.S.	N.S.		2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	
W-1000g (p.p.)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	
W-1000g (p.p.)	-0.70*	-0.73**	N.S.	N.S.		1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	
W-1000g (p.p.)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	

* = Significativo

** = altamente Significativo

N.S. = No significativo

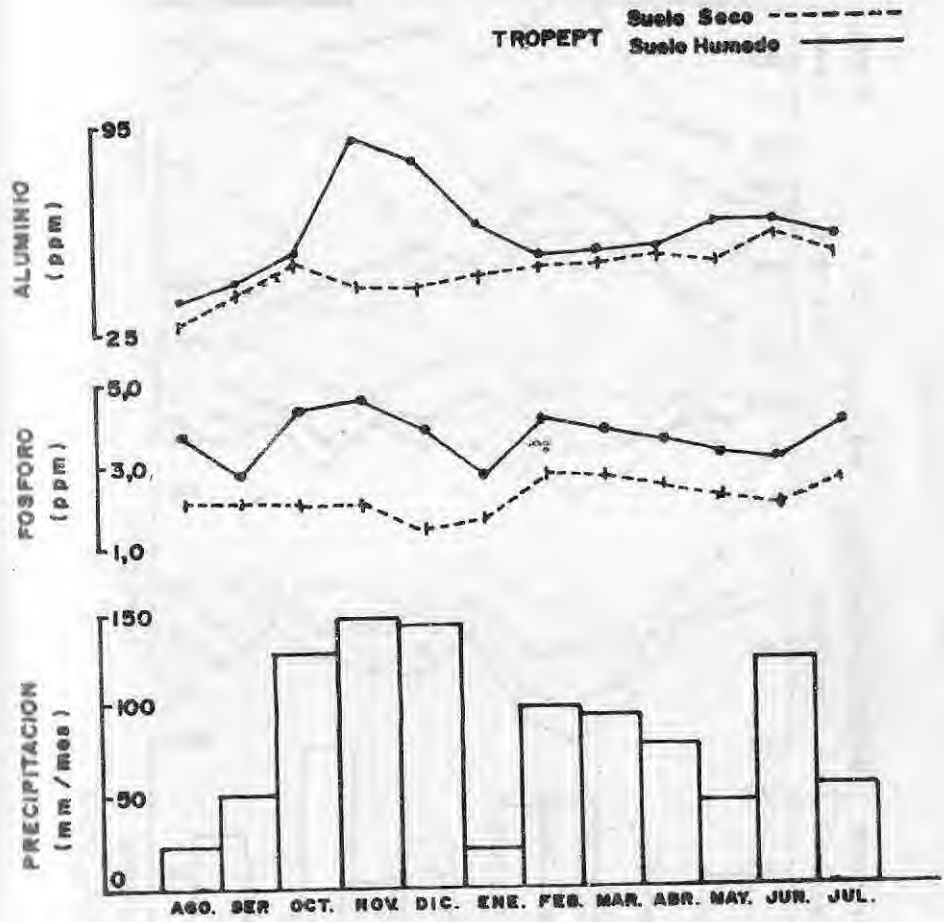


FIG. 1 RELACION ENTRE LA PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL Y ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO DE OBONUCO (TROPEPT)

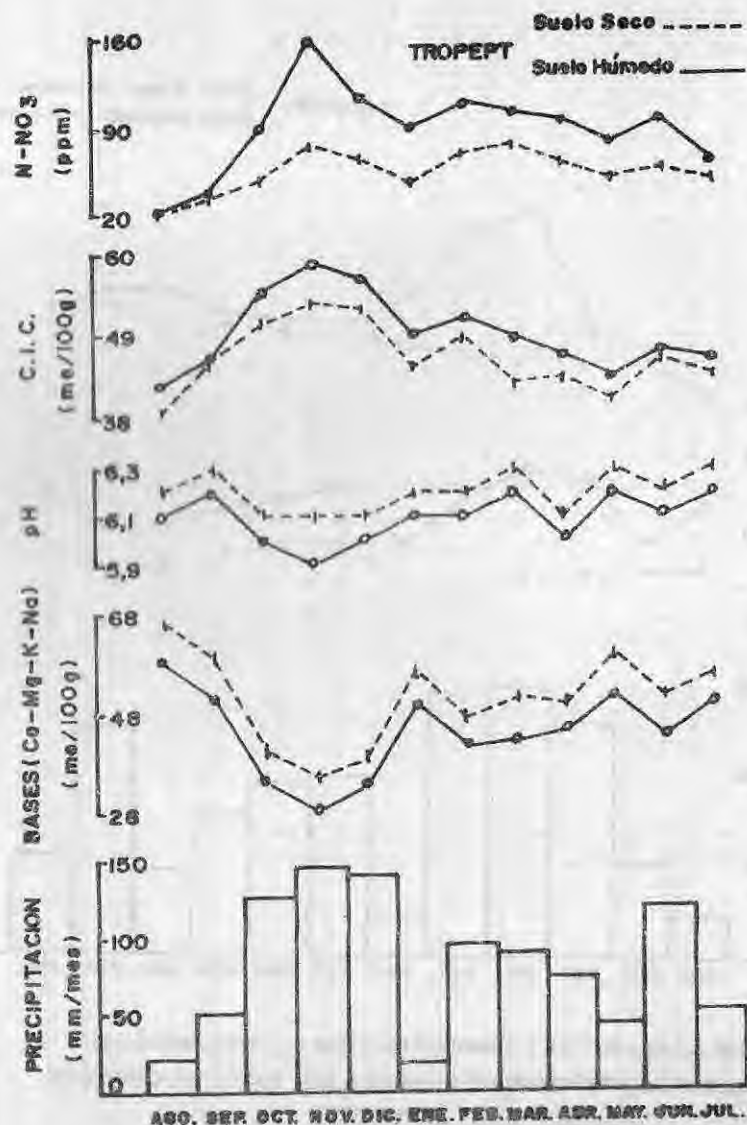


FIG. 2 RELACION ENTRE LA PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL Y ALGUNAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO DE OBONUCO (TROPEPT)

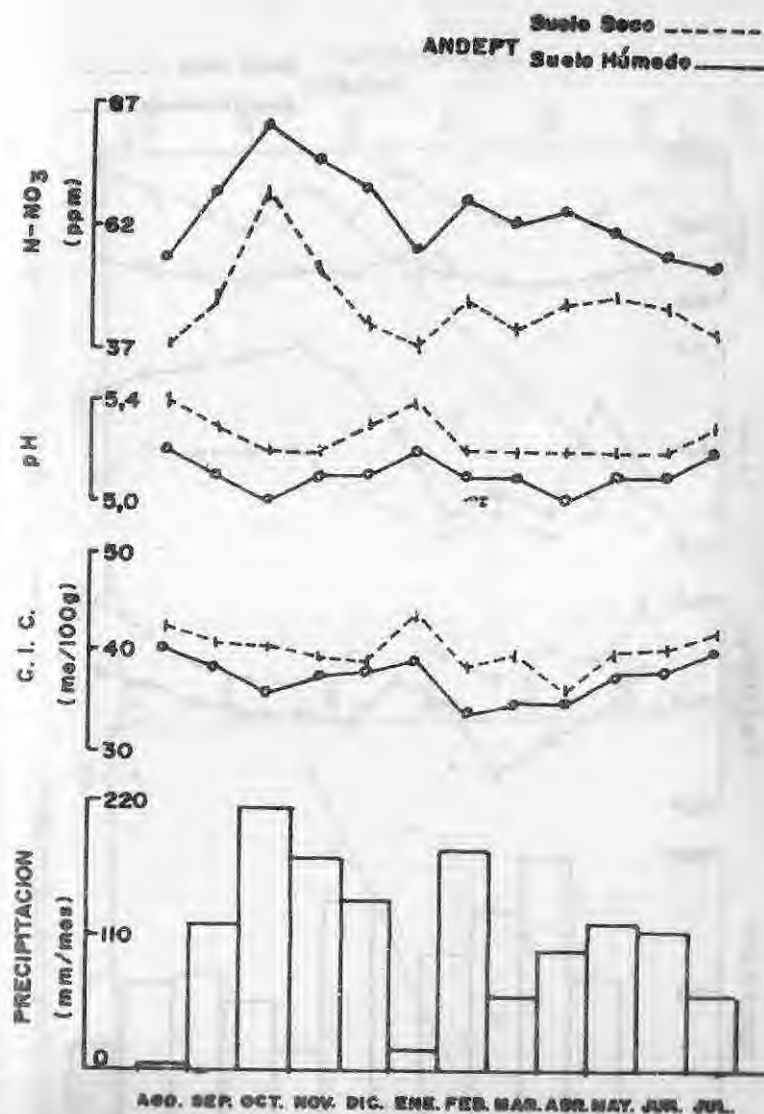


FIG. 3 RELACION ENTRE LA PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL Y ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS EN EL SUELO DE CHACHAGÜI (ANDEPT)

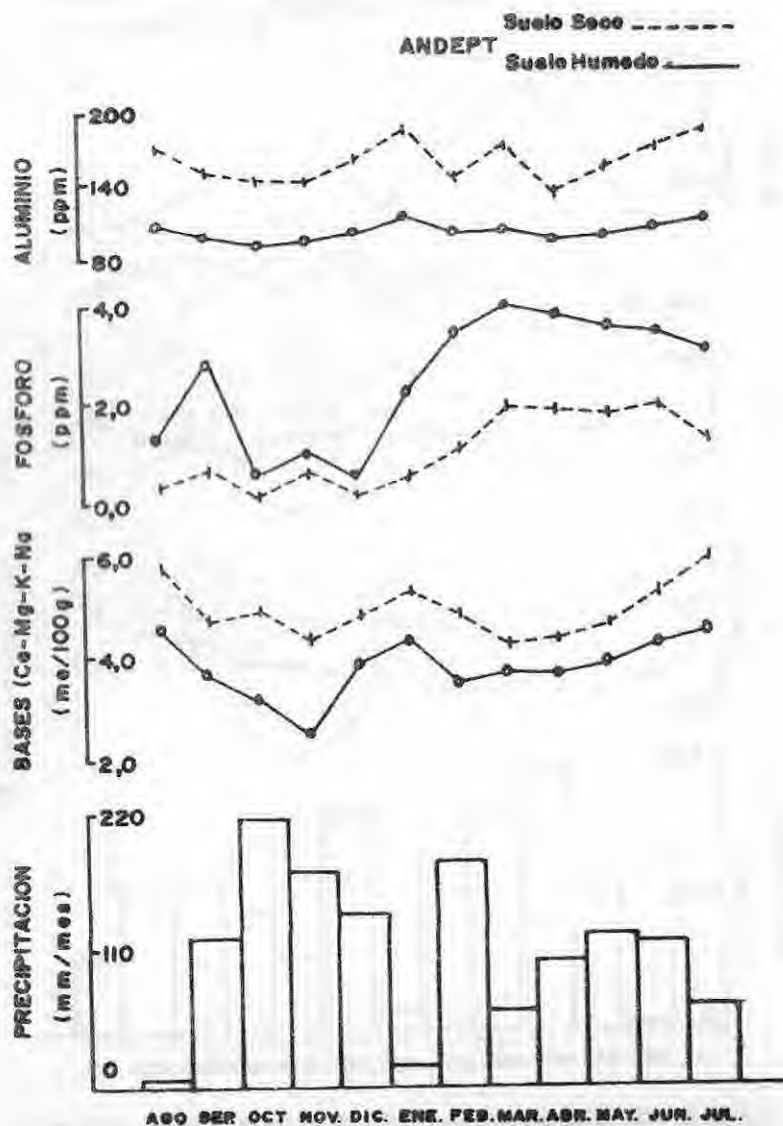
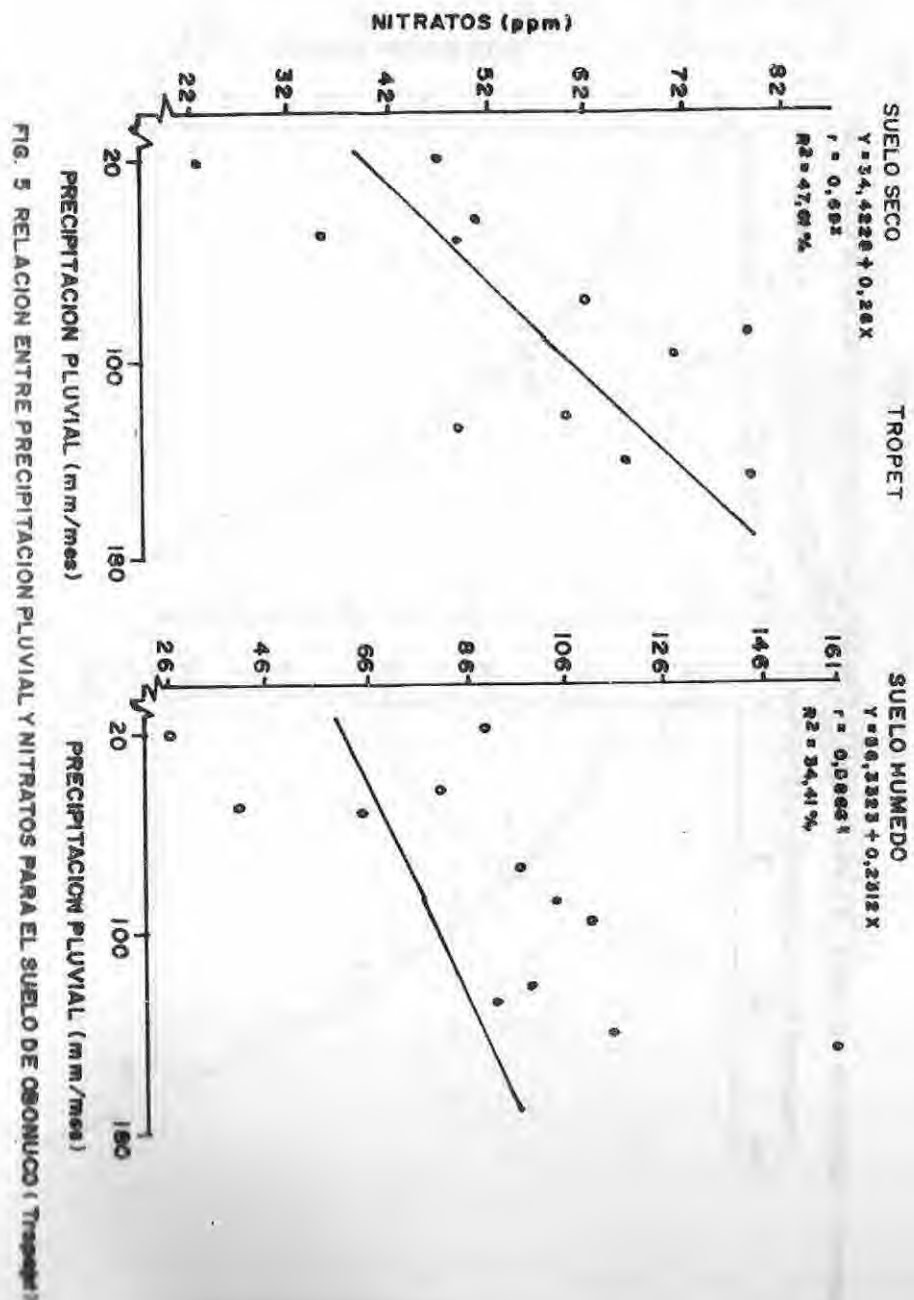
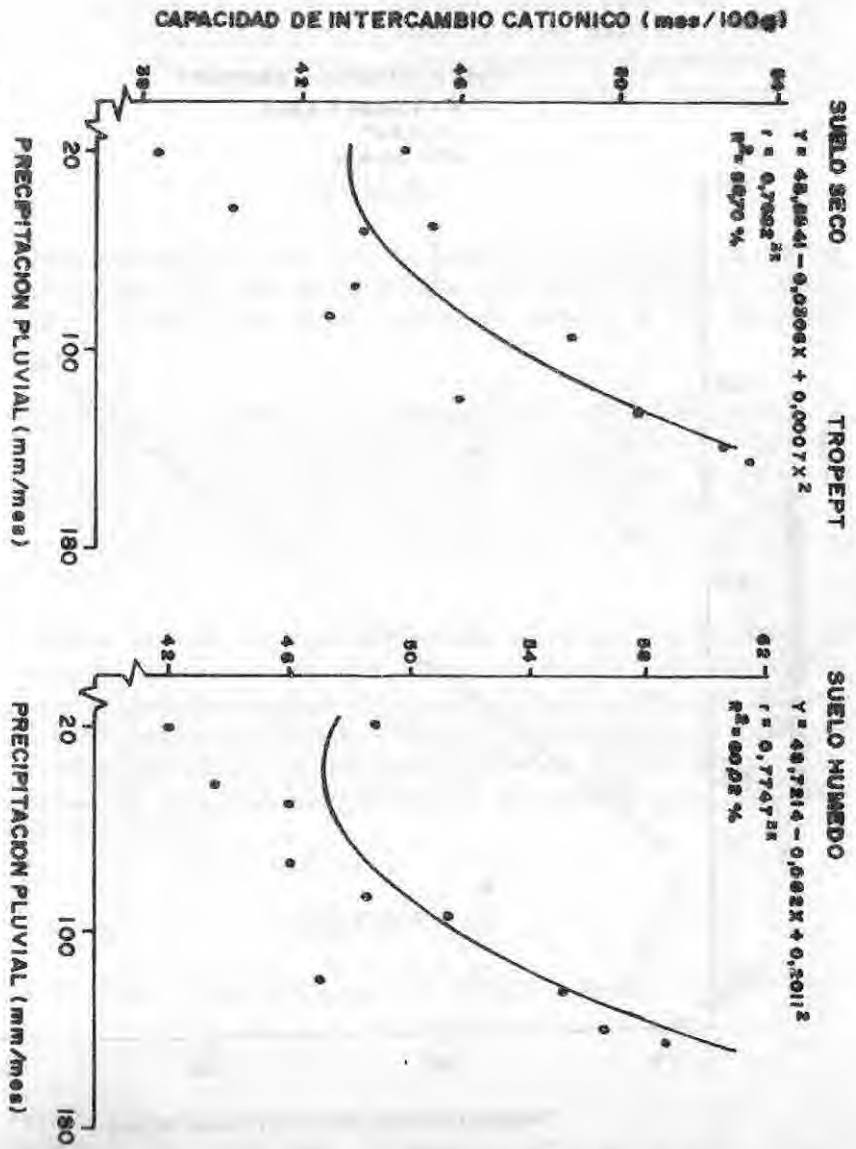
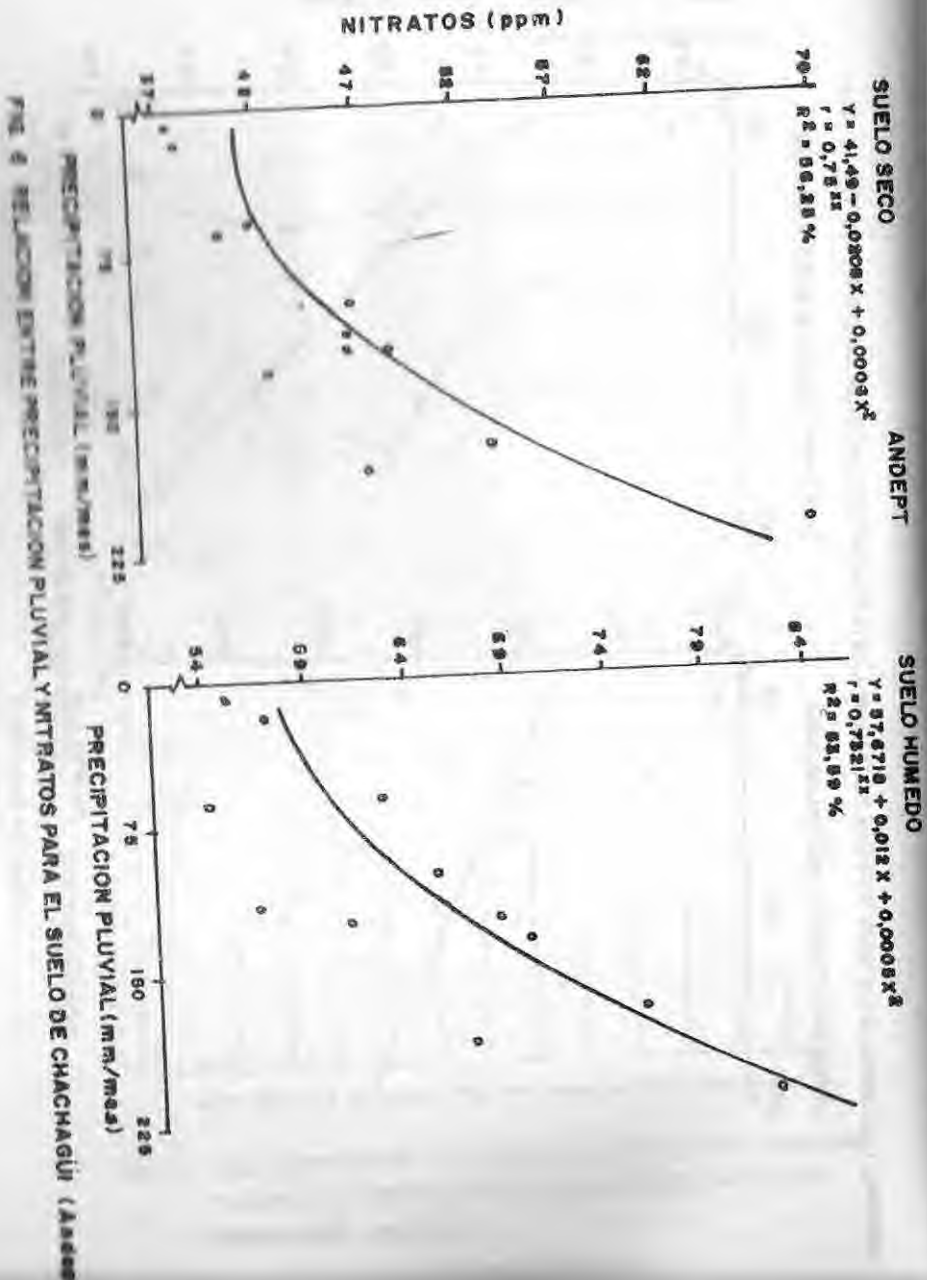


FIG. 4 RELACION ENTRE LA PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL Y ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO DE CHACHAGÜÍ (Andept)





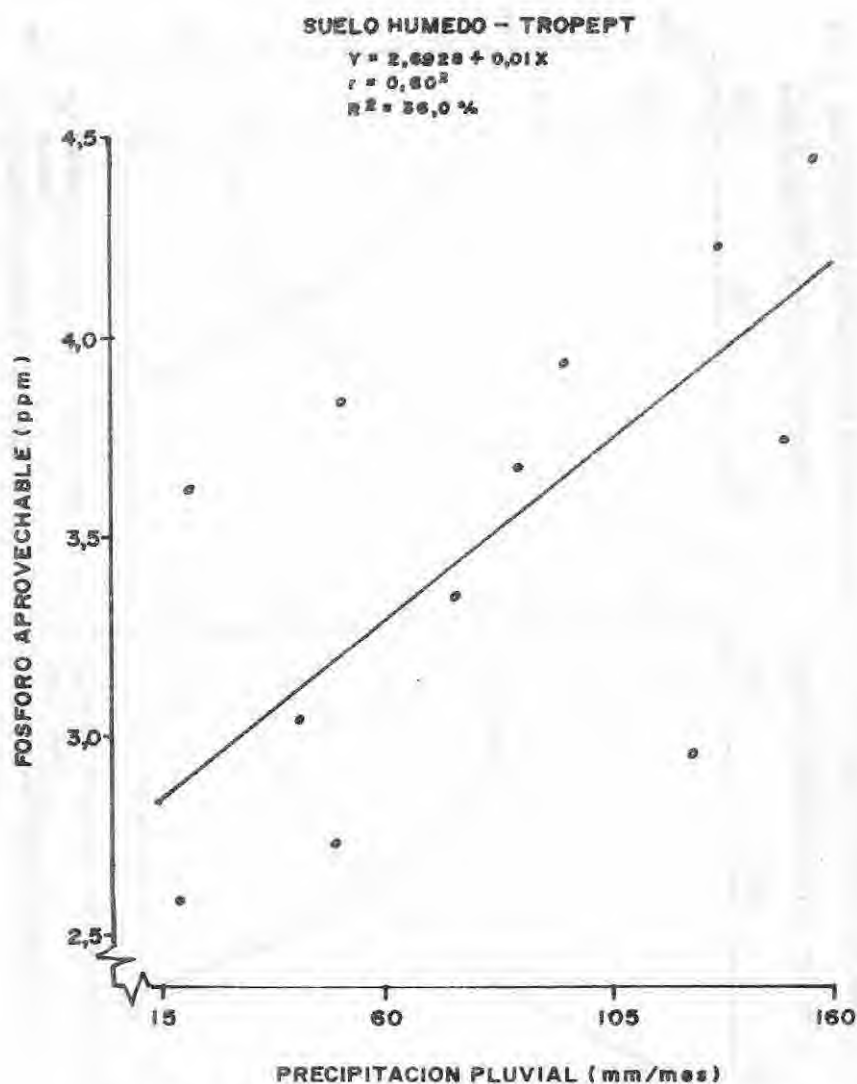


FIG 8 RELACION ENTRE LA PRECIPITACION PLUVIAL Y FOSFORO-APROVECHABLE PARA EL SUELO DE OBONUCO (TROPEPT)