

631.4
Q 95 V
5.1
7

VARIACIONES ESTACIONALES DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS
DE DOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO, NARIÑO, COLOMBIA

Por

OSCAR JURADO MARTINEZ
RAUL JURADO MARTINEZ

UNIVERSIDAD DE
[DEPARTAMENTO DE

Tesis de Grado presentada como requisito parcial
para optar al título de
INGENIERO AGRONOMO

Presidentes de Tesis

LUCIO LEGARDA BURBANO I.A., M. Sc.
RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M. Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA

1977

UNIVERSIDAD DE NARIÑO			
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS			
PASTO - COLOMBIA			
No.	14109	Ej.	1
Valor	\$ 900 -	Vol.	
Fecha	V - 16 - 77	Don.	X
Fact.	Agremiación		
Librería	Antor	Ciudad	

"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva de sus autores"

Artículo 1o. del Acuerdo No. 324 del 11 de Octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

DEDICO :

OSCAR JURADO MARTINEZ

A MIS PADRES
A MI ESPOSA CARMEN INES
A MI HIJO OSCAR ANDRES
A MIS FAMILIARES
A MIS AMIGOS

DEDICO :
OSCAR JURADO MARTINEZ

QUERIDOS SINCEROS AGRADECIMIENTOS A QUIENES EN
SU AYUDA CONTRIBUYERON PARA QUE ESTE
LIBRO SE PUBLICARA CON RAZO :

AL APDO. GUSTAVO BLANCO I.A., N. Sc.

A MIS PADRES POR SUS SACRIFICIOS

A MIS HIJOS POR SU INOCENCIA

A POLA POR SU RESIGNACION

A MARY POR SU DEDICACION

DEDICO :

RAUL JURADO MARTINEZ

CONTENIDO

Pág.

NUESTROS SINCEROS AGRADECIMIENTOS A QUIENES EN
FORMA DESINTERESADA CONTRIBUYERON PARA QUE ESTE
TRABAJO SE REALIZARA CON EXITO :

RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A., M. Sc.
LUCIO LEGARDA BURBANO I.A., M. Sc.
EFREN CORAL QUINTERO I.A., M. Sc.
HERNAN BURBANO ORJUELA I.A., M. Sc.
MIGUEL VIVEROS ZARAMA I.A.
IGNACIO ESCANDON BRAVO
FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA
HUGO JURADO CABRERA
MYRIAM MONTANEZ
LUCY AGUILERA RIASCOS

Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad
de Nariño.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Variación estacional de los factores químicos de fertilidad del suelo	3
2.1.1 Nitratos	3
2.1.2 Otras propiedades químicas	9
2.2 Efecto del secamiento de las muestras del suelo	11
2.2.1 Propiedades físicas	11
2.2.2 Propiedades químicas	12
III. MATERIALES Y METODOS	13
3.1 Suelos y muestreo	13
3.1.1 Suelo Obonuco	13
3.1.2 Suelo Chachagüi	13
3.1.3 Muestreo	14
3.2 Datos climáticos	14
3.3 Determinaciones físico-químicas	15
3.3.1 Humedad de campo	15
3.3.2 Densidad aparente	16
3.3.3 Capacidad de campo	16
3.3.4 Reacción del suelo (pH)	16
3.3.5 Capacidad de intercambio catiónico	16
3.3.6 Bases cambiabiles (K, Ca, Mg y Na)	16
3.3.7 Aluminio cambiabile	16
3.3.8 Fósforo aprovechable	17
3.3.9 Nitratos	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	18
4.1 Efecto del secamiento de las muestras	18

	Pág.
4.1.1 Propiedades físicas	18
4.1.2 Propiedades químicas	20
4.2 Variación estacional de las <u>característi</u> cas edáficas	23
4.2.1 Propiedades físicas	23
4.2.2 Propiedades químicas	25
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1 Conclusiones	59
5.1.1 Efecto del secamiento y humedeci- miento	59
5.1.2 Efectos de las variaciones esta- cionales	60
5.2 Recomendaciones	60
VI. RESUMEN	61
SUMMARY	63
VII. BIBLIOGRAFIA	64

TABLAS

	Pág.
TABLA I. Variación estacional de las propiedades físico-químicas y coeficientes de correlación (r) con humedad de campo y precipitación. Suelo Tropept	33
TABLA II. Variación estacional de las propiedades físico-químicas y coeficientes de correlación (r) con humedad de campo y precipitación mensual. Suelo Andept	34

ILUSTRACIONES

	Pág.
FIGURA 1. Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades fisico-químicas del suelo de Obonuco (Tropept)	35
FIGURA 2. Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades fisico-químicas del suelo de Obonuco (Tropept)	36
FIGURA 3. Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades físicas en el suelo de Chachagüí (Andept)	37
FIGURA 4. Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades químicas en el suelo de Chachagüí (Andept)	38
FIGURA 5. Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades químicas en el suelo de Chachagüí (Andept)	39
FIGURA 6. Relación entre el porcentaje de humedad de campo y porcentaje de capacidad de campo para el suelo Obonuco (Tropept)	40
FIGURA 7. Relación entre precipitación pluvial y porcentaje de capacidad de campo para el suelo de Chachagüí (Andept)	41
FIGURA 8. Relación entre precipitación pluvial y densidad aparente para el suelo de Chachagüí (Andept)	42
FIGURA 9. Relación entre precipitación pluvial y nitratos para el suelo de Obonuco (Tropept)	43
FIGURA 10. Relación entre precipitación pluvial y nitratos para el suelo de Chachagüí (Andept)	44

FIGURA 11.	Relación entre precipitación pluvial y reacción del suelo (pH) para el suelo de Obonuco (Tropept)	45
FIGURA 12.	Relación entre la precipitación pluvial y reacción del suelo (pH) para el suelo de Chachagüí (Andept)	46
FIGURA 13.	Relación entre el porcentaje de humedad de campo y aluminio cambiabile	47
FIGURA 14.	Relación entre precipitación pluvial y aluminio cambiabile	48
FIGURA 15.	Relación entre precipitación pluvial y porcentaje de capacidad de intercambio catiónico para el suelo de Obonuco (Tropept)	49
FIGURA 16.	Relación entre precipitación pluvial y calcio cambiabile para el suelo de Obonuco (Tropept)	50
FIGURA 17.	Relación entre la precipitación pluvial y calcio cambiabile para el suelo de Chachagüí (Andept) . .	51
FIGURA 18.	Relación entre precipitación pluvial y magnesio cambiabile para el suelo de Obonuco (Tropept) . .	52
FIGURA 19.	Relación entre precipitación pluvial y magnesio cambiabile para el suelo de Chachagüí (Andept) . .	53
FIGURA 20.	Relación entre precipitación pluvial y potasio cambiabile para el suelo de Obonuco (Tropept) . .	54
FIGURA 21.	Relación entre precipitación pluvial y potasio cambiabile para el suelo de Chachagüí (Andept) . .	55
FIGURA 22.	Relación entre precipitación pluvial y sodio cambiabile para el suelo de Chachagüí (Andept) . . .	56
FIGURA 23.	Relación entre precipitación pluvial y fósforo <u>a</u> provechable para el suelo de Obonuco (Tropept) .	57

VARIACIONES ESTACIONALES DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE LOS SUELOS DEL ALTIFLANO DE PASTO, SARIAC, COLOMBIA. (1) Pág.

FIGURA 24. Relación entre porcentaje de humedad de campo y fósforo aprovechable para el suelo de Chachagüí (Andept)

58

ANGEL JURADO MARTINEZ
RAUL JURADO MARTINEZ

1. INTRODUCCION

Se sabe que el suelo se expande al humedecerse e inversamente, se contrae al secarse. También se conoce que el agua puede ascender del suelo debido a la capilaridad. También se conoce que el agua puede ascender del suelo debido a la capilaridad. También se conoce que el agua puede ascender del suelo debido a la capilaridad.

Por lo tanto, de vista científica es de gran importancia determinar la relación entre la humedad y el fósforo en los suelos de la zona de estudio. La investigación se realizó en la zona de estudio, en la zona de estudio, en la zona de estudio. La investigación se realizó en la zona de estudio, en la zona de estudio, en la zona de estudio.

La investigación se realizó en la zona de estudio, en la zona de estudio, en la zona de estudio. La investigación se realizó en la zona de estudio, en la zona de estudio, en la zona de estudio.

- 2 -

VARIACIONES ESTACIONALES DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS
DE DOS SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO, NARIÑO, COLOMBIA (')

Por

OSCAR JURADO MARTINEZ

RAUL JURADO MARTINEZ

I. INTRODUCCION

Se sabe que el suelo se expande al humedecerse e inversamente, se contrae al secarse. También se conoce que el agua puede sacarse del suelo húmedo por compresión; el suelo seco ejerce una gran presión cuando se está humedeciendo. La expansión y contracción de los suelos son dos fenómenos importantes que ocurre en épocas de lluvia y de sequía.

Desde el punto de vista agronómico es de gran importancia determinar cual 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 fisico-químicos, ya que los resultados que se obtengan pueden indicar con precisión la cantidad de fertilizante que requiere 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 nutrimentos afecta el normal desarrollo de las plantas, también lo hace el exceso.

(') Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Lucio Legarda Burbano, I.A., M. Sc. y Ricardo Guerrero Riascos, I.A., M. Sc.

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 físico-químicas de estos suelos.

La literatura adafológica es consciente al hecho de que los valores del pH , NO_3 , N -cambiable y P -aprovechable varían en un mismo suelo a lo largo del año en lo que se conoce como fenómeno de la "variación estacional" de las propiedades del suelo (14). Ellis (15) dice al respecto que las propiedades químicas del suelo varían horizontalmente, verticalmente con el suelo y a través del tiempo.

Las variaciones estacionales están normalmente asociadas con factores de tipo climático, tales como precipitación pluvial y la temperatura, a través de su influencia sobre el ritmo fisiológico vegetal (absorción de nutrientes minerales, deposición de restos vegetales) y microbiano (mineralización, nitrificación). A estos efectos se añaden los concernientes a la erosión y dilución del agua del suelo y a la lixiviación y su acción sobre el complejo de intercambio (21).

2.1.1. Materiales

Según Guerrero (22), los primeros estudios sobre la influencia de las variaciones estacionales en la fertilidad del suelo se efectuaron a parir de 1910 cuando investigadores realizaron estudios en suelos del tipo Tropept y Andept en relación con la concentración de nutrientes.

A partir de entonces, se han efectuado muchos estudios de variación estacional en la fertilidad del suelo y en las propiedades físico-químicas de los suelos, pero no se han efectuado estudios de variación estacional en la fertilidad del suelo y en las propiedades físico-químicas de los suelos.

En el presente estudio se han efectuado estudios de variación estacional en la fertilidad del suelo y en las propiedades físico-químicas de los suelos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Variación estacional de los factores químicos de fertilidad del suelo

En la literatura edafológica es conocido el hecho de que los valores del pH, NO_3 , K-cambiable y P-aprovechable 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 (14). Cline (15) dice al respecto que las propiedades químicas del suelo varían horizontalmente, verticalmente con el manejo y a través del tiempo.

Las variaciones estacionales están normalmente asociadas con factores de tipo climático, tales como precipitación pluvial y la temperatura, a través de su influencia sobre el ritmo fisiológico vegetal (absorción de elementos nutritivos, deposición de restos vegetales) y microbiano (mineración, inmovilización). A estos efectos se suman los concernientes a la concentración y dilución del agua del suelo y a la lixiviación y su acción sobre el complejo de intercambio (21).

2.1.1 Nitratos

Según Guerrero (24), los primeros indicios sobre la ocurrencia de efectos estacionales en la fertilidad del suelo se observaron a partir de 1930 cuando investigaciones realizadas en suelos del trópico dan cuenta sobre variaciones considerables en la concentración de nitratos.

A partir de entonces, se han obtenido muchos modelos de fluctuaciones de nitratos en diferentes suelos tropicales y bajo diferentes condiciones climáticas.

Hardy (28), en suelos de las Indias Occidentales, encontró considerable acumulación de nitratos cuando el contenido de humedad aprove-

chable se redujo durante la estación seca en el rango de humedad capilar. Indica que las cantidades acumuladas equivalen a 600 Kg/ha de sulfato de amonio.

En un estudio posterior, Hardy (29) encuentra que las fluctuaciones de nitratos en suelos cultivados con algodón parecen estar íntimamente ligadas a las variaciones del contenido de humedad del suelo.

Efectos similares de acumulación de nitratos en la estación seca han sido encontrados en suelos de Australia (37) al igual que en suelos de Uganda (13).

Sin embargo, el incremento en la concentración durante la estación seca no es el único modelo de fluctuación de nitratos observado para suelos tropicales.

En efecto, en 1950 Griffing y Manning (26) obtuvieron evidencia experimental de una acentuada acumulación de nitratos al comienzo de la estación lluviosa, en cantidades hasta de 500 ppm, cuyo significado agronómico se consideró indiscutible.

A partir de entonces, este patrón de fluctuación estacional se repite en forma reiterada en suelos del Sudán (32), en suelos de Tanagerina (27), en latosoles de Kenya (42) y en suelos de Ghana (25), a los cuales se suman los resultados más recientes obtenidos por Cornforth (19) en suelos de las Indias Occidentales y por Fassbender (21) en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica.

Con respecto a la contradicción evidente entre los dos modelos de acumulación ya descritos, Simpson (46) sostiene que el fenómeno de fluctuación de nitratos es muy variable. Afirma que los nitratos pueden acumularse en el suelo superficial durante la estación seca o bien su concentración puede permanecer baja. De la misma manera, un flujo de nitratos puede o no ser detectado en el suelo superficial al comenzar las lluvias. Conclu-

ye finalmente que los factores que determinan el patrón de acumulación pueden ser :

- a. El tipo de cobertura o su ausencia en el suelo
- b. Las lluvias, su intensidad y duración
- c. El tipo de suelo, con particular referencia al N-total, textura, estructura y el nivel de otros nutrimentos esenciales para la nitrificación microbial.

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

Hacia el año 1933 Dhar y colaboradores (20) 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 de suelo
- b. Las temperaturas son demasiado altas y el contenido de humedad en el suelo demasiado bajo para que la actividad bacterial ocurra normalmente.

La teoría de la fotonitrificación es apoyada por Rao (41) y Tandon y Dhar (49) 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 explicada 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 (50), en Estados Unidos y Joshi y Biswas (33) 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 microbial, gobernadas por factores no muy bien entendidos.

Otros investigadores del problema (27, 42, 46) lo explican apoyándose exclusivamente en la actividad microbial. Al respecto, Greenland (25) 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-nitrificable. Al comenzar las lluvias se estimula la actividad microbial y rápidamente el N-nitrificable es convertido a nitratos. El $N-NO_3$ es entonces lixiviado y comienza de nuevo el ciclo.

Al comienzo de la década del 60 aparece una nueva teoría relacionada con la fluctuación estacional de los nitratos, según la cual esa variación obedece a la ascensión capilar del $N-NO_3$ en los periodos secos. Son fervientes defensores de esta teoría: Wetselaar (51, 52, 53), Simpson (46), Robinson y Gacoka (43). Sin embargo, otros autores, como Stephens (47) le restan importancia al fenómeno afirmando y demostrando que el movimiento capilar ascendente no es suficiente para explicar la acumulación estacional de nitratos y que más bien ésta debe estar asociada con un incremento en la actividad microbial.

Casi simultáneamente con la teoría de la ascensión capilar se plantea un nuevo mecanismo para explicación del fenómeno: el efecto secamiento - rehumedecimiento, hoy conocido en la literatura edafológica como "efecto Birch", denominación que hace relación al apellido de quien postuló tal mecanismo en base a numerosas investigaciones.

Birch y Friend (4) encontraron inicialmente que cuando un suelo es secado al aire y rehumedecido se produce una apreciable estimula-

ción en la descomposición del humus, en tanto que el secamiento al horno tiene efecto similar pero de mayor magnitud.

Después, Birch (5) demuestra que este efecto causa un incremento de cerca de 20 ppm en el $N-NO_3$, el cual se repite con cada ciclo secamiento - rehumedecimiento. Puesto que el fenómeno se presenta similarmente bajo condiciones de campo, Birch lo asocia con la fluctuación estacional de nitratos en los suelos del trópico. En efecto, la máxima producción de nitratos ocurre al comienzo de las lluvias después de un período seco. El hecho de que el fenómeno se presente particularmente en suelos del trópico, se explica por cuanto estos están sujetos a períodos bien definidos de humedad y sequía. Una baja precipitación, la cual es generalmente más intermitente que una alta precipitación, estará asociada con una mayor frecuencia de ciclos humedecimiento - secamiento y por tanto, con un mayor flujo de nitratos.

El mismo autor (8) determina posteriormente que para un suelo dado, las cantidades de N-mineralizado están en relación positiva con el tiempo de secamiento.

Finalmente, Birch y Emechebe (3) han demostrado la importancia agronómica del efecto secamiento - rehumedecimiento al encontrar una acción estadística y confiable de este tratamiento al suelo, en el sentido de incrementar el porcentaje de N y el rendimiento del sorgo.

Al paso que informa sobre los resultados de sus investigaciones, Birch postula diferentes mecanismos asociados con el efecto secamiento - humedecimiento, cuya esencia se resume a continuación:

- a. Liberación y protección de los compuestos orgánicos por las arcillas

Bajo condición húmeda, al menos una parte de la fracción humus sería protegida del ataque microbial por la fracción arcilla, los

sucesivos secamientos liberan 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 explicaría el impulso en la descomposición que sigue al humedecimiento de un suelo seco (4).

b. Estimulación bacterial

Más tarde Birch (5) encuentra la evidencia inicial de que el fenómeno está relacionado con la acción del secado o calentamiento sobre el comportamiento microbial. 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 microbial que sigue al humedecimiento de un suelo seco se debe, tentativamente, a la alta actividad de la nueva población microbial desarrollada.

En otro trabajo (6), Birch afirma que el joven y vigoroso desarrollo microbial 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 asociada con el fenómeno.

c. Efecto de superficie

El tercer mecanismo planteado por Birch (7) 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. El incremento del área superficial de los coloides orgánicos ocurre por fragmentación e incremento de la porosidad del gel a causa del secado. Este comportamiento podría explicar no sólo el

incremento de la cantidad de material orgánico producido por el secamiento, sino también la disminución en la tasa de nitrificación después del humedecimiento prolongado.

Hoy el "efecto Birch" se considera una clara explicación de la fluctuación estacional de los nitratos y se acepta que el mismo está relacionado con fenómenos de tipo bio-físico.

2.1.2 Otras propiedades químicas

En contraste con la gran cantidad de información existente sobre el efecto estacional en la producción de $N-NO_3$, la existente en relación al mismo efecto sobre otras propiedades químicas es relativamente pobre.

a. Capacidad de intercambio catiónico y bases cambiables

Tanto en suelos de la zona templada (12) como en suelos tropicales de Hawái (34) se ha encontrado incrementos significativos de la capacidad de intercambio catiónico durante la estación lluviosa. Para el caso de los suelos del Hawái el incremento relativo promedio de la CIC fue del 17% en relación al promedio observado en la estación seca.

En suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica, Fassbender (21) encontró que la capacidad de intercambio catiónico mostró variaciones pequeñas que no estuvieron asociadas con la precipitación pluvial. Por el contrario, las bases cambiables tendieron a mostrar una relación inversa con la cantidad de lluvia caída en el mes anterior al muestreo.

Childs y Jencks (14), al estudiar el fenómeno en suelos agrícolas ácidos de Estados Unidos, encontraron acentuadas variaciones estacionales en el potasio cambiable, pero éstas no relacionaron significativamente con los valores de precipitación pluvial.

b. pH y aluminio cambiabile

Estudiando la variación estacional de la reacción del suelo en trece series de suelos del sur de Michigan, Collins y colaboradores (16) encontraron que la fluctuación osciló entre 0,5 y 1,6 unidades de pH y su magnitud estuvo relacionada con la saturación de bases, conductividad eléctrica, materia orgánica y humedad de campo. Las fluctuaciones en la reacción del suelo estuvieron asociadas con variaciones importantes en los requerimientos de cal.

Fassbender (21) encontró diferencias significativas en los valores de pH a lo largo del año, diferencias que relacionaron estadísticamente con la precipitación pluvial.

En lo que respecta al aluminio cambiabile, Plucknett y Sherman (40) encontraron una interesante relación entre la cantidad de precipitación pluvial y el contenido de aluminio cambiabile en latosoles de Hawaii. Los niveles más altos de aluminio se registraron durante la estación lluviosa y los más bajos durante la estación seca. Según dichos autores el aluminio es inactivado en el complejo de cambio, debido a la deshidratación durante el tiempo de sequía.

c. Fósforo aprovechable

En lo que respecta al fósforo disponible, la información existente en cuanto a su fluctuación estacional es particularmente escasa. Sin embargo, el efecto del exceso de humedad del suelo sobre la mayor disponibilidad del fósforo es conocido y explicable en razón de que ciertas formas reducidas de los fosfatos de hierro, por ejemplo, son más solubles que las formas oxidadas (9).

Así, en suelos de Virginia (Estados Unidos) bajo pradera, el fósforo aprovechable sufrió apreciables variaciones estacionales, en donde los mínimos valores (menor a 20 ppm) se observaron durante el verano y los máximos (mayor a 40 ppm) se registraron en la época de invierno (14).

2.2 Efecto del secamiento de las muestras de suelo

El efecto del secamiento del suelo sobre sus propiedades físicas y químicas es algo que tiene evidente conexión con la variación estacional de las mismas, ya que, como se ha visto, este fenómeno está claramente relacionado con la alternancia de periodos lluviosos y secos, o, lo que es igual, con ciclos de secamiento - humedecimiento, según la teoría del "efecto Birch", de amplia aceptación y vigencia.

2.2.1 Propiedades físicas

El efecto del secamiento sobre algunas propiedades físicas del suelo ha sido cuidadosamente estudiado, particularmente para el caso de los suelos derivados de cenizas volcánicas, en los cuales la acción del secamiento es acentuada.

Así, Forsythe y sus colaboradores (23) al compilar la información existente para suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, encuentran que el principal efecto del secamiento del suelo sobre las características físicas consiste en que genera una contracción que conduce a la formación de agregados. Además, esta contracción ocasiona una disminución irreversible en la retención de humedad.

La contracción por el secado y su efecto irreversible sobre la capacidad de almacenamiento de humedad es un fenómeno que ha sido observado por varios autores en los suelos derivados de cenizas volcánicas, clasificados como Andosoles o Andept (1, 17, 18, 38, 48, 54, 55).

La naturaleza de la contracción y consecuente disminución en la capacidad de retención de humedad, como resultado del secamiento, no ha sido explicada satisfactoriamente, salvo la reciente evidencia experimental obtenida por Maeda y Warkentin (36), quienes demuestran que la disminución irreversible en la capacidad de retención de humedad en los suelos alófanicos, se debe a que el secamiento produce una reducción acentuada en el volumen de microporos, causada por su ruptura y/o taponamiento.

El secamiento no solamente afecta las propiedades relacionadas con la porosidad, agregación y retención de humedad sino que también incide sobre otras características físicas. Gradwell y Birrell, citados por Swindale (48) establecieron que el secamiento de las muestras causa una disminución acentuada en los límites de plasticidad.

2.2.2 Propiedades químicas

Aparte de su efecto sobre la concentración de $N-NO_3$, revisado anteriormente, el secamiento incide sobre varias otras propiedades químicas del suelo.

En suelos volcánicos de Costa Rica, Fassbender (21) estableció que el secado de las muestras incrementó el pH, la CIC y las bases cambiables en forma significativa. El incremento del pH fue de 0,1 unidades en promedio, en tanto que la CIC subió de 20 a 34 me/100 g.

En suelos latosólicos del Hawaii (34) la capacidad de intercambio catiónico sufre, por acción del secamiento, un efecto contrario al anterior, pues disminuye en magnitudes relativas que varían entre 21% y 74% de la CIC determinada en muestras a la humedad de campo. Lo propio ocurre en suelos volcánicos de Chile, pero la disminución causada es menor (45).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Suelos y muestreo

La investigación se desarrolló en dos suelos cuya localización y características generales se describen a continuación.

3.1.1 Suelo Obonuco

a. Localización

En la Estación Experimental "Obonuco" del Instituto Colombiano Agropecuario, a una altitud de 2.800 m.s.n.m., con una temperatura promedio anual de 13°C.

b. Clasificación tentativa

Orden : Inceptisol
Suborden : Tropept
Gran grupo : Eutropept (35).

d. Características generales

Es un suelo desarrollado sobre materiales volcánicos complejos. Textura media, estructura de bloque, consistencia firme. Su pH en agua es de 6,0 y su pH NaF 1M menor de 9,5, lo que indica bajo contenido de coloides amorfos. Su densidad aparente es cercana a la unidad. Su CIC es alta y la saturación de bases alta. El P-aprovechable es bajo (35).

3.1.2 Suelo Chachagüí

a. Localización

Está localizado en la región de Chachagüí, a 1.600 m de altitud, bajo una temperatura promedio anual de 18°C. La ubicación del

sitio de muestreo está entre el Km 26 y 27 en el margen derecho de la carretera que desde Pasto conduce al Aeropuerto "Antonio Nariño".

b. Clasificación tentativa

Orden : Inceptisol
Suborden : Andept
Gran grupo : Dystrandept (35).

c. Características generales

Es un suelo desarrollado de cenizas volcánicas, de textura mediana y con estructura subangular media. Su consistencia es friable. El contenido de C-orgánico es alto. La CIC es alta pero la saturación de bases es baja. El pH en agua es de 5,1 y el pH en NaF 1M es mayor de 9,5 lo que indica alto contenido de coloides amorfos. La densidad aparente es de $0,85 \text{ g/cm}^3$ y el P-aprovechable es muy bajo (35).

Durante el transcurso del experimento los dos suelos estuvieron bajo cobertura de pradera.

3.1.3 Muestreo

Con el fin de determinar el efecto estacional sobre los parámetros físico-químicos de los suelos se tomaron dos muestras de los 20 primeros centímetros de cada suelo durante 12 meses, comprendidos entre Agosto de 1974 y Julio de 1975.

Las muestras se tomaron al final de cada mes y se colocaron en bolsas de polietileno para conservar la humedad.

3.2 Datos climáticos

En la selección de los dos sitios de muestreo se consideró no solamente la ocurrencia de suelos de diferente naturaleza y propiedades, sino

también la incidencia de condiciones climáticas diferentes y la proximidad a una estación meteorológica. Los datos meteorológicos correspondientes al suelo Obonuco se tomaron en la estación Meteorológica de la Estación Experimental del ICA y los correspondientes al suelo Chachagüí en la estación meteorológica del Aeropuerto "Antonio Nariño", administrada por el entonces Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología, hoy HIMAT.

Durante el año en que se efectuó el estudio, la localidad 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.

3.3 Determinaciones fisico-químicas

Las determinaciones fisico-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 físicas y químicas realizadas fueron las siguientes :

3.3.1 Humedad de campo

Se determinó con base en el peso, llevando las muestras a la estufa (105-110°C) durante 24 horas y se las refirió a porcentaje en base gravimétrica.

3.3.2 Densidad aparente

Se determinó mediante el método del cilindro, utilizando elementos de PVC de 7 cm de altura por 5,5 cm de diámetro, con los cuales se obtuvieron muestras no disturbadas, siguiendo la metodología descrita por Blake (10).

3.3.3 Capacidad de campo

Se determinó por el método de las columnas de Colman, descrito por Arias y Guerrero (1).

3.3.4 Reacción del suelo (pH)

Se determinó potenciométricamente, utilizando una relación agua-suelo 1:1.

3.3.5 Capacidad de intercambio catiónico

Se determinó por el método de Schollemberger y Simon, descrito por Saiz del Río y Bornemisza (44).

3.3.6 Bases cambiables (K, Ca, Mg y Na)

Se extrajeron con acetato de amonio normal y neutro, siguiendo la técnica descrita por Saiz del Río y Bornemisza (44).

3.3.7 Aluminio cambiabile

Se determinó por el método descrito por Jackson (31).

3.3.8 Fósforo aprovechable

Se utilizó el método Bray II descrito por Saiz del Río y Bornemisza (44).

3.3.9 Nitratos

La determinación de $N-NO_3$ se realizó colorimétricamente con ácido fenoldisulfónico, siguiendo la marcha analítica detallada por Jackson (31).

3.4 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 pluvial mensual.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Las Tablas I y II recogen los resultados generales del estudio, en lo pertinente a la variación mensual de las propiedades físicas y químicas de los dos suelos experimentales, a la precipitación pluvial mensual y a la temperatura promedio mensual en las dos localidades. Así mismo, se incluyen los coeficientes de correlación lineal y cuadráticos obtenidos a nivel de significación estadística entre las propiedades, la precipitación pluvial y la humedad de campo actual de los suelos.

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.

4.1 Efecto del secamiento de las muestras

En las Tablas I y II y en las Figuras 1 a 5 se observa el efecto del secamiento de las muestras sobre las diferentes propiedades estudiadas.

Es claro que los valores de las diferentes propiedades físico-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.

4.1.1 Propiedades físicas

La única propiedad física para la cual se evaluó el efecto del secado al aire de la muestra fue la retención de humedad a la capacidad de campo.

La tendencia general observada fue que el secamiento del suelo causó un incremento en la retención de humedad a la capacidad de campo, tanto en el suelo Andept como en el Tropept.

La magnitud del efecto del secado no fue constante, sino que varió a lo largo de los meses de observación. Así, en el suelo Tropept los menores incrementos en la retención de humedad, por acción del secamiento, se observaron en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, con aumento de 1,74%, 0,18%, 2,51% y 1,67%, respectivamente, mientras que los mayores se produjeron en los meses de Noviembre, Diciembre, Abril y Mayo, con incrementos de 5,90%, 6,78%, 4,18% y 4,89%.

Es evidente que los menores incrementos se produjeron en los meses de menor precipitación, en tanto que los incrementos de mayor magnitud ocurrieron en los meses húmedos. De otra parte se observa (Tabla I) que conforme avanza la estación lluviosa desde Octubre a Diciembre los incrementos en la retención de humedad tienden a ser mayores.

Este fenómeno indica que probablemente los cambios físicos que ocurren en el suelo por acción del secamiento al aire dependen del régimen de precipitación reinante en el período de tiempo inmediatamente anterior a la recolección de la muestra y podrían explicarse por los efectos de naturaleza física ocasionados por el régimen hídrico del suelo previo al muestreo.

Desde luego que este efecto de secamiento no tiene importancia práctica directa sobre los cultivos en el campo, pues la experiencia demuestra que el efecto del secado similar al que se somete a la muestra, nunca ocurre bajo condiciones normales en el campo, pero sí la tiene desde el punto de vista de la determinación de la capacidad de retención de agua.

Así la diferencia de 5,9% entre la capacidad de campo determinada en húmedo y la determinada en suelo seco, en el mes de Noviembre, representa 84 m^3 de agua por hectárea que pueden tener un significado desde el punto de vista de la precisión en la determinación.

En el suelo Andept (Tabla II, Figura 3) la acción del secado es similar a la que se presenta en el Tropept, pero tiende a ser de magnitud menor. En este caso, los valores del incremento en la capacidad de campo, causados por el secado del suelo, no muestran una tendencia clara con respecto a la precipitación pluvial, pero en el mes más seco (Agosto), cuando la precipitación bajo a 7,80 mm y la humedad de campo a 36,4% el secamiento de la muestra causó un efecto contrario, es decir, disminuyó la capacidad de campo de 52,5% a 48,3%.

Lo anterior supone que la disminución en la capacidad de retención de humedad causada por el secamiento de la muestra, fenómeno observado por numerosos investigadores (1, 17, 18, 38, 48, 54, 55), solamente se observó en la muestra del suelo Andept recolectada después de un período acentuatadamente seco. Su posible explicación a la contradicción con otros estudios, consiste en el método que se siguió para determinar la capacidad de campo. Es decir, al introducir las muestras no secadas al aire a las columnas, se produjo cierta compactación que redujo la capacidad de absorción de agua por parte del suelo, lo cual incidió en un menor contenido de humedad a la capacidad de campo.

4.1.2 Propiedades químicas

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 $N-NO_3$ 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 $N-NO_3$

en la muestra húmeda superó a la seca en 81 ppm, mientras que en los meses secos la diferencia fue prácticamente nula.

De acuerdo a lo anterior, es claro que en ninguno de los dos suelos estudiados se produjo el llamado "efecto Birch" (4, 5, 8) 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 (Figuras 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 muestra seca y húmeda ocurrieron para esas dos variables en los periodos 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 (Figura 5) 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 4) sufre un efecto similar al experimentado 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 (Figuras 2 y 5). En Tropept los incrementos son más bien constantes y pueden alcanzar 5 me/100 g (para la suma 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 cambiabile, 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 pH (Figura 4), 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 (35). 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 las cargas negativas expuestas.

El secamiento de la muestra causó en los dos suelos experimentales una disminución en el P-aprovechable extraído por Bray 11. Sin embargo, en este caso, como para otras propiedades, la magnitud de las 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 (Figuras 1 y 5) 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 (22).

4.2 Variación estacional de las características edáficas

Las Tablas I y II muestran la variación mensual de las propiedades estudiadas, determinadas tanto en muestras secas al aire como en muestras húmedas. Los mismos resultados se grafican en las Figuras 1 a 5.

4.2.1 Propiedades físicas

a. Humedad de campo

La humedad de campo sufrió variaciones que en el suelo Tropept oscilaron entre 29,75% (Agosto) y 53,08 (Junio) y en el Andept entre 36,42% (Agosto) y 49,55% (Octubre). La variación está relacionada con el volumen de precipitación pluvial en forma positiva y significativa ($P < 0,05$), circunstancia que era previsible, ya que Junio sigue a un período semilluvioso y Agosto no, que para el caso de los suelos Tropept se explica por el aceptable drenaje interno que los caracteriza.

En los meses de mayor precipitación: Octubre, Noviembre, Diciembre, los suelos experimentales se mantuvieron prácticamente a capacidad de campo y aún en los meses más secos la humedad se mantuvo a niveles relativamente altos, lo cual demuestra la capacidad de los suelos en lo referente a la economía y almacenamiento de humedad. A este respecto resalta el hecho de que el alto contenido de humedad registrado en el mes de Diciembre (alta precipitación) continúa manteniéndose, con disminuciones relativamente pequeñas, en el mes de Enero, mes éste que tanto en Chachagüí como en Obonuco resultó ser el más seco.

b. Capacidad de campo

La capacidad de campo sufrió variaciones apreciables a través de los meses de observación.

En el suelo Tropept, la capacidad de retención de humedad no mostró una asociación estadísticamente significativa con la precipitación pluvial, pero sí mostró una relación de tipo cuadrático ($P = 0,05$) con el contenido de humedad en el momento del muestreo, cuando la determinación se hizo en muestra húmeda. La relación se muestra en la Figura 6 y se verifica el sentido de que conforme la humedad del suelo se incrementa de 30% a 44%, la capacidad de campo se incrementa de 49% a 55% para luego disminuir conforme la humedad del suelo se incrementa sobre 44%.

En el suelo Andept la variación en la retención de humedad a la capacidad de campo es más importante que en el Tropept, pues entre los valores extremos observados, la diferencia alcanzó magnitudes cercanas al 10% de humedad, lo cual tiene significado práctico. Esta variación en la capacidad de campo estuvo asociada a nivel significativo confiable ($P = 0,05$) con la precipitación pluvial, cuando la determinación se realizó en húmedo. La relación se ajustó a un modelo cuadrático y se muestra en la Figura 7.

c. Densidad aparente

Las variaciones en la densidad aparente observadas en el suelo Tropept fueron muy pequeñas y no relacionaron estadísticamente, ni con la precipitación pluvial ni con la humedad de campo, lo cual implica que pueden ser atribuibles a errores en la determinación.

En el suelo Andept, el rango de variación observado fue de 0,05 g/ml, que sigue siendo pequeño, pero en este caso dicha variación estuvo asociada estadísticamente, tanto con la precipitación pluvial como con la humedad de campo.

La relación con la precipitación pluvial fue de tipo lineal positiva y altamente significativa ($P = 0,01$). Los incrementos en la precipitación pluvial causaron aumento en la densidad aparente (Figura 8). Como es sabido, los suelos Andept se caracterizan por una alta capacidad de retención de humedad, lo cual al dejar en secamiento a la estufa la muestra únicamente por 24 horas, se pueden alterar los resultados, especialmente cuando se trató de las muestras no secadas al aire.

4.2.2 Propiedades químicas

a. Nitratos

La evolución estacional de los nitratos se observa en forma clara en la Figura 2 (Tropept) y en la Figura 4 (Andept).

El patrón de fluctuación estacional es inequívoco y muy consistente en los dos suelos. La concentración de $N-NO_3$ se incrementó acentuadamente 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 identificado por la mayoría de los investigadores (19, 21, 25, 26, 27, 32, 42) y responde al efecto secamiento - rehumedecimiento o "efecto Birch" (4, 5, 8).

Al respecto si se observan las Figuras 2 y 4, 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.

Las mayores concentraciones de $N-NO_3$ en los meses lluviosos se registraron mejor cuando las determinaciones se hicieron en muestras a la humedad de campo. Bajo estas condiciones, en el suelo Tropept, la diferencia entre la concentración de $N-NO_3$ registrada en el mes seco de Agosto y la correspondiente al mes más húmedo de Noviembre fue de 133 ppm, lo que equivale a 180 Kg/Ha. Bajo esas mismas condiciones, en el suelo Andept el incremento de Agosto a Octubre fue de 27 ppm que equivalen, para la densidad aparente respectiva, a 34 Kg/Ha. Por tanto, salta a la vista el hecho de que la fluctuación estacional del $N-NO_3$ es mucho más importante en el suelo Tropept que en el Andept. Esta situación está seguramente asociada con la baja intensidad en la mineralización del nitrógeno en los suelos Andept (2, 11). En el Tropept, una mayor mineralización permitió la expresión de efectos estacionales sobre el $N-NO_3$ de indudable significado agrónomo.

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 detectaron asociaciones confiables entre la concentración del $N-NO_3$ 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 9. Los incrementos en la cantidad de lluvia mensual previa al muestreo llevaron a incrementos sostenidos en los nitratos.

En el suelo Andept ajustó mejor a un modelo de respuesta cuadrática ($P = 0,01$), tanto en seco como en húmedo (Figura 10). 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 (5, 6, 25, 27, 42, 46), 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 observado (Figura 10), que la microfauna nitrificadora del suelo Andept requiere un mínimo de 75 mm/mes de precipitación para realizar una actividad nitrificadora de importancia.

b. Reacción del suelo (pH)

Los patrones de fluctuación del pH registrados se pueden observar en la Figura 2 (Tropept) y 4 (Andept). 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 grafican en las Figuras 11 y 12. 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 cambiables. 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 de pH.

c. Aluminio cambiabile

La evolución estacional del aluminio cambiabile tiene patrones diferentes en los dos suelos experimentales. Si se observan las Figuras 1 y 5, se deduce que mientras en el suelo Tropept las mayores concentraciones de aluminio se registraron en los meses húmedos, en el Andept ocurrió lo contrario, es decir las mayores concentraciones se detectaron en los meses secos.

Lo anterior, se expresa gráficamente en la Figura 13, en la cual se observa 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 (Figura 14), 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, disminuya conforme ésta aumenta y en el suelo Tropept los incrementos en el aluminio cambiabile se registren a volúmenes de precipitación pluvial mensual superiores a los 60 mm/mes.

El comportamiento del aluminio en relación a la precipitación pluvial en el suelo Tropept coincide con el modelo encontrado previamente por Pluckehnt y Sherman (40) en latosoles del Hawaii. Estos investigadores explican que los bajos niveles de aluminio cambiabile en las épocas secas, pueden estar asociados con una inactivación del Al en los sitios de intercambio, 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 según Jackman (30) se forman a través del aluminio entre la alófana y los compuestos orgánicos.

De una u otra forma, la fluctuación estacional del aluminio encontrada en el presente trabajo tiene incuestionable interés agrónomo, pues en el suelo Andept la disminución máxima por efecto de la precipitación alcanzó a ser de 0,20 me/100 g y en el Tropept el mayor incremento fue de 0,6 me/100 g. De aquí se deduce que el efecto estacional es mucho más trascendental en el suelo Tropept.

d. Capacidad de intercambio catiónico

En las Figuras 2 y 4 se aprecia la evolución de la capacidad de intercambio catiónico a lo largo de los meses de observación. En el suelo Tropept (Figura 2), 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, Septiembre y Enero). Por el contrario, en el suelo Andept (Figura 4), el comportamiento de la CIC a lo largo del año es errático y no muestra una tendencia definida.

Consecuente con la situación anterior, en el suelo Tropept se encontró una correlación cuadrática ($P = 0,01$) entre la precipitación pluvial y la CIC, tanto bajo condiciones de muestra seca como en las trabajadas a la humedad de campo. Las dos tendencias son muy similares y se presentan en la Figura 15. 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 II).

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 me/100 g para las determinaciones en seco y de 15 me/100 g en húmedo, cifras que por sí solas muestran el significado práctico del fenómeno.

Los resultados obtenidos en el suelo Tropept coinciden con los alcanzados por Kanehiro y Sherman (34) en latosoles del Hawaii. Es tos autores sugieren que la deshidratación provoca una conversión de los óxidos del hierro y aluminio hidratados a formas anhidras más inertes, con la consecuente pérdida de su capacidad de adsorción. Esta hipótesis, sin embargo, no sería del todo aplicable al caso del suelo Obonuco, cuya fracción coloidal parece estar dominada por Hailloysita (35), pero el aumento de la CIC en los períodos húmedos y su disminución en los secos estarán necesariamente ligado a alteraciones de tipo físico-químico de la fracción coloidal, tanto mineral como orgánica. Una acción de tipo físico, por ejemplo, estaría relacionada con el hinchamiento de las arcillas de retículo expandible, por acción de la humedad, y consecuente incremento en las cargas eléctricas negativas expuestas en la superficie. Además, el hinchamiento del coloidal de mineral supone un incremento considerable de los espacios interlaminares, quedando habilitadas las posiciones de cambio intermicelares que no lo están cuando el suelo está relativamente seco. Desde luego, que la intensidad del fenómeno estaría en relación directa a la cantidad de humedad en el suelo y, en consecuencia, a la cantidad de lluvia.

Desde el punto de vista práctico, el fenómeno ya descrito implica que en las épocas de lluvia el suelo desarrollará una mayor capacidad para el almacenamiento de nutrimentos.

e. Bases cambiables

Conforme se puede detallar en las Figuras 2 (Tropept) y 5 (Andept), la concentración de bases cambiables evoluciona a lo largo del año siguiendo en forma muy clara la distribución de la precipitación pluvial. La suma de bases cambiables ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$) 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 las Figuras 16 a 24. El hecho de que en algunos casos, como para el Ca, Mg y K, las relaciones obtenidas se ajusten 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 (21) 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.

En todos los casos, la fluctuación estacional de las bases es de una magnitud que sin duda tiene significado agronómico. Al respecto basta analizar el caso del calcio en el suelo Andept (Figura 17), el cual baja de 2,3 me/100 g en el mes de Agosto a 1,7 me/100 g en el mes de Octubre, lo que implica una agudización en la deficiencia de calcio.

De una u otra forma, la disponibilidad de bases va a disminuir acentuadamente en los períodos de mayor incidencia de las lluvias.

f. Fósforo aprovechable

También el fósforo aprovechable (Bray II) muestra fluctuación estacional en los dos suelos experimentales (Figuras 1 y 5), 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.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS

Lo anterior se refleja en correlaciones estadísticas detectadas. La Figura 23 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 (Figura 24). 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. De una u otra forma, en todos los casos la variación estacional del P-aprovechable carece de interés por cuanto, suba o baje su concentración, el nivel de disponibilidad seguirá siendo muy bajo.

Salvo el caso del fósforo, la variación estacional de las propiedades químicas de los dos 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, conforme ha sido demostrado por Paauw (39). No cabe duda que la comprensión y adecuada manipulación de los fenómenos estacionales tendrá en un futuro aplicación trascendental en el control y manejo de la fertilidad de los suelos tropicales.

TABLA I - VARIACION ESTACIONAL DE LAS PROPIEDADES FISICO QUIMICAS Y COEFICIENTES DE CORRELACION (r) CON HUMEDAD DE CAMPO Y PRECIPITACION MENSUAL.

— SUELO T R O P E P T —

PROPIEDADES	r LINEAL		r CUADRATICA		CONDICION	1.974 — MESES DE OBSERVACION — 1.975											
	PREC. PLUV.	HUM. DE C.	PREC. PLUV.	HUM. DE C.		A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	Jn.	Jl.
PRECIPITACION																	
TEMPERATURA																	
DENSIDAD APARENTE	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	TROPEPT	21.40	50.60	127.60	146.40	140.40	18.80	96.40	87.20	74.80	43.40	121.50
HUMEDAD de CAMPO (%)	0.69 ^x	N. S.	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
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	TROPEPT	0.93	0.93	0.93	0.95	0.94	0.93	0.94	0.93	0.93	0.92	0.93
CAPACIDAD de CAMPO (%)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	HUMEDO	29.75	42.02	50.68	48.77	51.65	48.18	49.95	45.60	44.98	44.18	53.08
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	SECO	7.00	9.04	8.53	12.0	11.99	14.35	8.96	9.69	9.00	8.31	8.93
P H	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	HUMEDO	49.31	52.72	51.98	50.97	51.40	55.44	53.55	54.0	54.46	54.93	49.63
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	SECO	51.82	54.39	54.49	56.87	58.18	58.96	56.77	57.44	58.64	59.82	51.37
C I C (me/100g)	-0.65 ^x	N. S.	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
	-0.60 ^x	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	SECO	6.20	6.30	6.10	6.10	6.10	6.20	6.20	6.30	6.10	6.30	6.30
N - N O ₃ (p p m)	0.82 ^{xx}	0.65 ^x	0.7747 ^{xx}	N. S.	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
	0.84 ^{xx}	N. S.	0.7662 ^{xx}	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
P - APROVECHABLE (p p m)	0.76 ^{xx}	0.72 ^{xx}	N. S.	N. S.	N. S.	HUMEDO	26.60	40.48	91.27	159.51	114.31	89.45	110.11	103.52	96.13	80.11	98.13
	0.69 ^x	N. S.	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
A I de CAMBIO (p p m)	0.60 ^x	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
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	SECO	2.10	2.06	1.98	2.08	1.33	1.60	2.68	2.58	2.33	2.09	1.91
K de CAMBIO (me/100g)	0.64 ^x	0.59 ^x	0.6175 ^x	N. S.	N. S.	HUMEDAD	36.00	41.40	52.20	90.00	81.90	60.30	49.50	50.40	52.20	60.30	60.30
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.	SECO	27.90	37.80	48.60	40.50	39.60	43.20	45.90	46.80	49.50	46.80	56.70
N a. de CAMBIO (me/100g)	-0.73 ^{xx}	-0.77 ^{xx}	0.8298 ^{xx}	N. S.	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
	-0.91 ^{xx}	N. S.	0.6491 ^x	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
C a de CAMBIO (me/100g)	-0.71 ^{xx}	N. S.	0.8273 ^{xx}	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
	N. S.	N. S.	0.794 ^{xx}	N. S.	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
M g. de CAMBIO (me/100g)	-0.88 ^{xx}	N. S.	0.8127 ^{xx}	N. S.	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
	-0.88 ^{xx}	N. S.	0.7695 ^{xx}	N. S.	N. S.	SECO	28.64	26.75	17.03	13.86	14.68	26.10	18.45	24.26	21.80	27.98	24.48
	-0.90 ^{xx}	-0.84 ^{xx}		N. S.	N. S.	HUMEDO	33.65	29.20	18.81	17.10	21.02	26.59	22.56	23.31	23.93	26.68	21.80
	-0.88 ^{xx}			N. S.	N. S.	SECO	36.74	31.52	22.63	20.52	23.29	29.01	28.36	21.10	27.14	31.31	26.50

x = Significativo

xx = Altamente Significativo

N. S. = No Significativo

TABLA II - VARIACION ESTACIONAL DE LAS PROPIEDADES FISICO QUIMICAS Y COEFICIENTES DE CORRELACION (r) CON HUMEDAD DE CAMPO Y PRECIPITACION MENSUAL.

— SUELO A NDEPT —

PROPIEDADES	r LINEAL		r CUADRATICA		CONDICION	1974— MESES DE OBSERVACION— 1975											
	PREC. PLUV	HUM. de C.	PREC. PLUV.	HUM. de C.		A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	Ju.	Jl.
PRECIPITACION																	
TEMPERATURA																	
DENSIDAD APARENTE	0,89 ^{xx}	0,73 ^{xx}	N. S.	N. S.													
HUMEDAD de CAMPO (%)	0,66 ^x	N. S.	N. S.	N. S.													
CAPACIDAD de CAMPO (%)	-0,82 ^{xx}	-0,68 ^x	0,7055 ^x	N. S.													
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.													
P H	-0,71 ^{xx}	-0,87 ^{xx}	N. S.	N. S.													
	-0,71 ^{xx}	N. S.	N. S.	N. S.													
C I C (me/100g)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.													
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.													
N - N O ₃ (p.p.m)	-0,83 ^{xx}	0,78 ^{xx}	0,7321 ^{xx}	0,619 ^x													
	0,82 ^{xx}	N. S.	0,75 ^{xx}	N. S.													
P - APROVECHABLE (ppm)	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.													
	N. S.	-0,65 ^x	N. S.	N. S.													
AL. DE CAMBIO (ppm)	-0,83 ^{xx}	-0,88 ^{xx}	0,6981 ^x	0,7775 ^{xx}													
	-0,75 ^{xx}	N. S.	N. S.	N. S.													
K. DE CAMBIO (me/100g)	-0,79 ^{xx}	-0,83 ^{xx}	0,6414 ^x	-0,6829 ^x													
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.													
Na. DE CAMBIO (me/100g)	-0,72 ^{xx}	N. S.	N. S.	N. S.													
	-0,65 ^x	N. S.	N. S.	N. S.													
Ca. DE CAMBIO (me/100g)	-0,77 ^{xx}	-0,78	0,5972 ^x	0,6121 ^x													
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.													
Mg. DE CAMBIO (me/100g)	-0,70 ^x	-0,75 ^{xx}	N. S.	0,6852 ^x													
	N. S.	N. S.	N. S.	N. S.													

x = Significativo

xx = Altamente Significativo

NS= No significativo

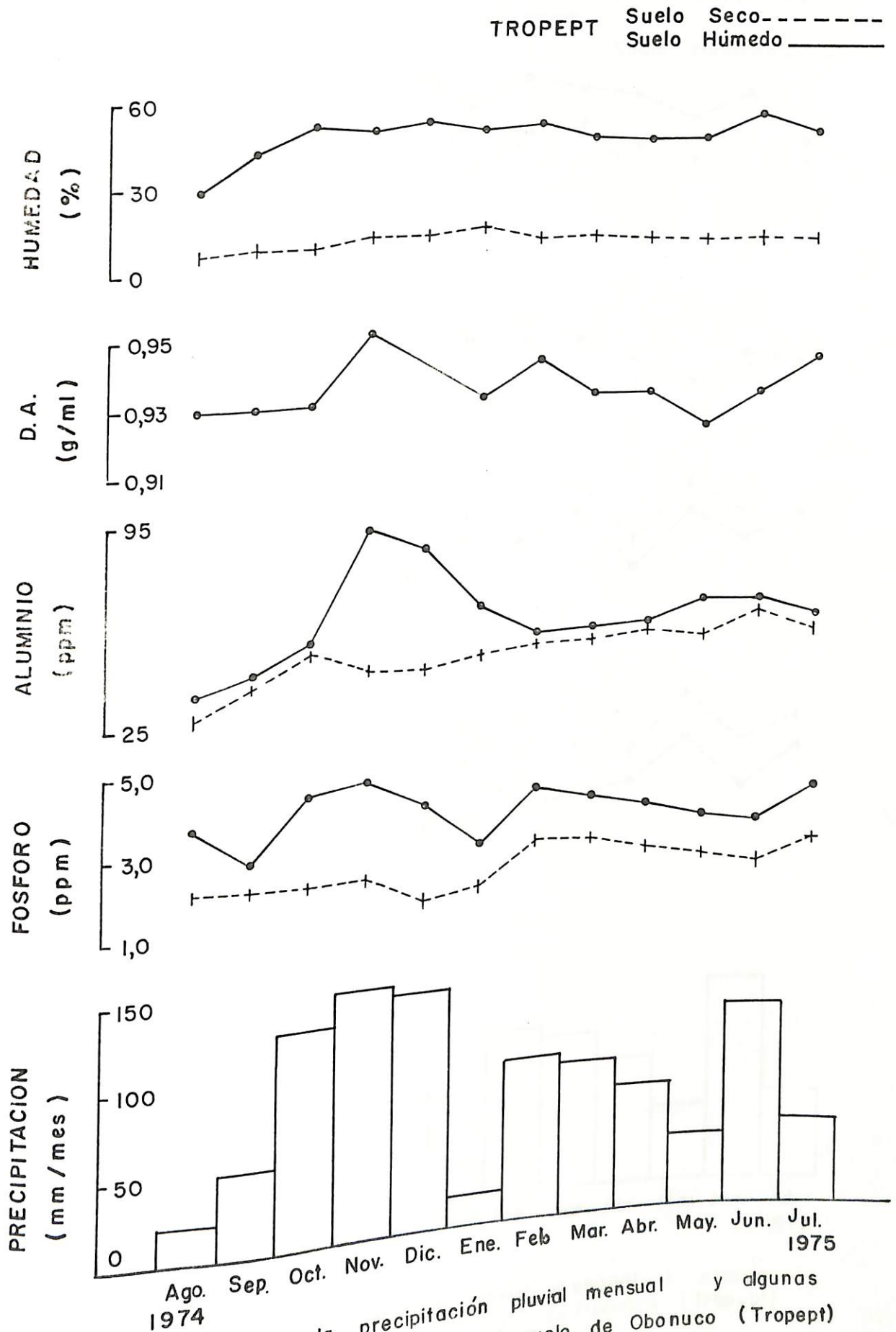


FIG. 1 Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades físico-químicas del suelo de Obonuco (Tropept)

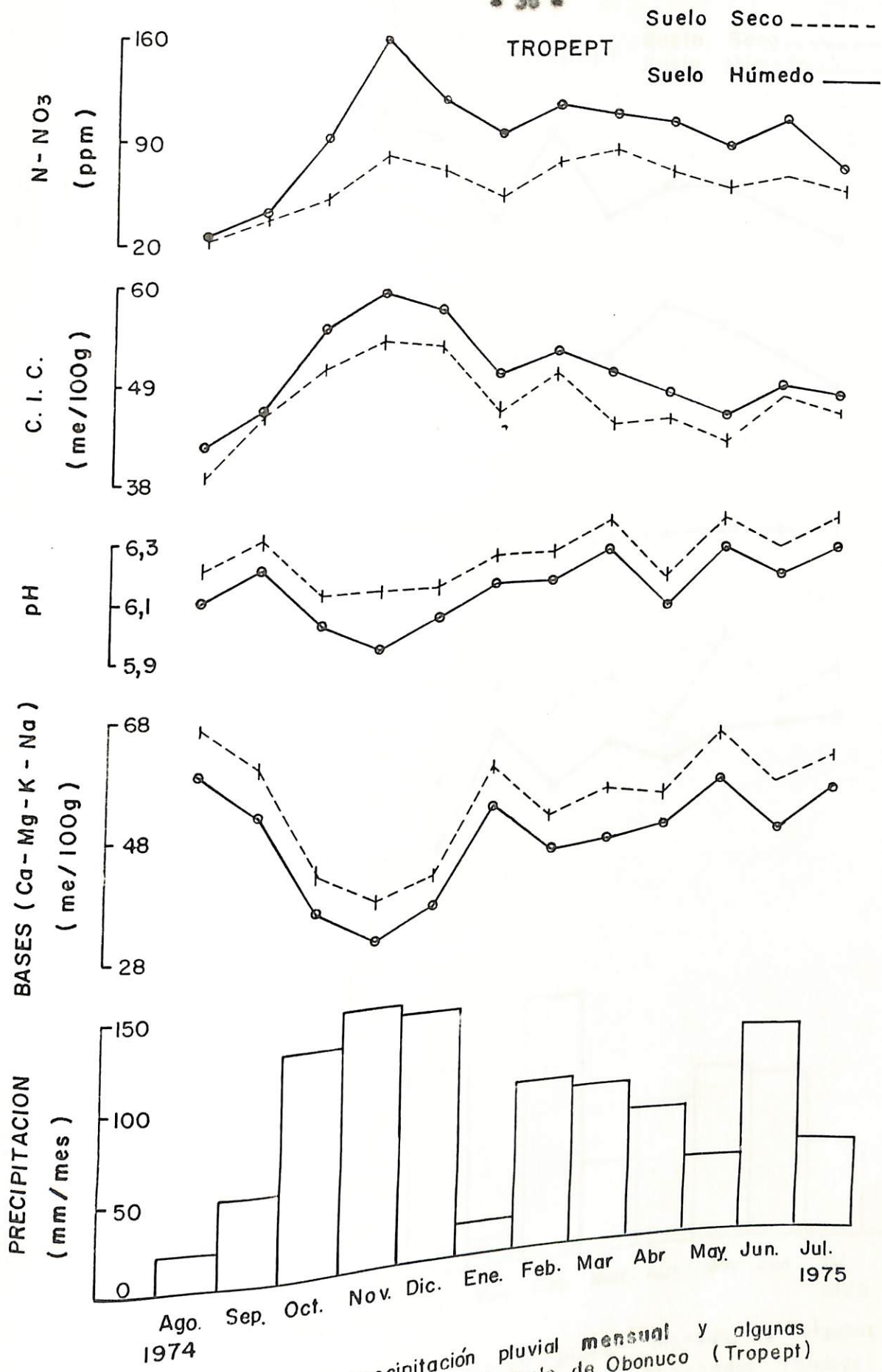


FIG.2 Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades físico-químicas del suelo de Obonuco (Tropept)

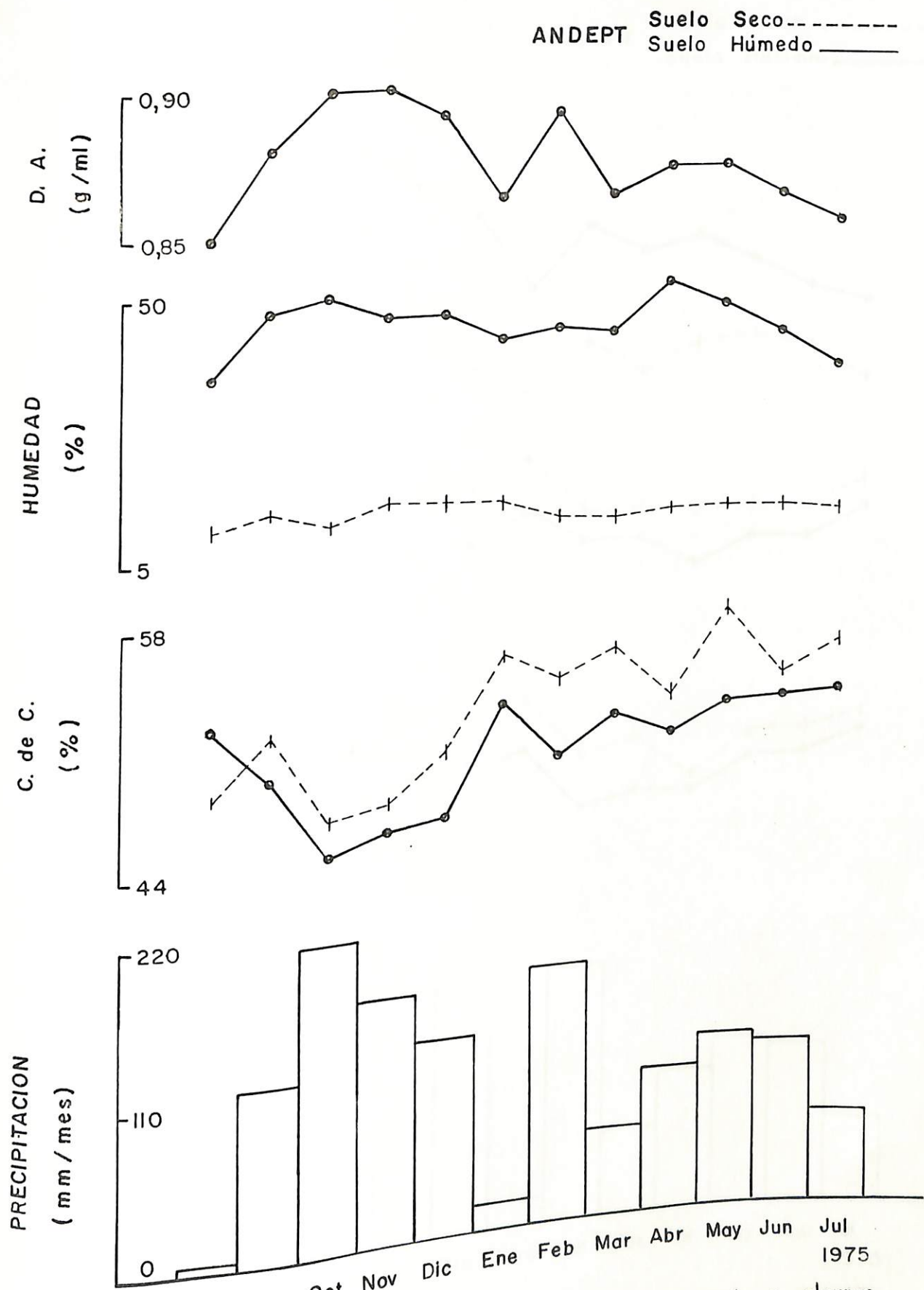


FIG. 3 Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades físicas en el suelo de Chachagüi (Andept)

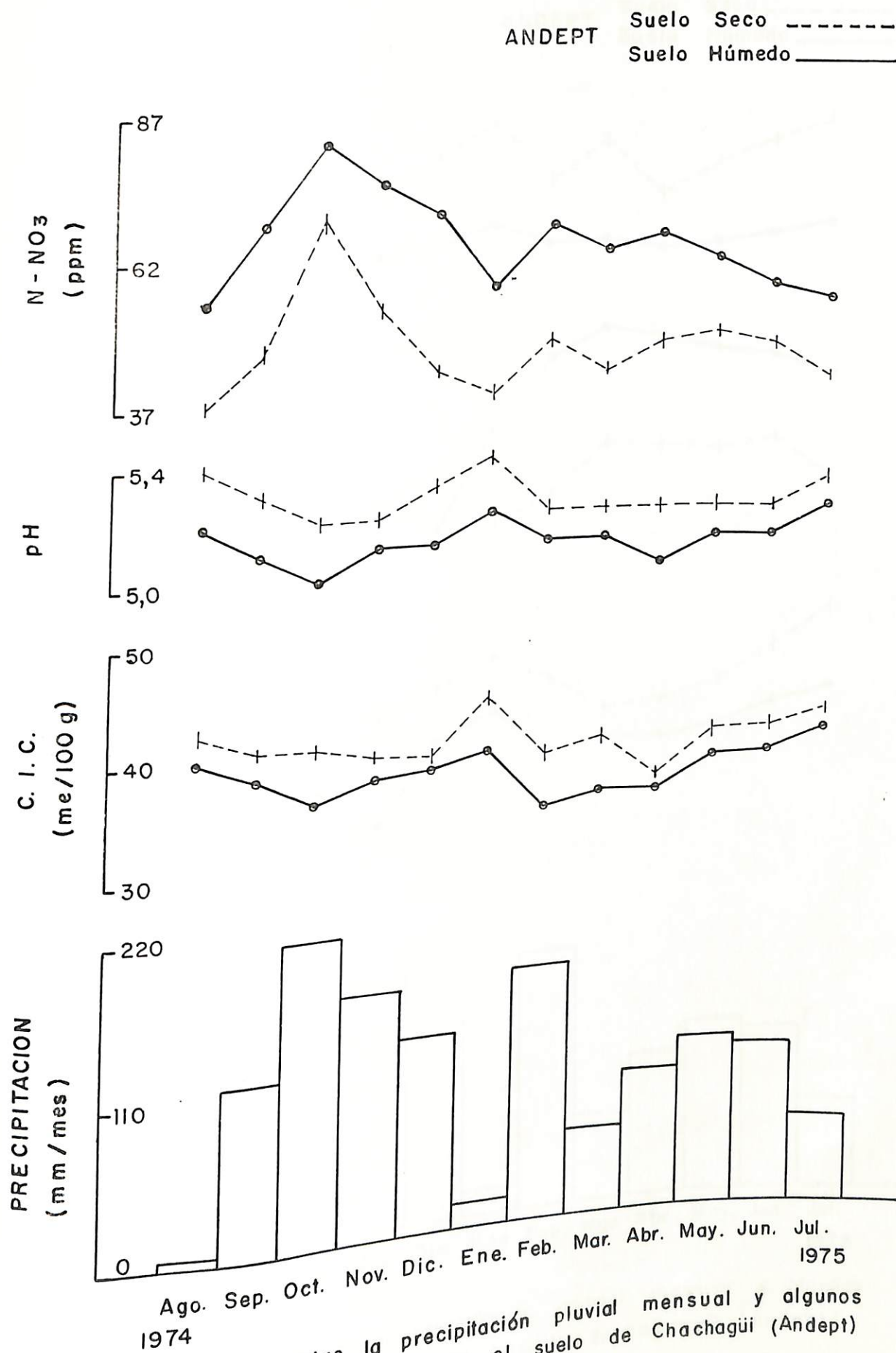


FIG. 4 Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunos propiedades químicas en el suelo de Chachagüi (Andept)

ANDEPT Suelo Seco -----
Suelo Húmedo _____

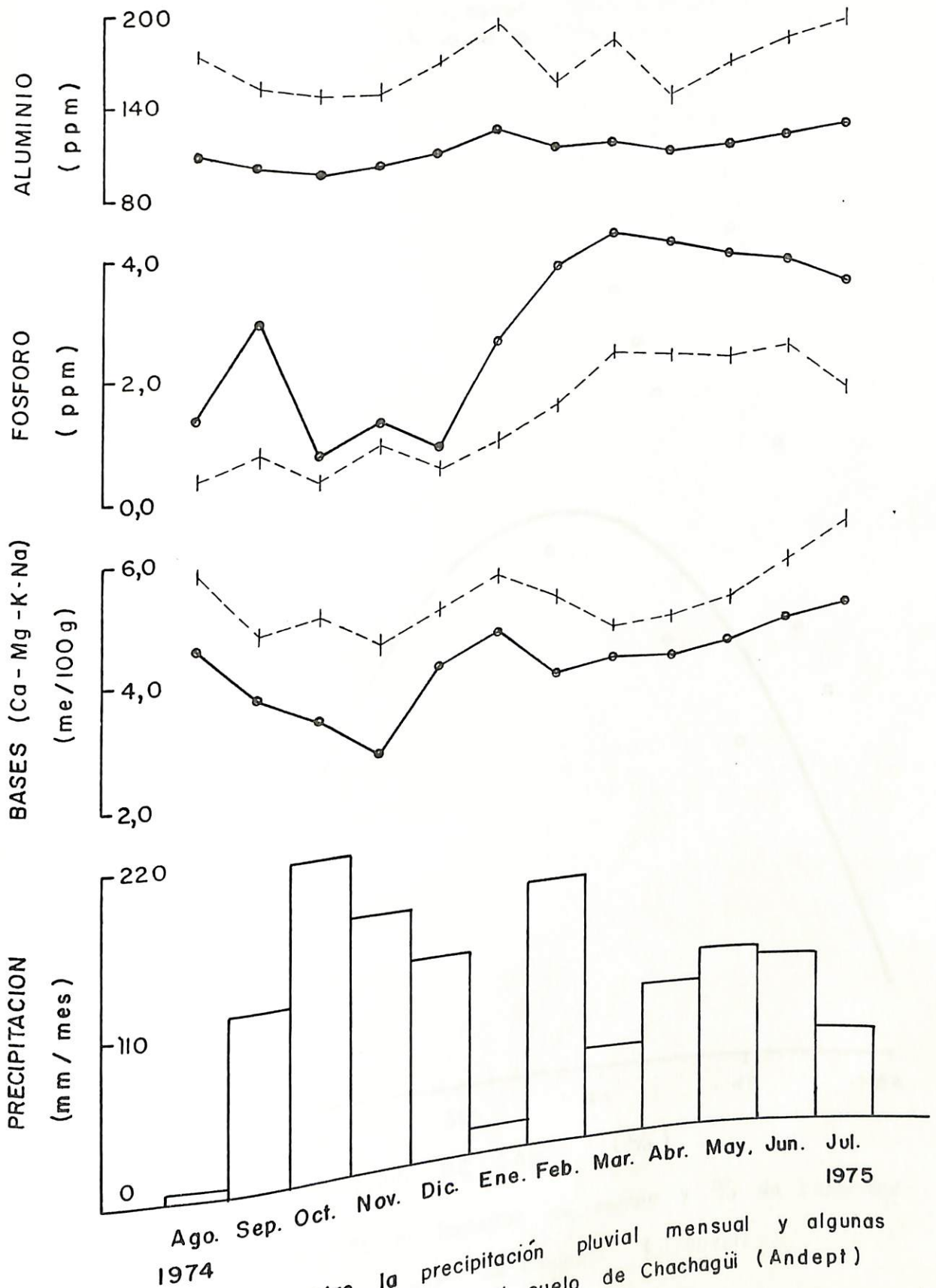


FIG. 5 Relación entre la precipitación pluvial mensual y algunas propiedades químicas en el suelo de Chachagüi (Andept)

SUELO HUMEDO - TROPEPT

$$Y = 2,6133 + 2,6275X - 0,031X^2$$

$$r = 0,5989^x$$

$$R^2 = 35,86 \%$$

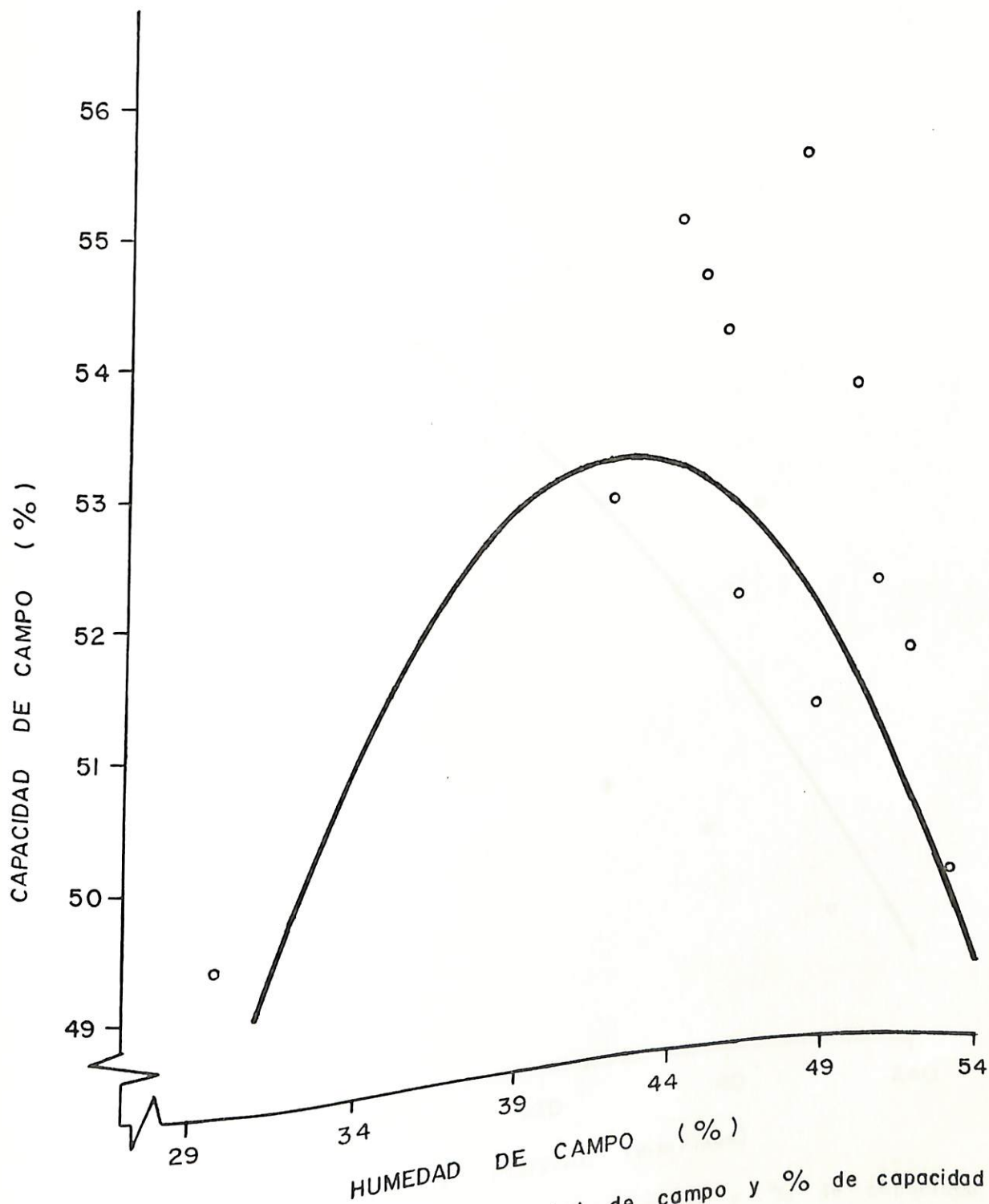


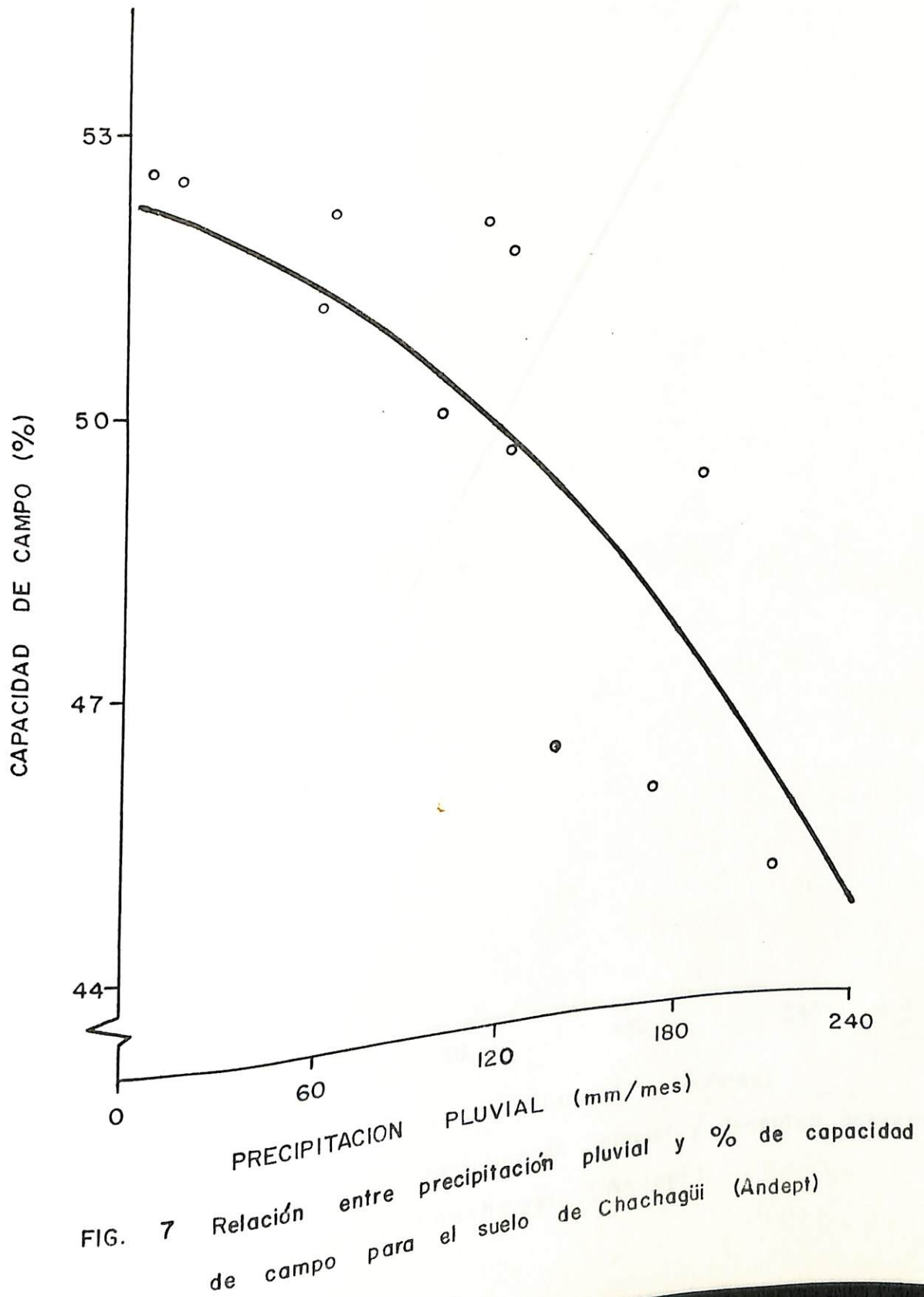
FIG. 6 Relación entre % de humedad de campo y % de capacidad de campo para el suelo de Obonuco (Tropept)

SUELO HUMEDO - ANDEPT

$$Y = 52,2522 - 0,0102X - 0,0001X^2$$

$$r = 0,7055^x$$

$$R^2 = 49,77 \%$$



SUELO HUMEDO - ANDEPT

$$Y = 0,8369 + 0,0003X$$

$$r = 0,89^{xx}$$

$$R^2 = 79,21 \%$$

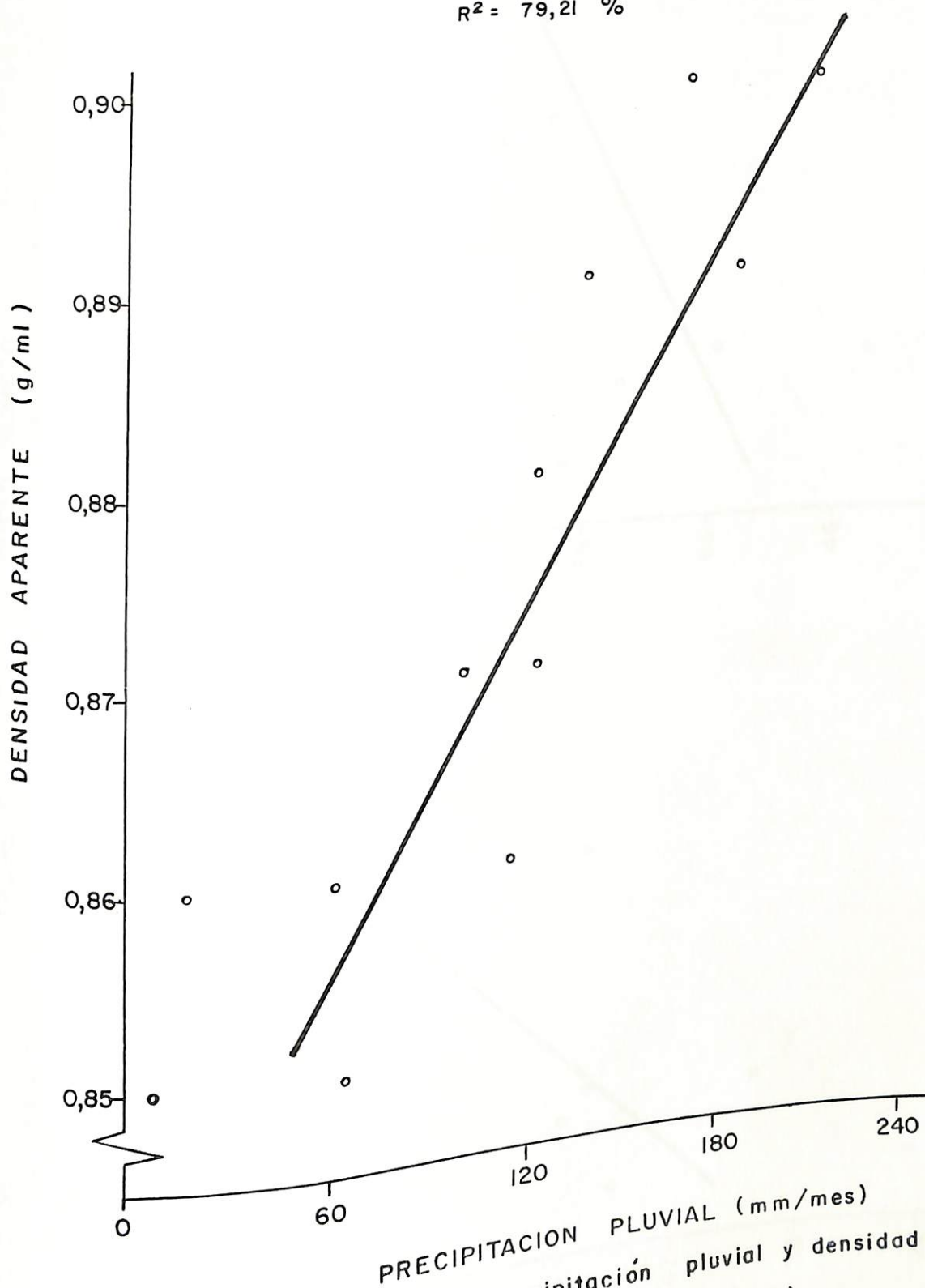


FIG. 8 Relación entre precipitación pluvial y densidad aparente para el suelo Chachagüi (Andept)

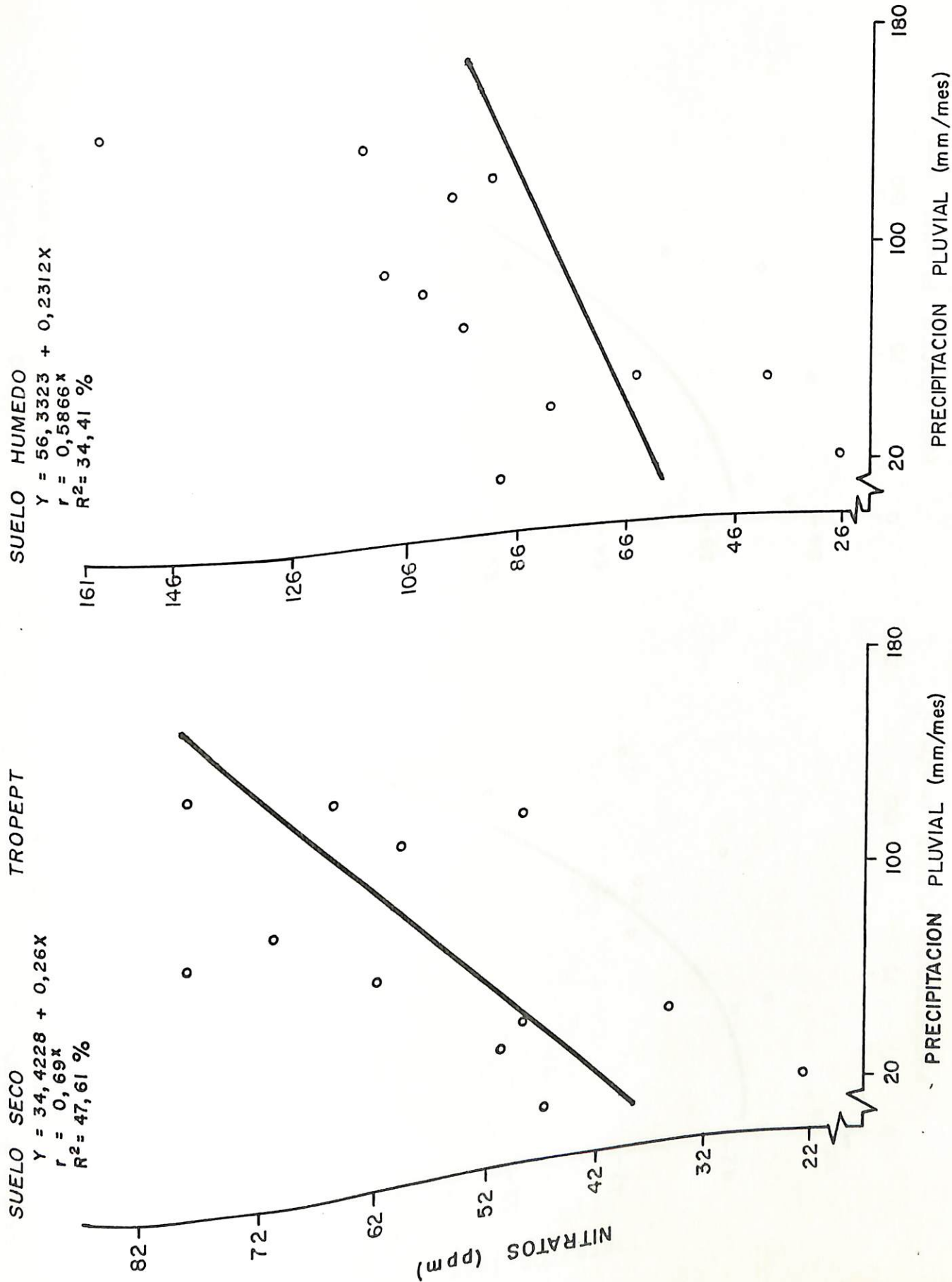


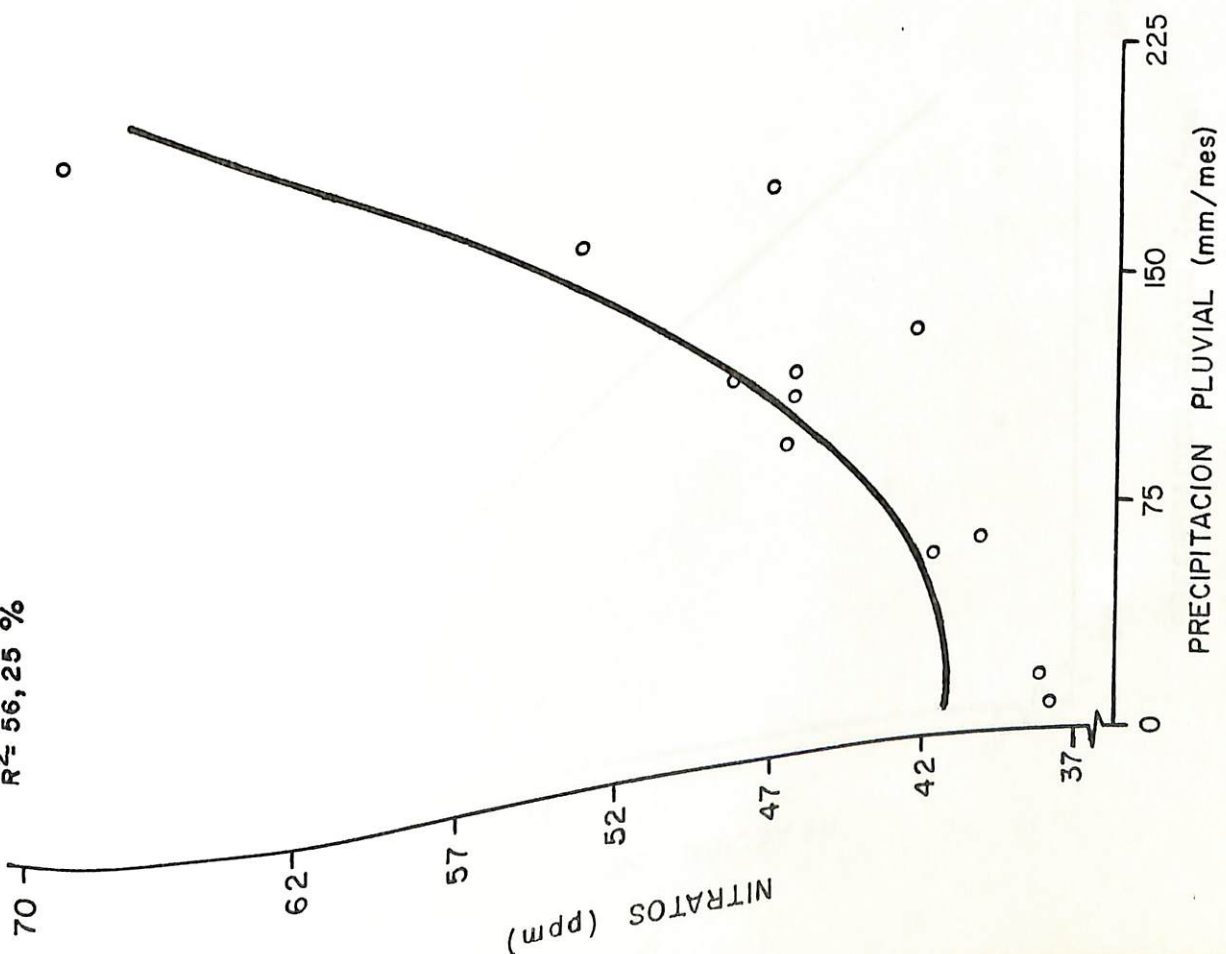
FIG. 9 Relación entre precipitación pluvial y nitratos para el suelo de Obonuco (Tropept)

SUELO SECO ANDEPT

$$Y = 41,49 - 0,0208X + 0,0006X^2$$

$$r = 0,75^{xx}$$

$$R^2 = 56,25 \%$$



SUELO HUMEDO

$$Y = 57,6718 + 0,012X + 0,0005X^2$$

$$r = 0,7321^{xx}$$

$$R^2 = 53,59 \%$$

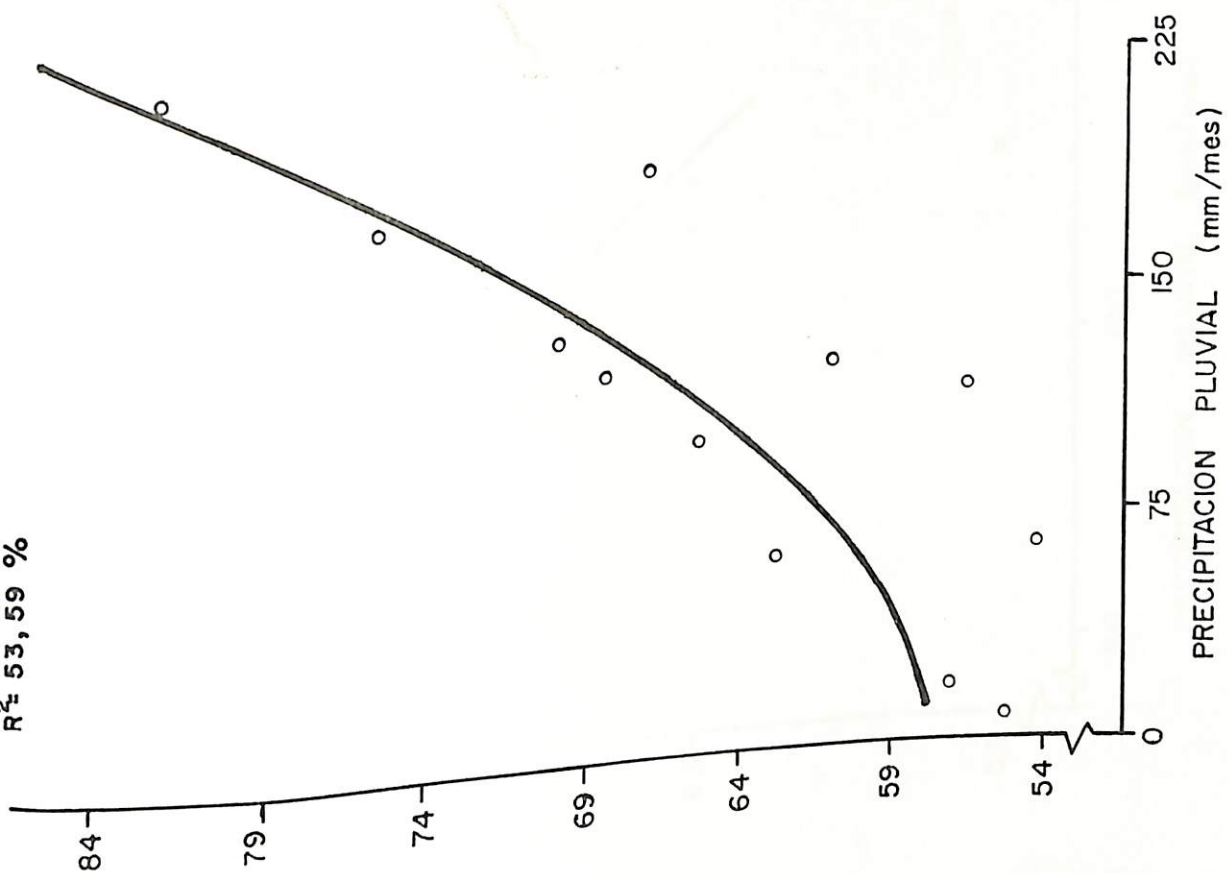


FIG. 10 Relación entre precipitación pluvial y nitratos para el suelo de Chachagüi (Andept)

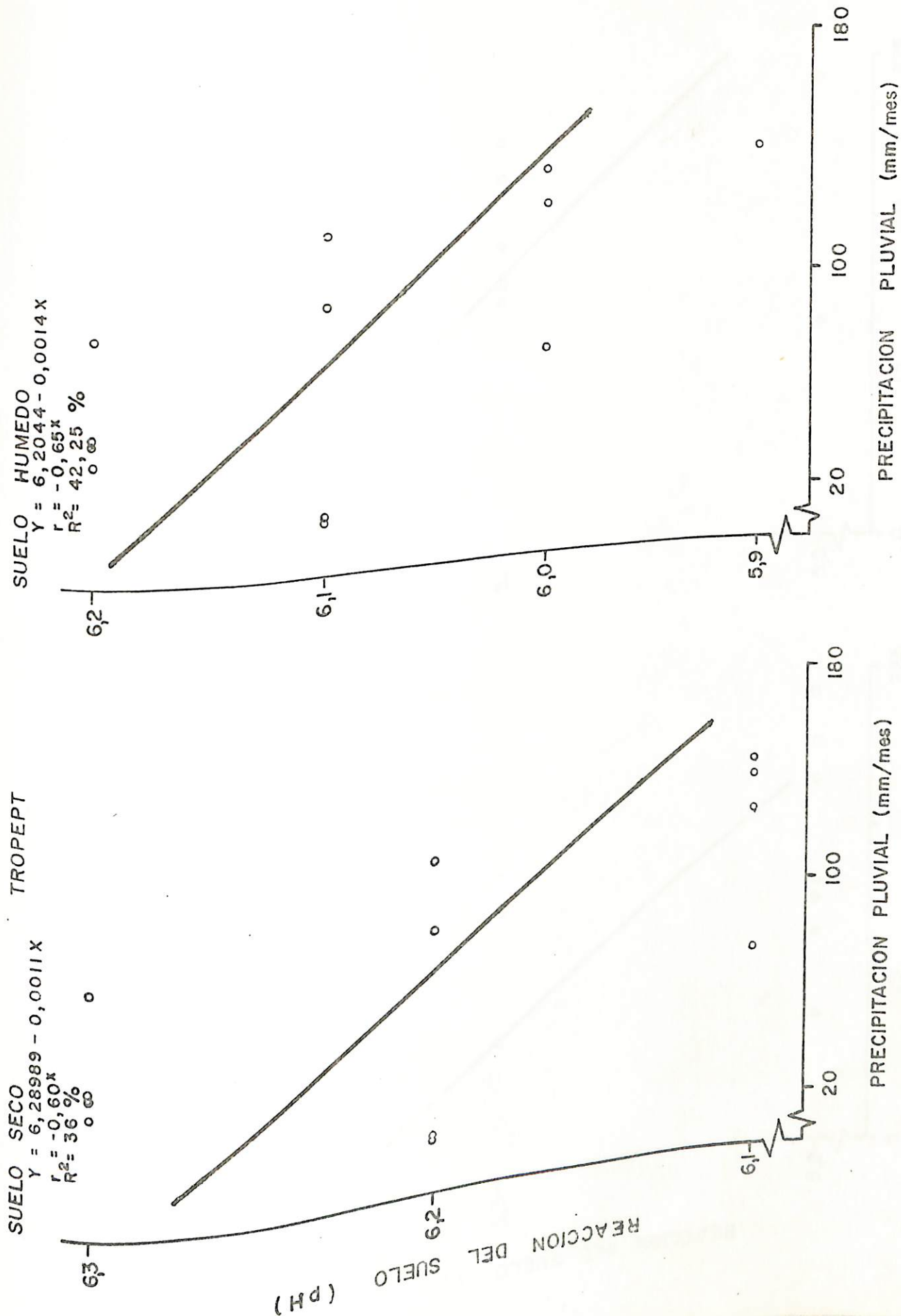


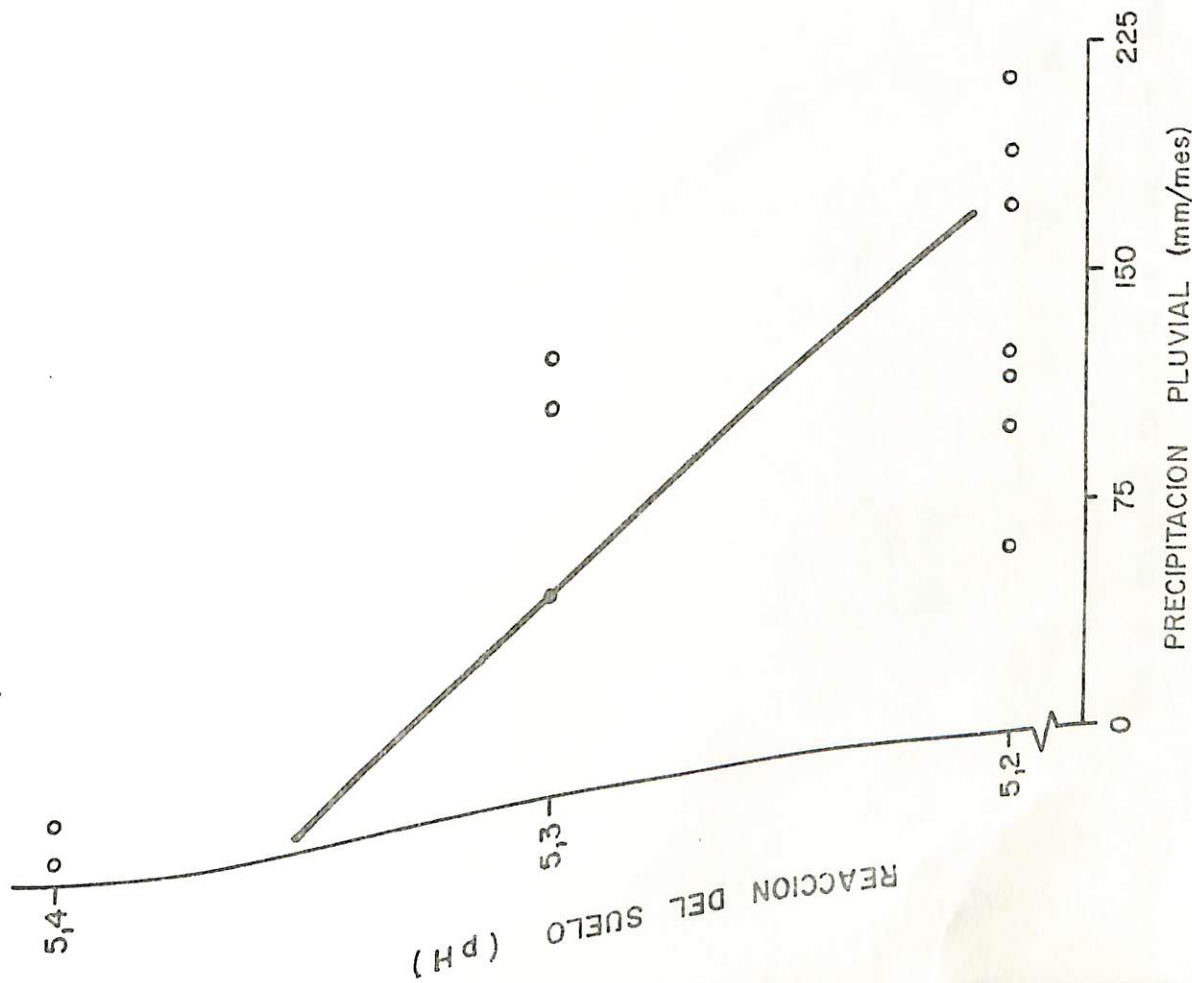
FIG. II Relación entre precipitación pluvial y la reacción del suelo (p.H.) para el suelo de Obonuco (Tropept)

SUELO SECO ANDEPT

$$Y = 5,356304 - 0,000872X$$

$$r = -0,71^{xx}$$

$$R^2 = 50,41 \%$$



SUELO HUMEDO

$$Y = 5,187308 - 0,0007X$$

$$r = -0,71^{xx}$$

$$R^2 = 50,41 \%$$

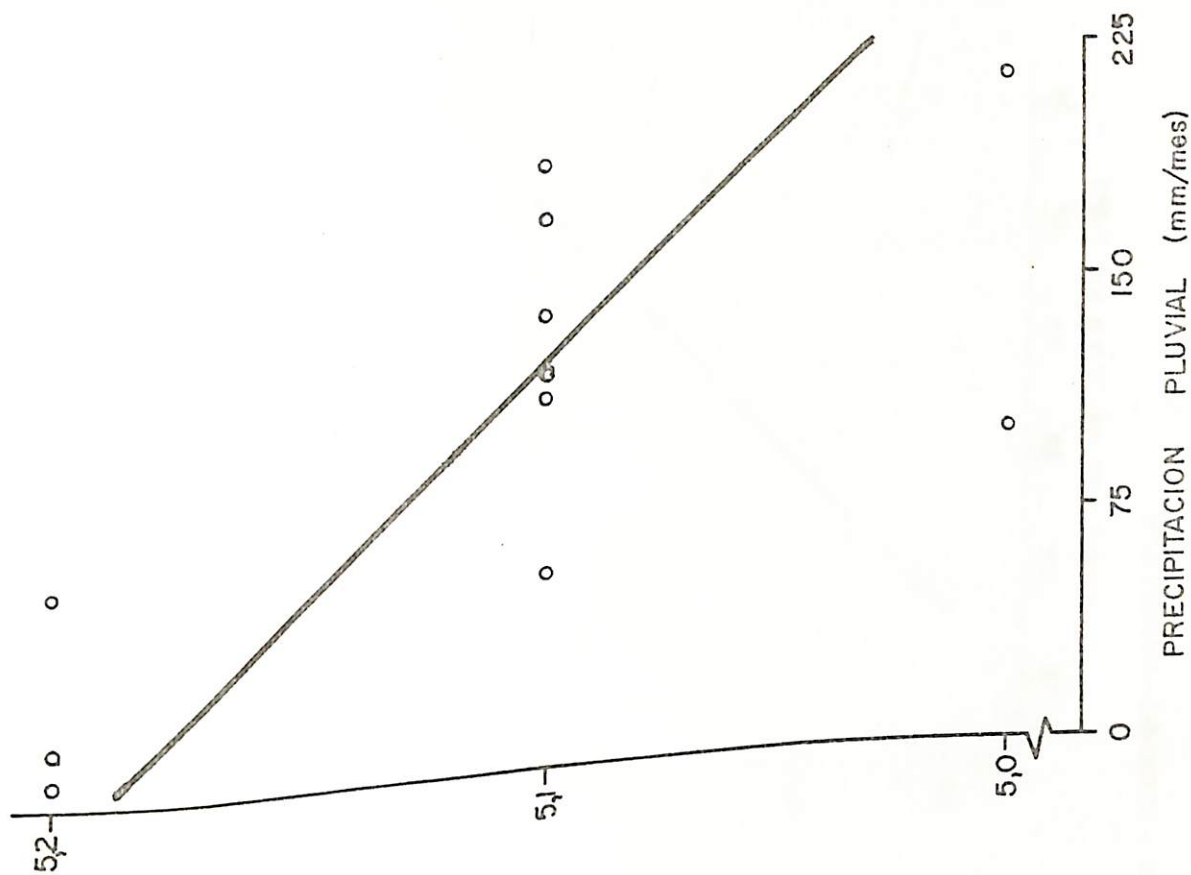


FIG. 12 Relación entre la precipitación pluvial y la reacción del suelo (pH) para el suelo de Chachagüi (Andept)

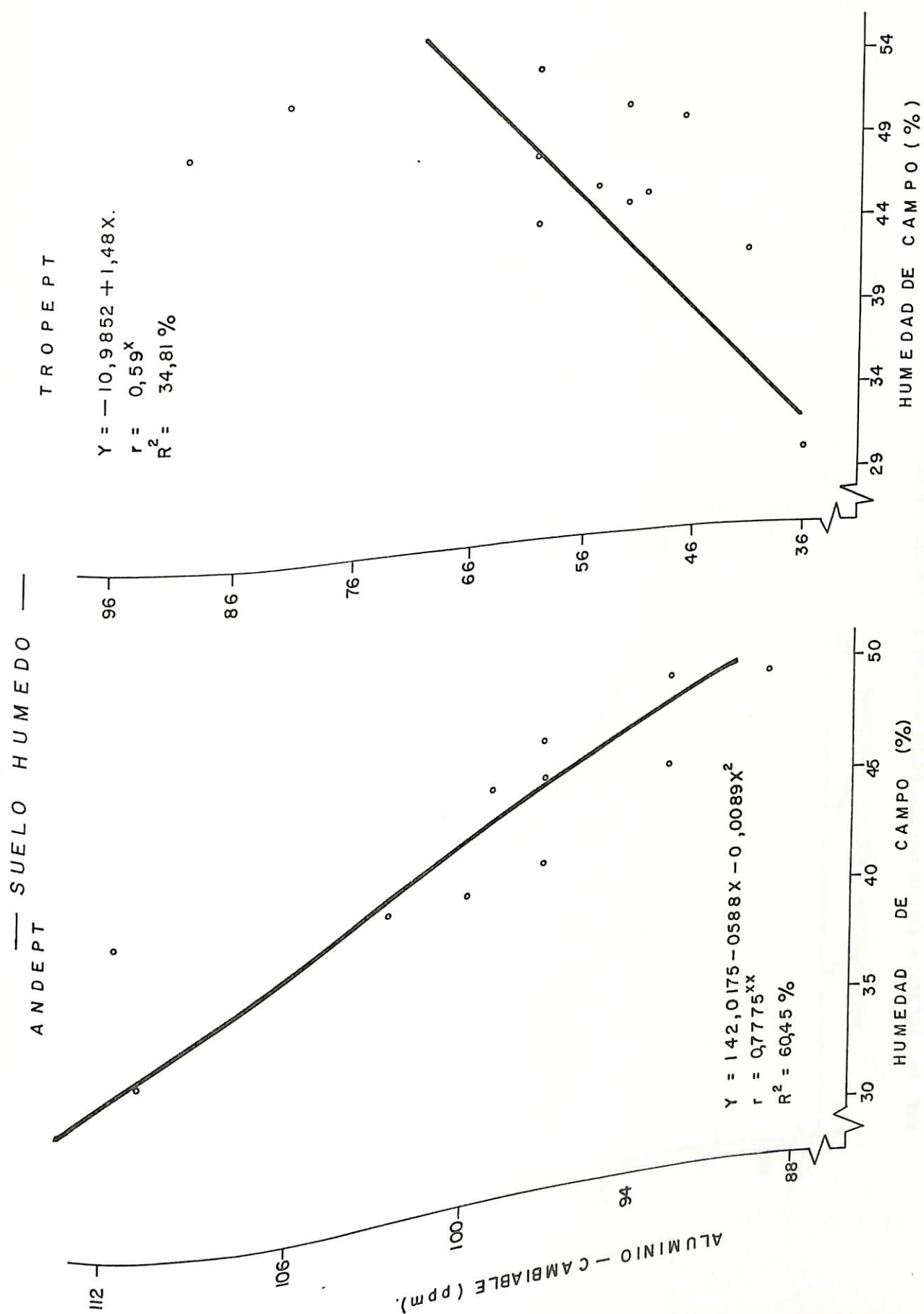


FIG. 13 RELACION ENTRE % DE HUMEDAD DE CAMPO Y ALUMINIO - CAMBIABLE.

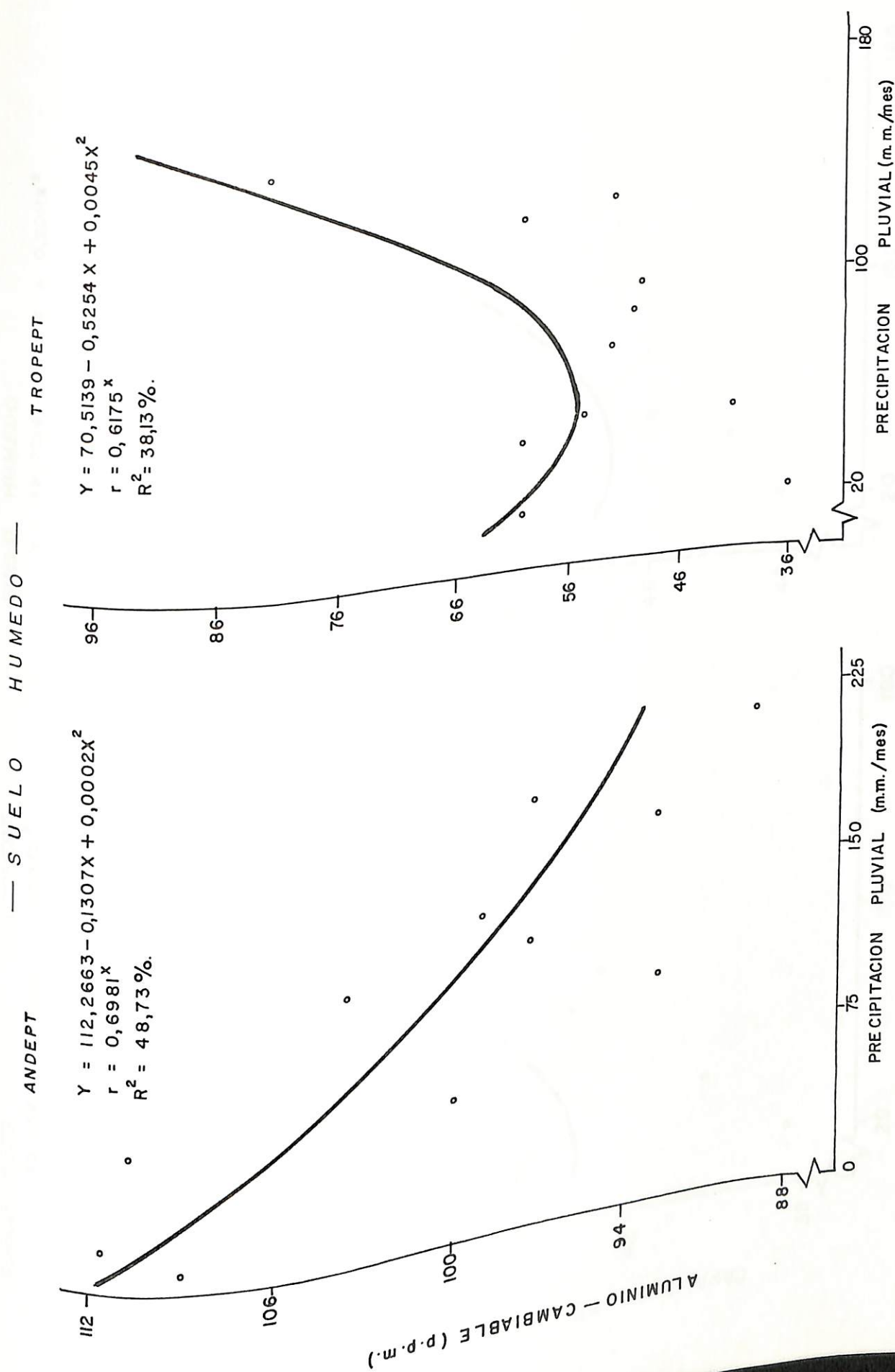


FIG. 14 RELACION ENTRE PRECIPITACION PLUVIAL Y ALUMINIO CAMBIABLE.

SUELO SECO TROPEPT
 $Y = 43,5541 - 0,0306X + 0,0007X^2$
 $r = 0,7662^{xx}$
 $R^2 = 58,70 \%$

SUELO HUMEDO

$Y = 48,7214 - 0,082X + 0,2011X^2$
 $r = 0,7747^{xx}$
 $R^2 = 60,02 \%$

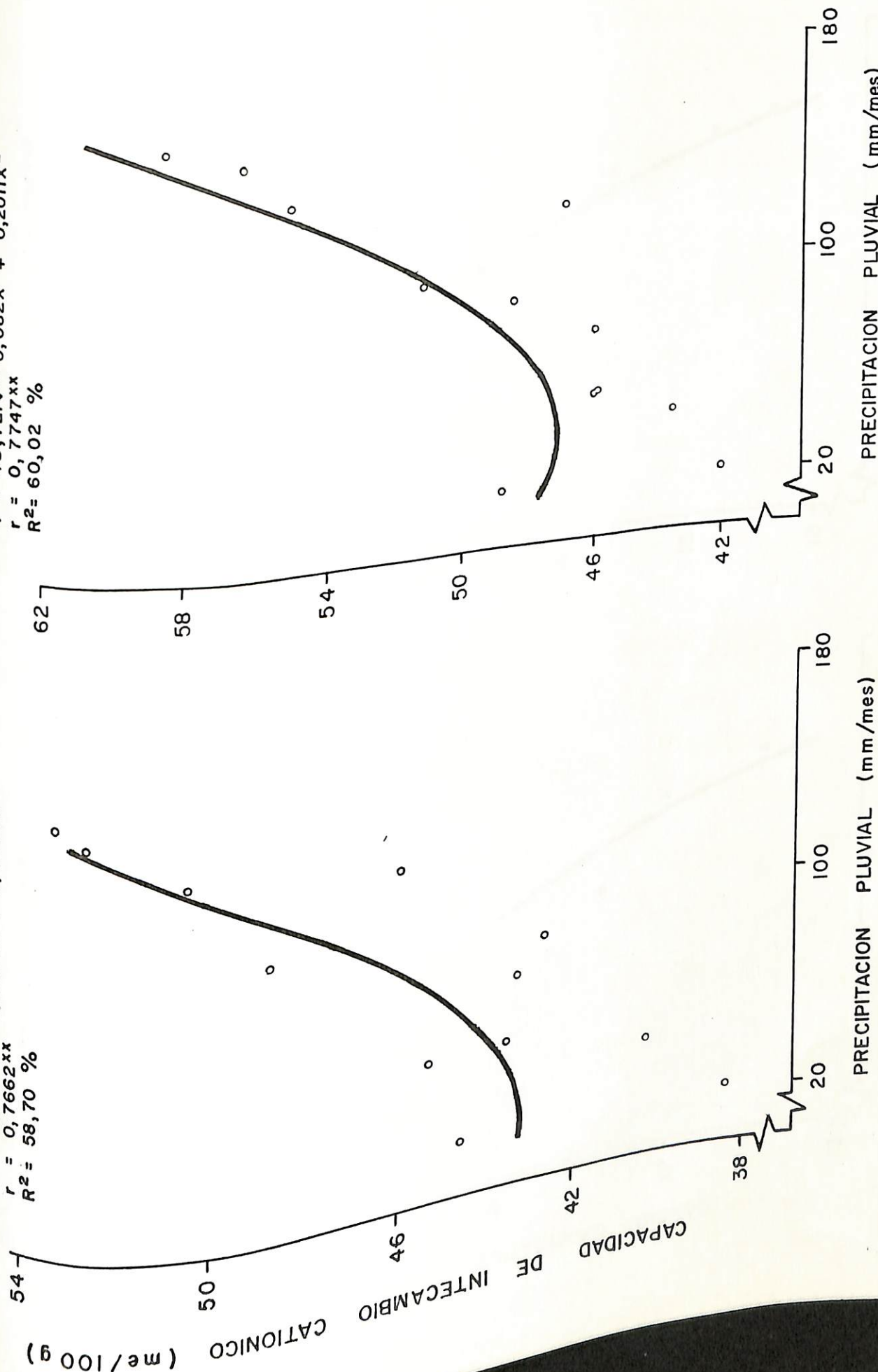


FIG. 15 Relación entre precipitación pluvial y la C.I.C. para el suelo de Obonuco (Tropept)

SUELO SECO
 $Y = 26,9 - 0,0081X - 0,0006X^2$
 $r = 0,794^{xx}$
 $R^2 = 63,04 \%$

SUELO HUMEDO
 $Y = 21,8041 + 0,0259X - 0,0007X^2$
 $r = 0,8273^{xx}$
 $R^2 = 68,44 \%$

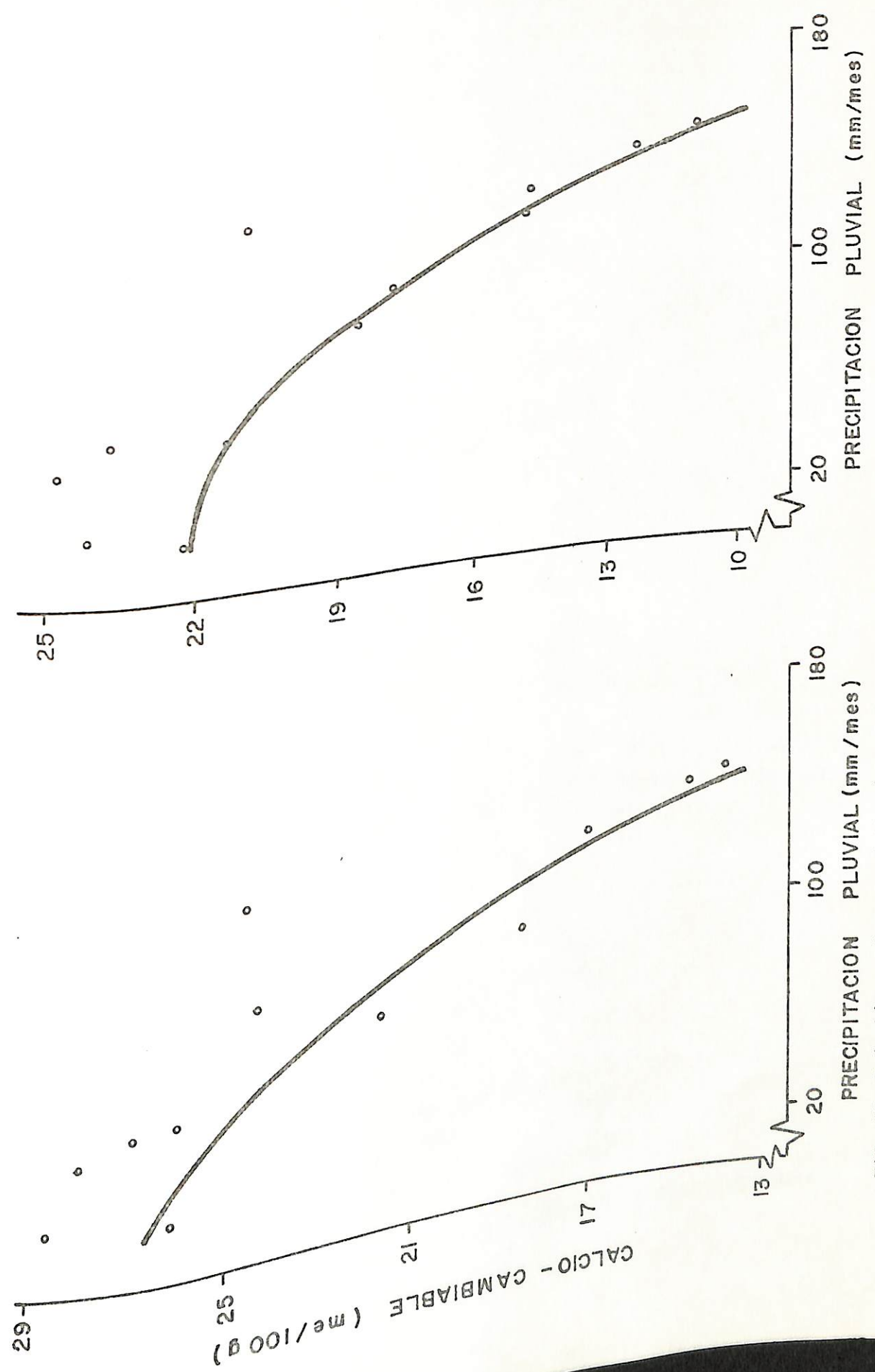
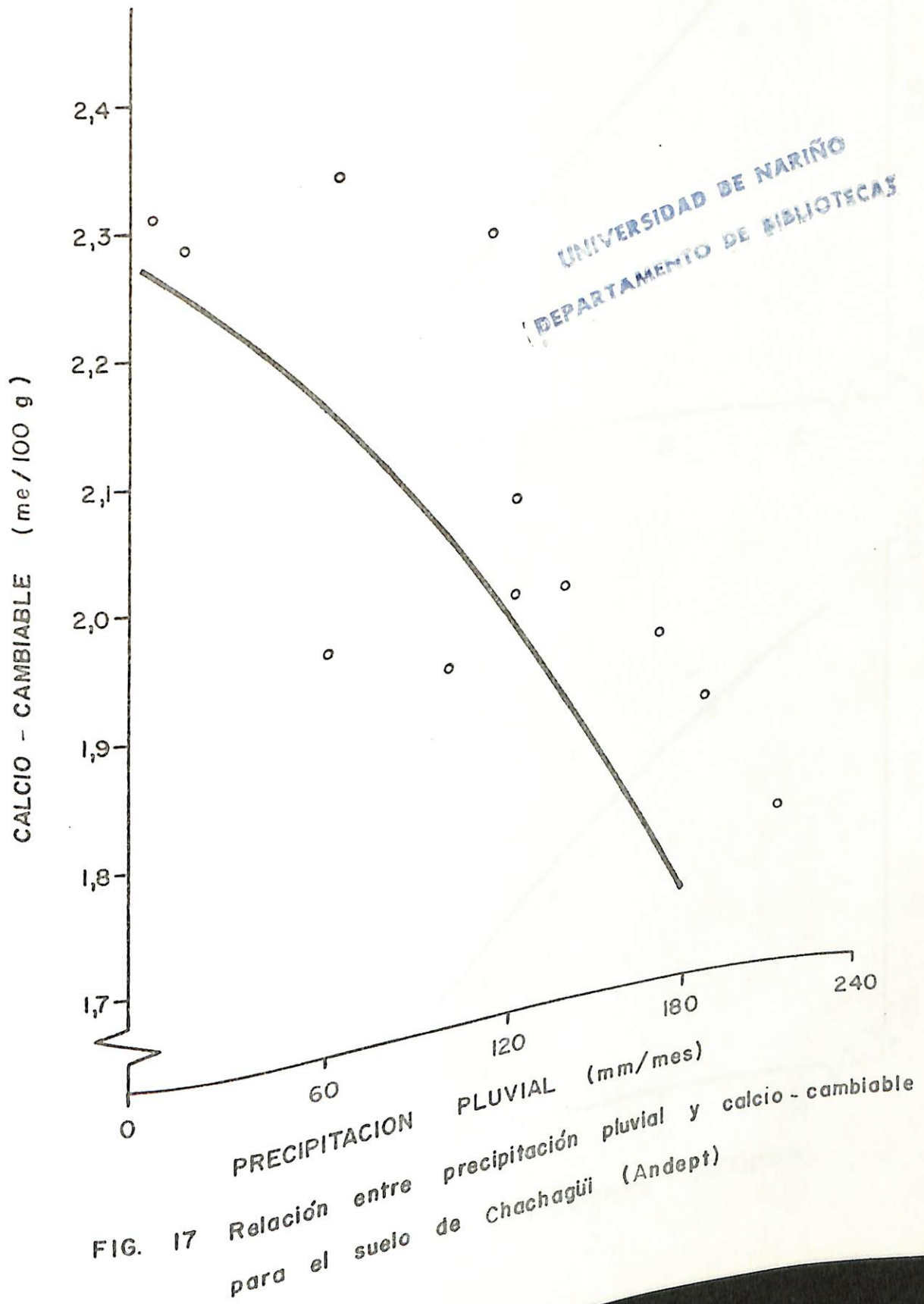


FIG. 16 Relación entre precipitación pluvial y calcio - cambiabile para el suelo de Obonuco (Tropépt)

SUELO HUMEDO - ANDEPT

$$Y = 2,2775 - 0,0016X - 0,000009X^2$$
$$r = 0,5972^*$$
$$R^2 = 35,66 \%$$



SUELO SECO TROPEPT
 $Y = 33,532 - 0,0583X - 0,00002X^2$
 $r = 0,7695^{**}$
 $R^2 = 59,21 \%$

SUELO HUMEDO
 $Y = 32,1748 - 0,1036X + 0,00001X^2$
 $r = 0,8127^{**}$
 $R^2 = 66,05 \%$

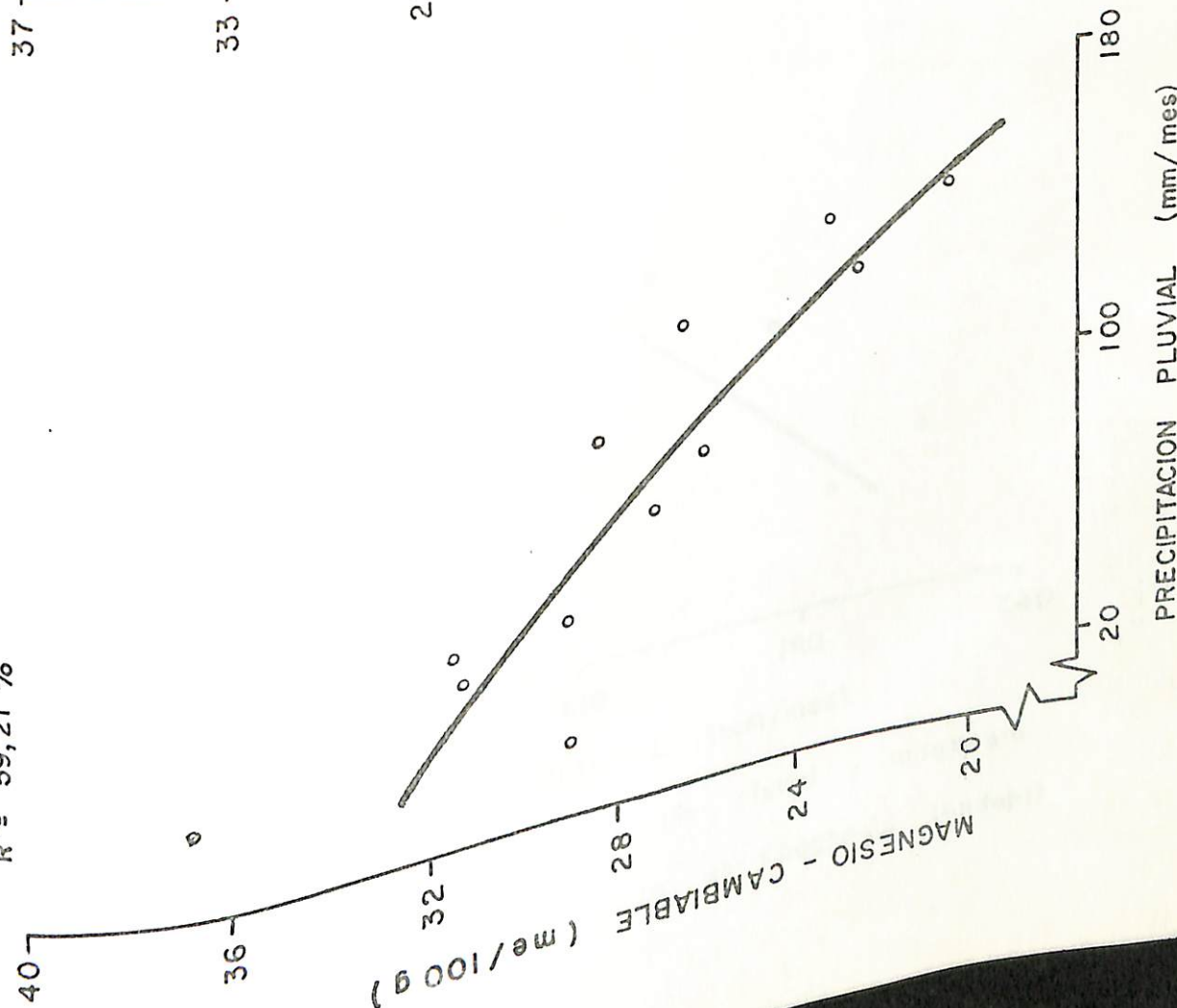


FIG. 18 Relación entre precipitación pluvial y magnesio - cambiabile para el suelo de Obonuco (Tropept)

SUELO HUMEDO - ANDEPT

$$Y = 1,0546 - 0,0014X$$

$$r = -0,70^x$$

$$R^2 = 49 \%$$

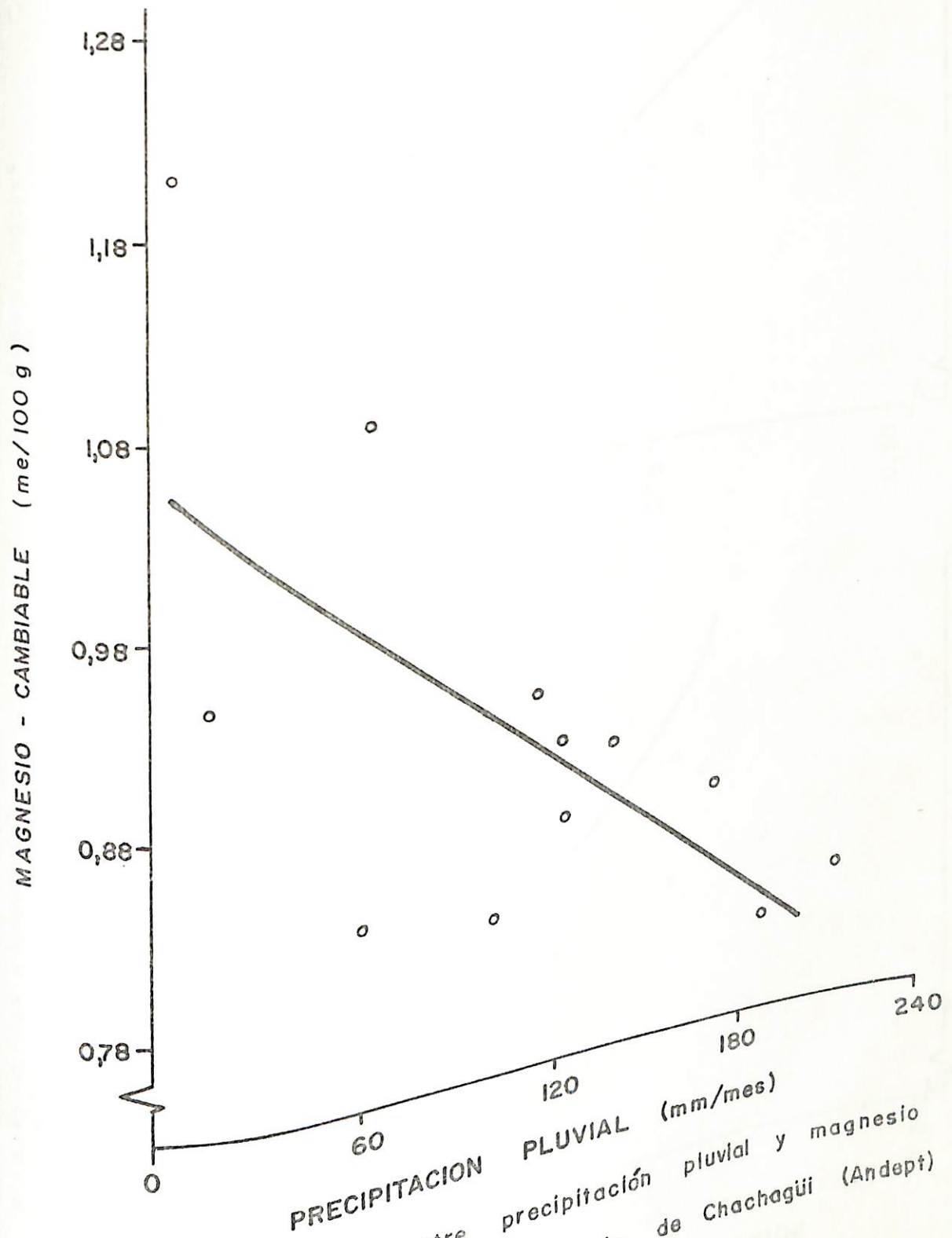


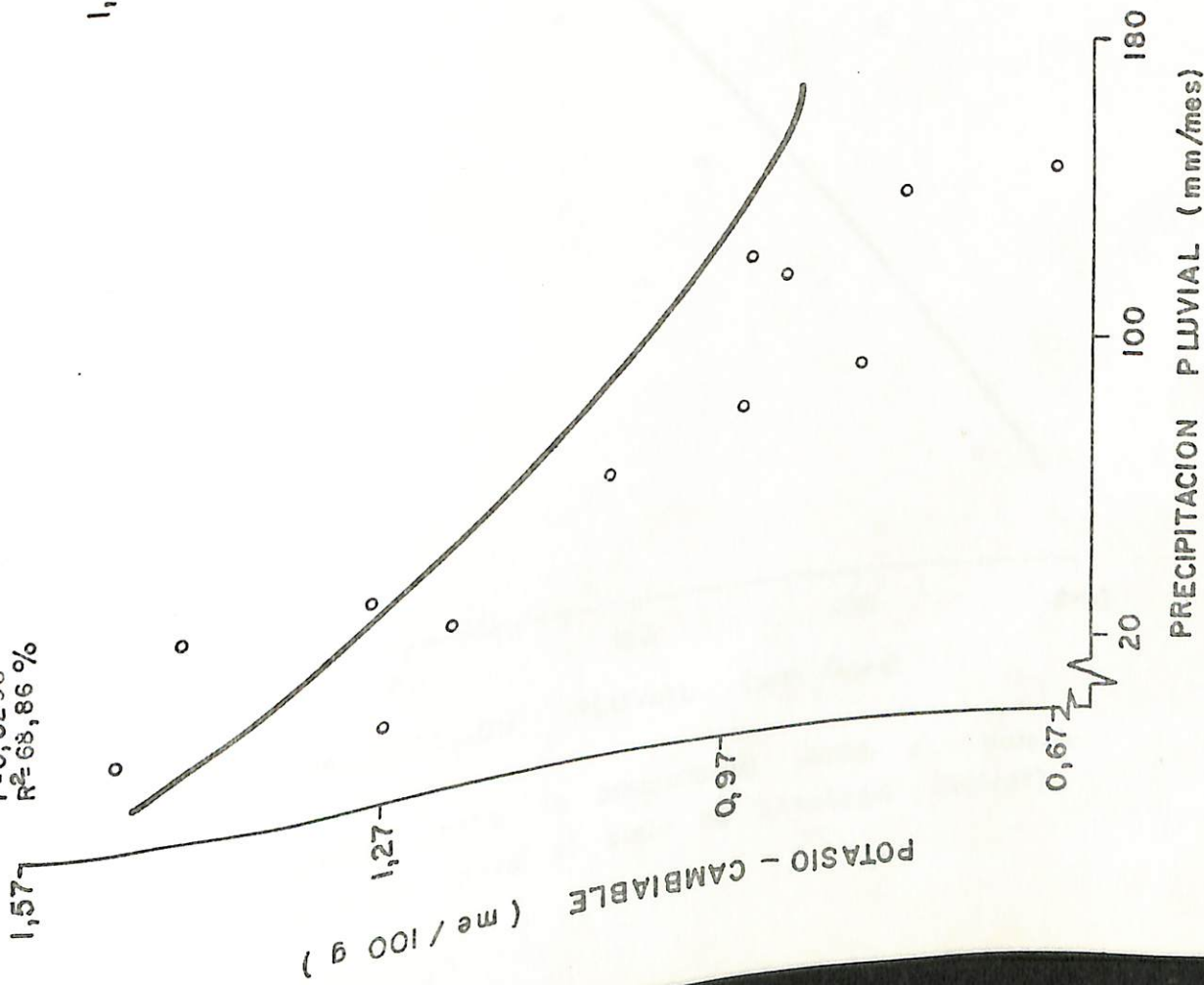
FIG. 19 Relación entre precipitación pluvial y magnesio Cambiable para el suelo de Chachagüi (Andept)

SUELO SECO TROPEPT

$$Y = 1,5345 - 0,006X + 0,000013X^2$$

$$r = 0,8298^{xx}$$

$$R^2 = 68,86 \%$$



SUELO HUMEDO

$$Y = 1,0488 - 0,0028X^2$$

$$r = -0,73^{xx}$$

$$R^2 = 53,29 \%$$

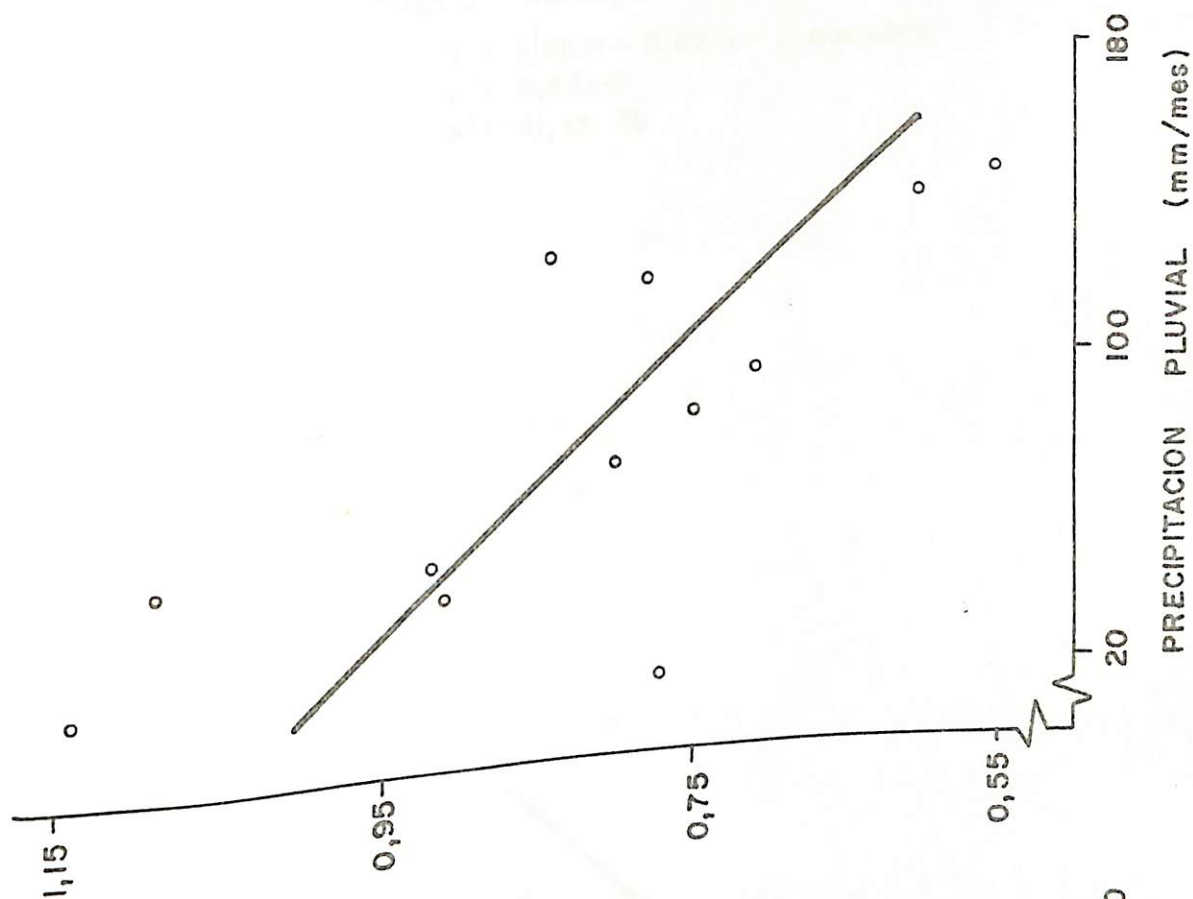


FIG. 20 Relación entre precipitación pluvial y potasio - cambiable para el suelo de Obonuco (Tropept)

SUELO HUMEDO - ANDEPT

$$Y = 0,8841 - 0,001X - 0,000003X^2$$

$$r = 0,6414^*$$

$$R^2 = 41,13 \%$$

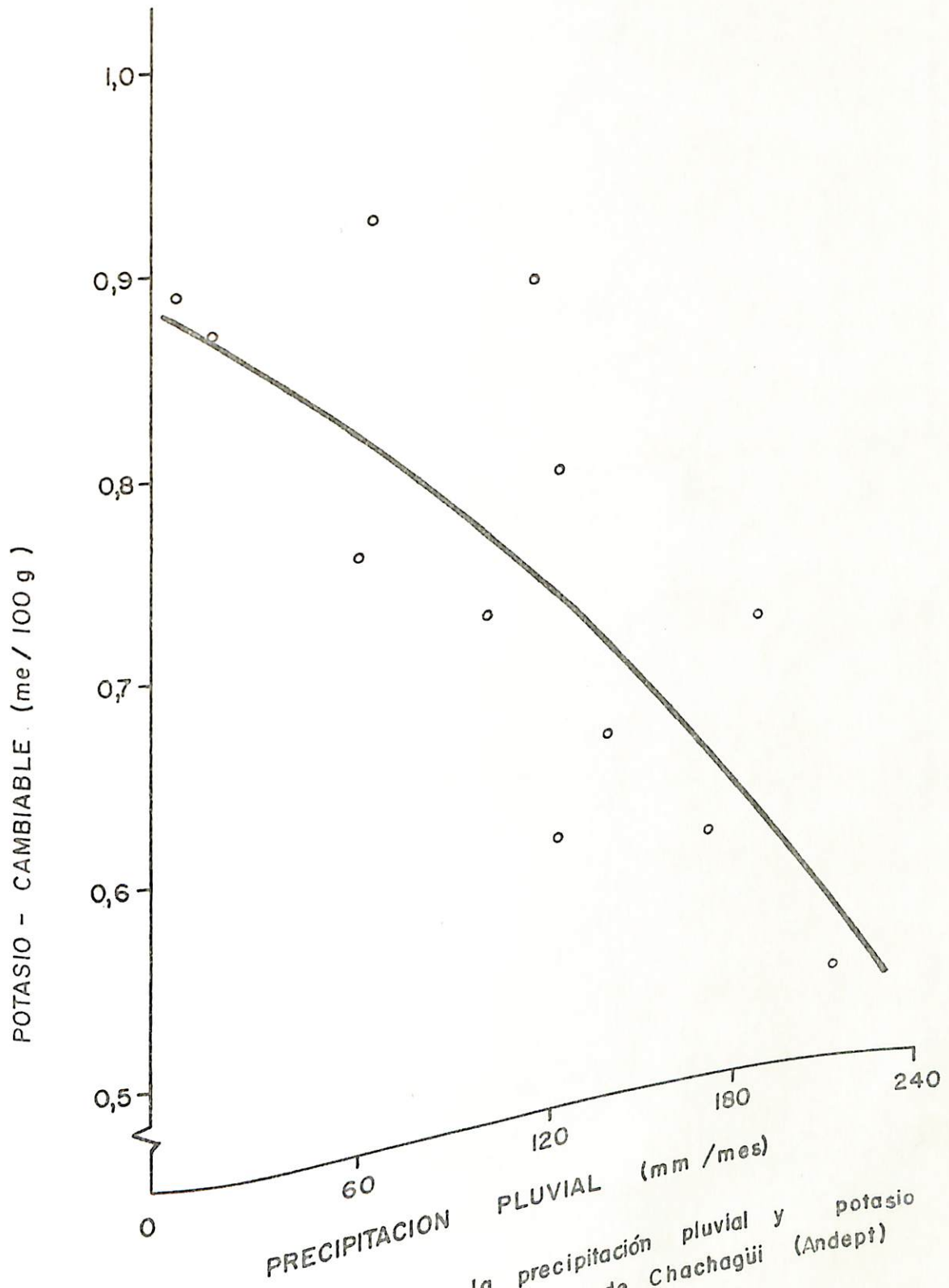


FIG. 21 Relación entre la precipitación pluvial y potasio cambiabile para el suelo de Chachagüi (Andept)

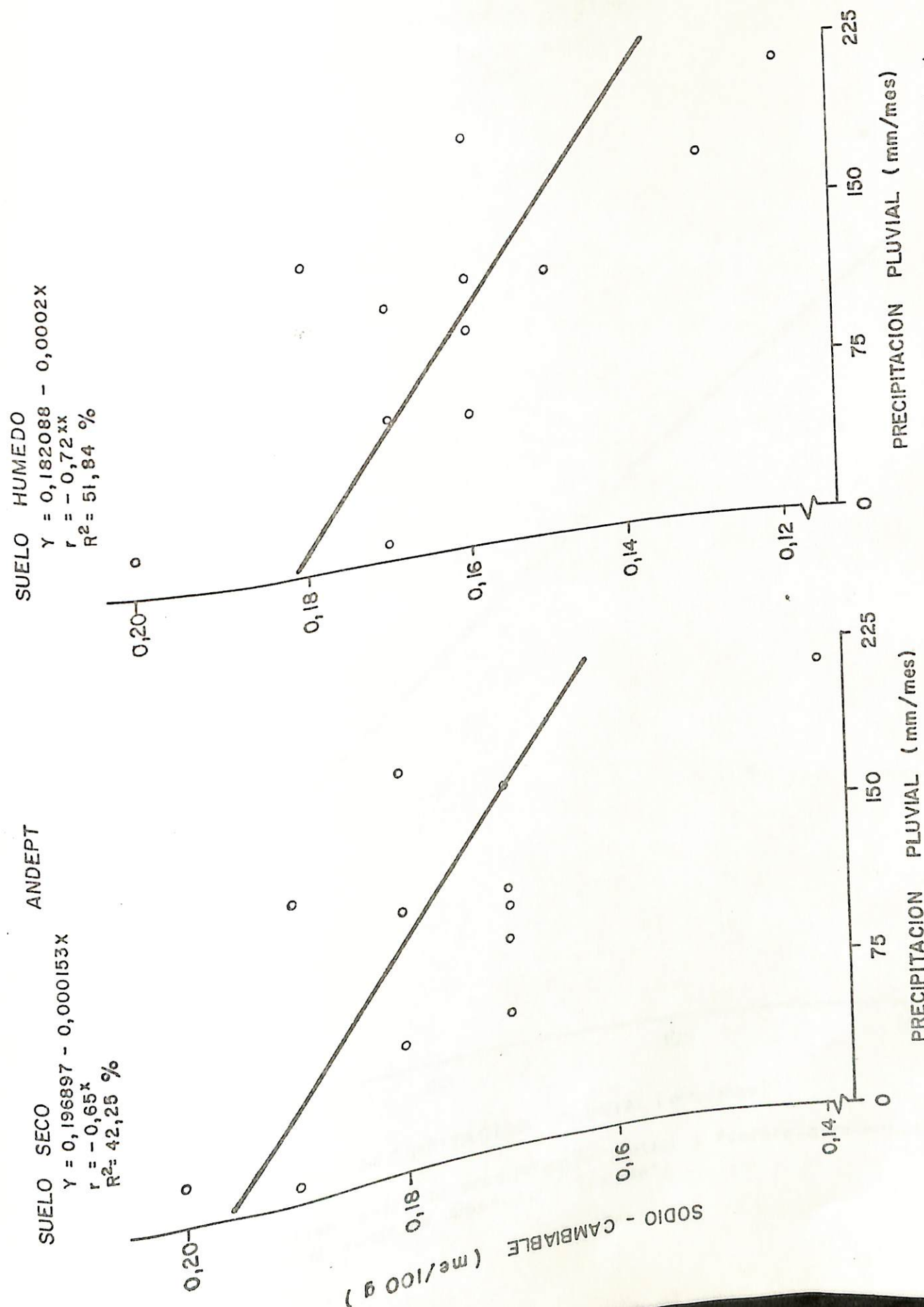


FIG. 22 Relación entre precipitación pluvial y sodio -cambiable para el suelo de Chachagüi (Andept)

SUELO HUMEDO - TROPEPT

$$Y = 2,6928 + 0,01X$$

$$r = 0,60\%$$

$$R^2 = 36,0 \%$$

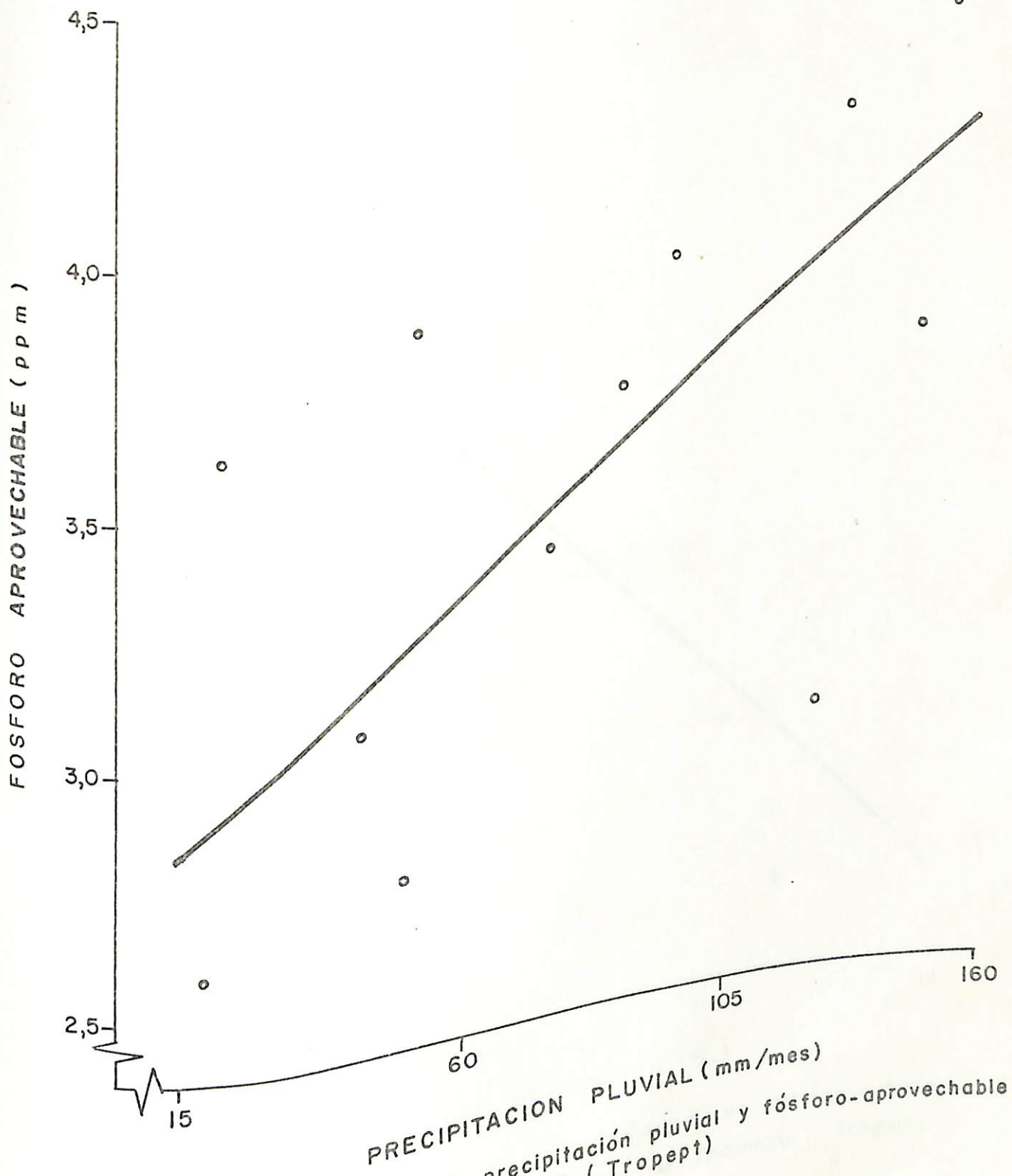


FIG. 23 Relación entre la precipitación pluvial y fósforo-aprovechable para el suelo de Obonuco (Tropept)

SUELO SECO - ANDEPT

$$Y = 3,685 - 0,25X$$
$$r = -0,65X$$
$$R^2 = 42,25 \%$$

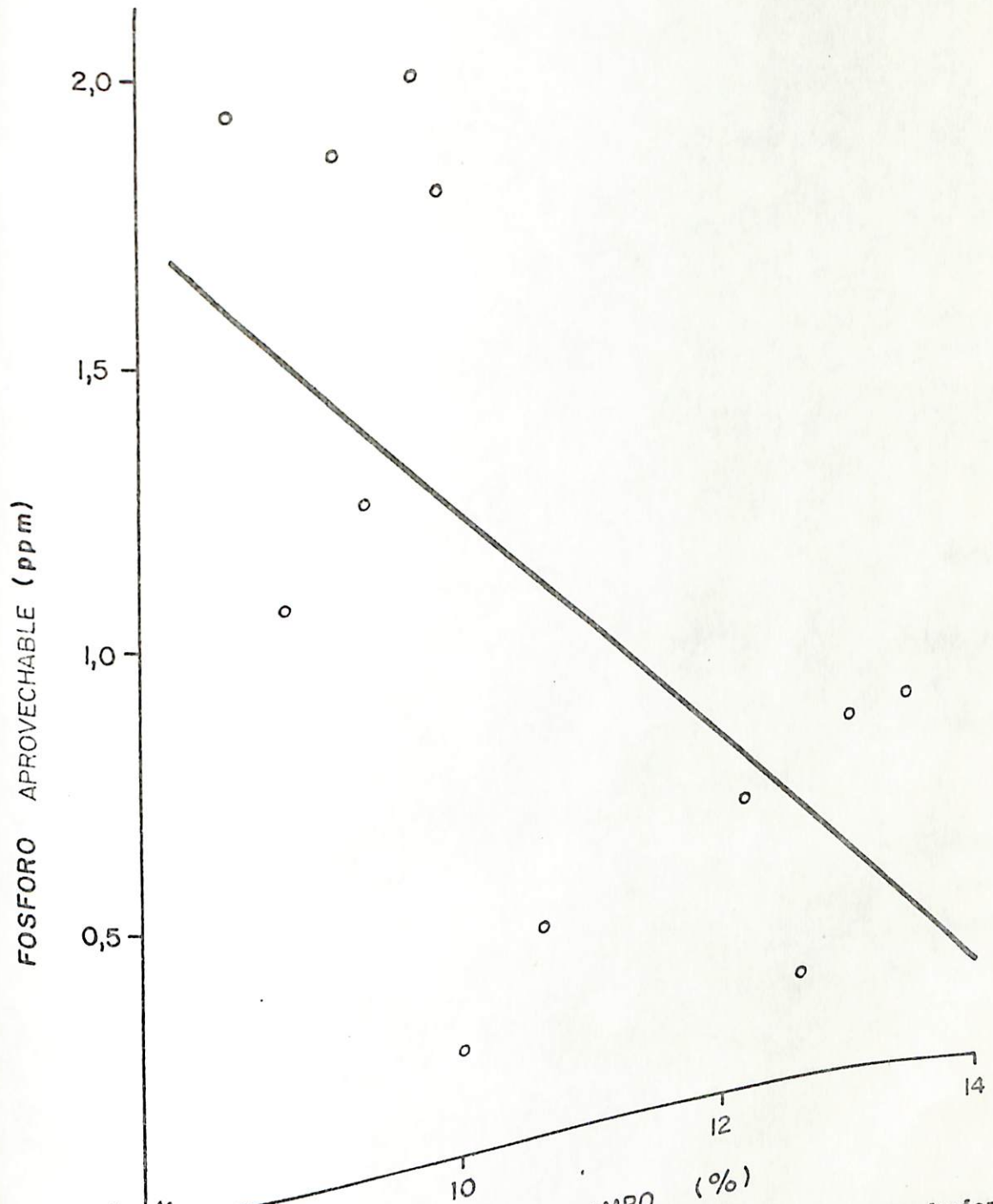


FIG. 24 Relación entre % de humedad de campo y fosforo aprovechable para el suelo de Chachagüi (Andept)

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

5.1.1 Efecto del secamiento y humedecimiento

1. El secamiento al aire de la muestra de suelo causó un incremento en la retención de humedad a la capacidad de campo, tanto en el suelo Andept como en el Tropept y la magnitud del efecto tendió a estar asociada en forma directa con el volumen de lluvia mensual previo al muestreo

2. La acción negativa del secamiento sobre la retención de humedad observada comúnmente en los suelos alofánicos, solamente se registró en el suelo Andept para la muestra colectada después del mes más seco del año

3. Las propiedades químicas estudiadas mostraron cambios bajo la acción del secamiento. El $N-NO_3$ 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

4. 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

5.1.2 Efectos de las variaciones estacionales

5. 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 $N-NO_3$, siendo éste 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 sólo fue estadísticamente confiable en el suelo Tropept.

6. El comportamiento estacional del aluminio cambiabile 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 cambiabile.

7. Las variaciones estacionales registradas y las relaciones estadísticas obtenidas, tanto con la precipitación pluvial como en el contenido de humedad del suelo, al momento del muestreo, tienen evidente 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.

8. La determinación de las propiedades físico-químicas en muestras a la humedad de campo refleja, hasta cierto punto, mejor el efecto estacional y, por tanto, tienen más validez y confiabilidad que las realizadas en muestras secas al aire.

5.2 Recomendaciones

1. Debe considerarse la conveniencia de realizar los análisis químicos rutinarios de fertilidad en muestras a la humedad de campo, pues bajo esta condición se reflejan mucho mejor las variaciones estacionales en los indicadores de fertilidad.

VI. 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 físico-químicas mediante observaciones mensuales y determinaciones de laboratorio en muestra seca al aire y a la humedad de campo.

El secamiento al aire de la muestra de suelo afectó la retención de humedad aumentándola, y también modificó en forma significativa la totalidad de las propiedades químicas. Bajo la acción del secado, el $N-NO_3$ 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.

En el suelo Andept la precipitación pluvial incrementó en forma lineal la densidad aparente, causando así una caída en la capacidad de campo. Tanto en Andept como en Tropept las variaciones estacionales de las propiedades químicas fueron considerables. A un 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 a la humedad de campo reflejan mejor el efecto estacional y, por tanto, se consideran más confiables y válidas que las realizadas en muestras secas al aire.

Soils were made in different soil types. One is Tropept, experimental Station in the Pasto Highland, and another near Chachagui village. In both places study of seasonal variations were fulfilled. Observations and laboratory determinations in dry and moist condition.

Soil air, affected moisture retention capacity, and chemical properties in a significant form. As soil pH grew increased, same as exchangeable cations increased. The behaviour of the exchangeable-Al capacity, was contrary in both soils. In Adept soils and decreased in Tropept soil. It is important dealing with reliable and analysis of soil to be associated to rainfall conditions.

Rainfall increased bulk density in a linear tendency in capacity. In Adept as well as in Tropept soil, chemical properties were considerable. To corresponded and increased in the 0-10 cm, bulk density, meanwhile exchangeable basis decreased.

Reliable except for the effects in the soil. For simulation behaviour was contrary in the relationship in Adept soil. In Tropept soil.

These have agronomic importance related to the soil cultivation and lime requirements. The results reflect the seasonal effect and they should perform in dry samples.

SUMMARY

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

The drying sample in open air, affected moisture retention capacity, increasing it and modifying whole chemical properties in a significant form. Under the drying process, $N-NO_3$, pH grew increased, same as exchangeable basis, while available-P, decreased. The behaviour of the exchangeable-Al and the CEC, cationic exchangeable capacity, was contrary in both soils because dryness increased in Andept soils and decreased in Tropept soil. Dryness effects were considered important dealing with reliable and analysis accuracy; also its magnitude seems to be associated to rainfall conditions before the sample was performed.

In Andept soil, the rainfall increased bulk density in a lineal tendency causing a fall in the field capacity. In Andept as well as in Tropept soil, the seasonal variations of chemical properties were considerable. To an increase in rainfall volumen, corresponded and increased in the $N-NO_3$ and in CEC, cationic exchange capacity, meanwhile changeable basis decreased.

Both effects were statistically reliable except for the effects in CEC, which was only for Tropept soil. The aluminium 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 perform in dry samples.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS, H. A. y GUERRERO, R. R. Algunas propiedades físicas de dos sue los derivados de cenizas volcánicas de Pasto, Colombia, determina das por diferentes métodos. *Turrialba* 21(4): 393-403. 1971.
2. BENAVIDES, G. DE. Mineralización del nitrógeno en suelos volcánicos de Nariño. In *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Memorias V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Medellián, 1975. (En prensa).
3. BIRCH, H. F. y ENICHERE, A. M. The effect of soil drying on millet. *Plant and Soil* 24(2): 333-335. 1966.
4. BIRCH, H. F. y FRIEND, M. T. Humus decomposition in East Africa soils. *Nature* 178 : 500-501. 1956.
5. BIRCH, H. F. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 10(1): 9-31. 1958.
6. _____. Simultaneous decomposition processes in soil. *Nature* 183 : 1415. 1959.
7. _____. Further observations in humus decomposition and nitrification. *Plant and Soil* 11(3): 262-286. 1959.
8. _____. Nitrification in soils after different periods of dryness. *Plant and Soil* 12(1): 81-96. 1960.
9. BLACK, C. A. Soil-plant relationships. 2 ed. New York, John Wiley, 1967. 545 p.
10. BLAKE, G. R. Bulk density. In Black, C. A. et al. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. 1965. pp. 374-390.

11. BORNEMISZA, E. y PINEDA, R. Minerales amorfos y mineralización del nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA-FAO, 1969. B.7.1.-B.7.7.
12. BROWN, D. A. Cation exchange in soils through the moisture range, saturation to the wilting percentage. Soil Science Society of America Proceedings 17 : 92-95. 1953.
13. CALDER, E. A. Features of nitrate accumulation in Uganda soils. Journal of Soil Science 8(1): 60-72. 1957.
14. 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.
15. CLINE, M. G. Principles of soil sampling. Soil Science 58(2): 275-288. 1944.
16. COLLINS, J. B., WHITESIDE, E. P. y CRESS, C. E. Seasonal variability of pH and time requirements in several Southern Michigan Soils when measured in different ways. Soil Science Society of America Proceedings 34(1): 56-61. 1970.
17. COLMET-DAAGE, F. y CUCALON, F. Caractères hydriques de certains soils des regions bahanières d'Equateur. Fruits 20 : 19-23. 1965.
18. ———. et al. Caractéristiques de quelques soils d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. 1^{ere} partie. Essai de caracterisation de sols des regions tropicales humides. Cahier. ORSTOM. Série Pedologie. Vol. V (1). 1969.
19. CORNFORTH, I. A. Seasonal changes in mineralizable nitrogen in Trinidad soils. Tropical Agriculture 48(2): 157-162. 1971.
20. DHAR, N. R., BHATTACHARYA, P. y BISWAS, N. Photolithification in soil. Soil Science 35(2): 281-284. 1933.

21. 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. eds. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, Universidad de Nariño-IICA, 1972. pp. 19-38.
22. _____. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica, Editorial IICA. 1975. 398 p.
23. FORSYTHE, W. M., GAVANDE, S. A. y GONZALEZ, M. A. Propiedades físicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas considerando algunos suelos de América Latina. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA-FAO, 1969. pp. B.3.1. - B.3.7.
24. GUERRERO, R. R. Mineralización del nitrógeno en suelos tropicales. Turrialba, IICA-OEA, Centro de Enseñanza e Investigación, 1968. 57 p. (Mecanografiado).
25. GREENLAND, D. J. Nitrate fluctuation in tropical soils. *Journal of Agricultural Science* 50(1): 82-91. 1958.
26. GRIFFITH, G. y MANNING, H. L. Nitrate accumulation in Uganda soils. *Nature* 165 : 571. 1950.
27. HAGENZIEKER, F. Soil nitrogen studies at Urambo, Tanganyika Territory East Africa. *Plant and Soil* 9(2): 97-113. 1957.
28. HARDY, F. Seasonal fluctuations of soil moisture and nitrate in a humid tropical climate. *Tropical Agriculture* 23(3): 40-49. 1946.
29. _____. The significance of carbon-nitrogen ration in soils growing cotton. III. Nitrate fluctuations in relation to planting date and soils manurial requirements in British West Indies. *Tropical Agriculture* 23(11): 201-205. 1946.

30. JACKMAN, R. H. Organic phosphorus in New Zealand soils under pasture. II Relation between organic phosphorus content and some soil characteristics. *Soil Science* 79 : 293-299. 1955.
31. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, N. J. Prentice Hall, Inc. 1958. 498 p.
32. JONES, T. A. Nitrogen studies on the irrigated soils of the Sudan Gezira *Journal of Soil Science* 8(2): 211-224. 1957.
33. JOSHI, V. N. y BISWAS, S. C. Does photonitrification occur in the soil ?. *Indian Journal of Agricultural Science* 18 : 115-129. 1948.
34. KANEHIRO, Y. y SHERMAN, G. D. Effect of dehydration-rehydration on cation exchange capacity of Hawaiian soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 20 : 341-344. 1956.
35. LUNA, Z. G. y CARLBOWN, G. P. Suelos derivados de ceniza volcánica del Departamento de Nariño. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Dirección Agrológica, 1973. 157 p.
36. MAEDA, T. y WATKENTIN, B. P. Void changes in allophane soils determining water retention and transmission. *Soil Science Society of America Proceedings* 39(3): 398-403. 1975.
37. MARTIN, A. E. y COX, J. E. Nitrogen studies on black soils from the darling downs, Queensland. I. Seasonal variations in moisture and mineral nitrogen fractions. *Australian Journal of Agricultural Research* 7 : 169-183. 1956.
38. MULLER, A. y SCHELHAAS, R. M. Influence of drying on moisture characteristics of some volcanic ash soils. In Blasco, L. M. y Guerrero R. R. eds. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño-ILCA-OEA, 1972. pp. 439-480.

39. PAAUW, F. VANDER. Periodic fluctuations of soil fertility, crop yields and of responses to fertilization affected by alternating periods of low or high rainfall. *Plant and Soil* 17(2): 155-182. 1962.
40. PLUCKHETT, D. L. y SHERMAN, G. D. Extractable aluminium in some Hawaiian soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 27 (1): 39-41. 1963.
41. RAO, G. G. Newer aspects of nitrification I. *Soil Science* 38(2) : 143-158. 1934.
42. ROBINSON, D. B. Nitrogen studies in a coffee soil. I. Seasonal trends of natural soil nitrate and ammonio in relation to crop, growth, soil moisture and rainfall. *Journal of Agricultural Science* 55 : 333-338. 1960.
43. ———. y GACOKA, P. Evidence of the upward movement of nitrate during the dry season in the kikuyu red loam coffee soil. *Journal of Soil Science* 13(1): 133-139. 1962.
44. SAIZ DEL RIO, J. P. y BORNEMISZA, E. S. Análisis químico de suelos, método de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107 p.
45. SCHALSCHA, E. B. et al. Effect of drying on volcanic ash soils in Chile. *Soil Science Society of America Proceedings* 29 : 481-482. 1965.
46. SIMPSON, J. R. The mechanism of surface nitrate accumulation on a bare fallow soil in Uganda. *Journal of Soil Science* 11(1): 45-60. 1960.
47. STEPHENS, D. Upward movement of nitrate in a bare soil in Uganda. *Journal of Soil Science* 13(1): 52-59. 1962.

48. SWINDALE, L. D. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA-FAO, 1969. pp. B.10.1-B.10.5.
49. TANDON, S. P. y DHAR, N. R. Influence of temperature on bacterial nitrification in tropical countries. *Soil Science* 38 : 183-189. 1934.
50. 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.
51. WETSELAAR, R. Capillary movement of nitrate towards tropical soil surfaces. *Nature* 186 : 572-573. 1960.
52. _____. Nitrate distribution in tropical soils. I. Possible causes of nitrate accumulation near the surface after a long dry period. *Plant and Soil* 15(2): 110-120. 1961.
53. _____. Nitrate distribution in tropical soils. II. Extent of capillary accumulation of nitrate during a long dry period. *Plant and Soil* 15(2): 121-133. 1961.
54. WRIGHT, A. C. The "andosols" or "humic allophane" soils of South America. Meeting on the classification and correlation of soils from volcanic ash. Tokyo, FAO. 1964. pp. 9-22.
55. YAMANACA, K. Physical properties. In Japan, Ministry of Agriculture and Forestry. Volcanic ash soils in Japan, Tokyo. 1964. pp. 69-91.

AN
T
631.4
J95v
Ej. 1