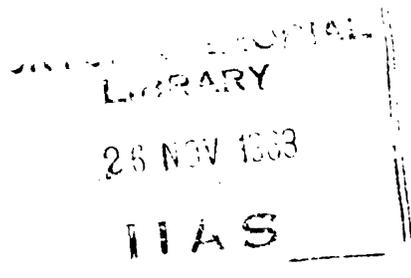


**CARACTERIZACION DEL ESTADO DEL POTASIO
EN TRES GRANDES GRUPOS DE SUELOS DE COSTA RICA**

Tesis de grado de Magister Scientiae

Arturo Suárez Hernández



**Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica**

Thesis
S939e



CARACTERIZACION DEL ESTADO DEL POTASIO EN TRES GRANDES
GRUPOS DE SUELOS DE COSTA RICA

LIBRARY
25 NOV 1968

TESIS

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados como
requisito parcial para optar el grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:

J. A. Martini

J. A. Martini Ph. D.

Consejero

E. Bornemisza

E. Bornemisza Ph. D.

Comité

F. Maldonado M. S.

F. Maldonado M. S.

Comité

R. Díaz-Romeu

R. Díaz-Romeu M. S.

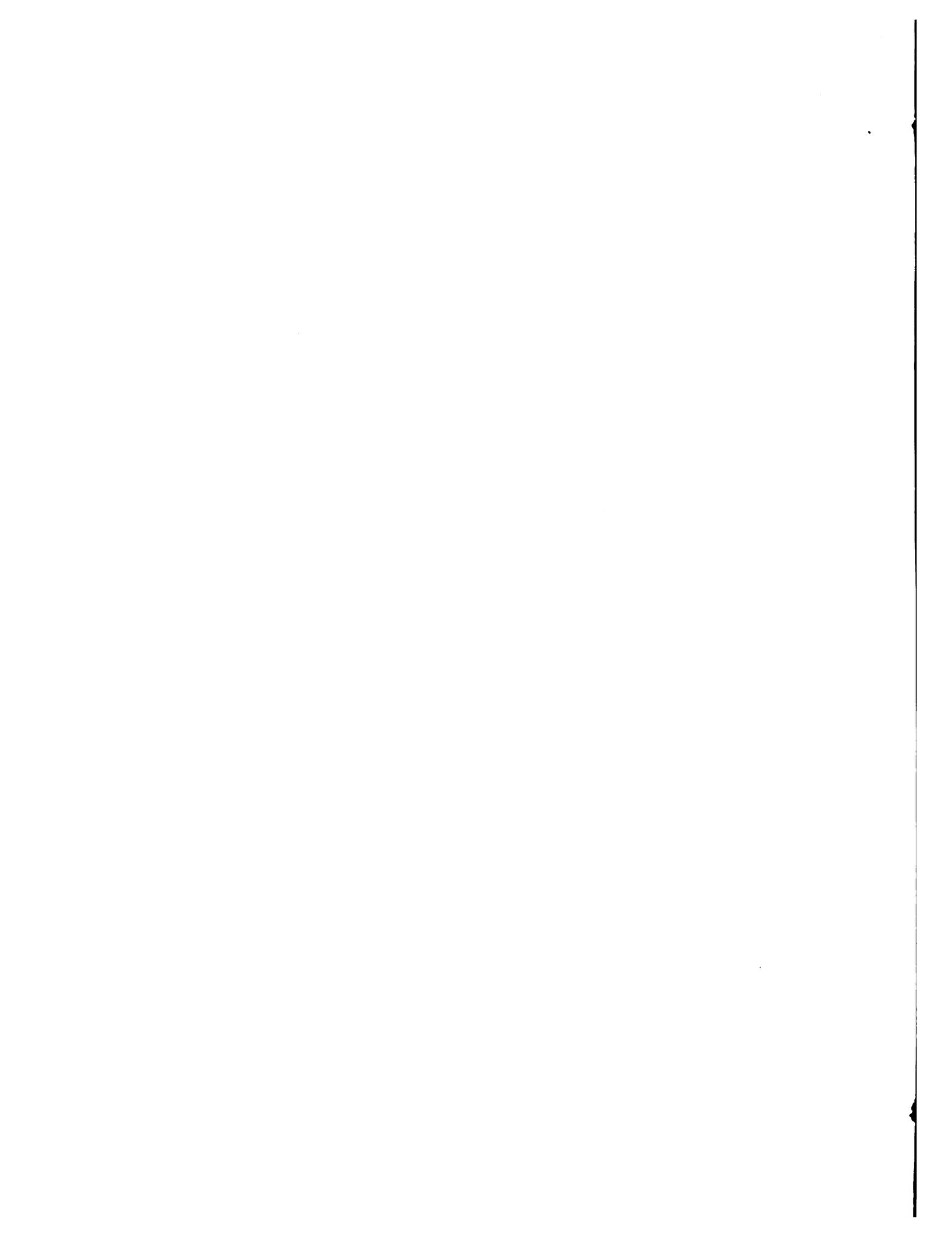
Comité

Octubre de 1968.

DEDICATORIA

A mis padres

A mi esposa e hijo



BIOGRAFIA

El autor nació en Ciénaga, Departamento del Magdalena, Colombia.

Realizó sus estudios universitarios en la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Palmira, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo en Diciembre de 1963.

En 1964 prestó sus servicios como profesor asistente en el Departamento de Suelos de la Universidad Tecnológica del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

En Setiembre de 1966 ingresó al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, por medio de una beca otorgada por la misma institución, en donde presentó su tesis de grado en Octubre de 1968.

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su sincero agradecimiento al Dr. J.A. Martini, Consejero principal, por su generosa y acertada orientación, que en todo momento se hizo presente durante la realización de este estudio.

Al Dr. E. Bornemisza, por su atenta y dispuesta colaboración.

Al Dr. A.M. Pinchinat e Ingenieros F. Maldonado y R. Díaz-Romeu, por sus valiosos consejos.

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O E A, por haberle otorgado la beca.

A los profesores, compañeros y a todas aquellas personas que amablemente colaboraron en la ejecución de este trabajo.



TABLA DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
A. Contenido de potasio en suelos tropicales ...	4 ✓
B. Origen del potasio en el suelo	7
C. Formas y equilibrio del potasio en el suelo ..	8
D. Fijación de potasio	27 ✓
E. El potasio total	39
F. Capacidad de abastecimiento de potasio en el suelo	40
G. El fenómeno del potasio en los suelos tropica- les	44
MATERIALES Y METODOS	47
A. Trabajo de campo	47
B. Trabajo de laboratorio	48
C. Trabajo de invernadero	65
D. Suelos y subsuelos utilizados: Descripción de perfiles	70
Suelos aluviales	73
Suelos andosólicos	82
Suelos latosólicos	95
RESULTADOS Y DISCUSION	118
A. Potasio intercambiable	118



B. El potasio total	158
C. Potasio no-intercambiable calculado	170
D. Potasio no-intercambiable extraído con ácido ní- trico normal	172
E. Capacidad de abastecimiento y fijación de pota - sio, y el efecto residual del abonamiento po - tásico	184
F. Potasio no-intercambiable extraído con ácido ní- trico normal en suelos y subsuelos incubados en húmedo	222
G. Evaluación de la capacidad de reposición de pota sio intercambiable en suelos y subsuelos incu- bados en húmedo, con secamiento al aire	231
H. Fijación de potasio	240
RESUMEN Y CONCLUSIONES	269
SUMMARY AND CONCLUSIONS	280
LITERATURA CITADA	290
APENDICE	303



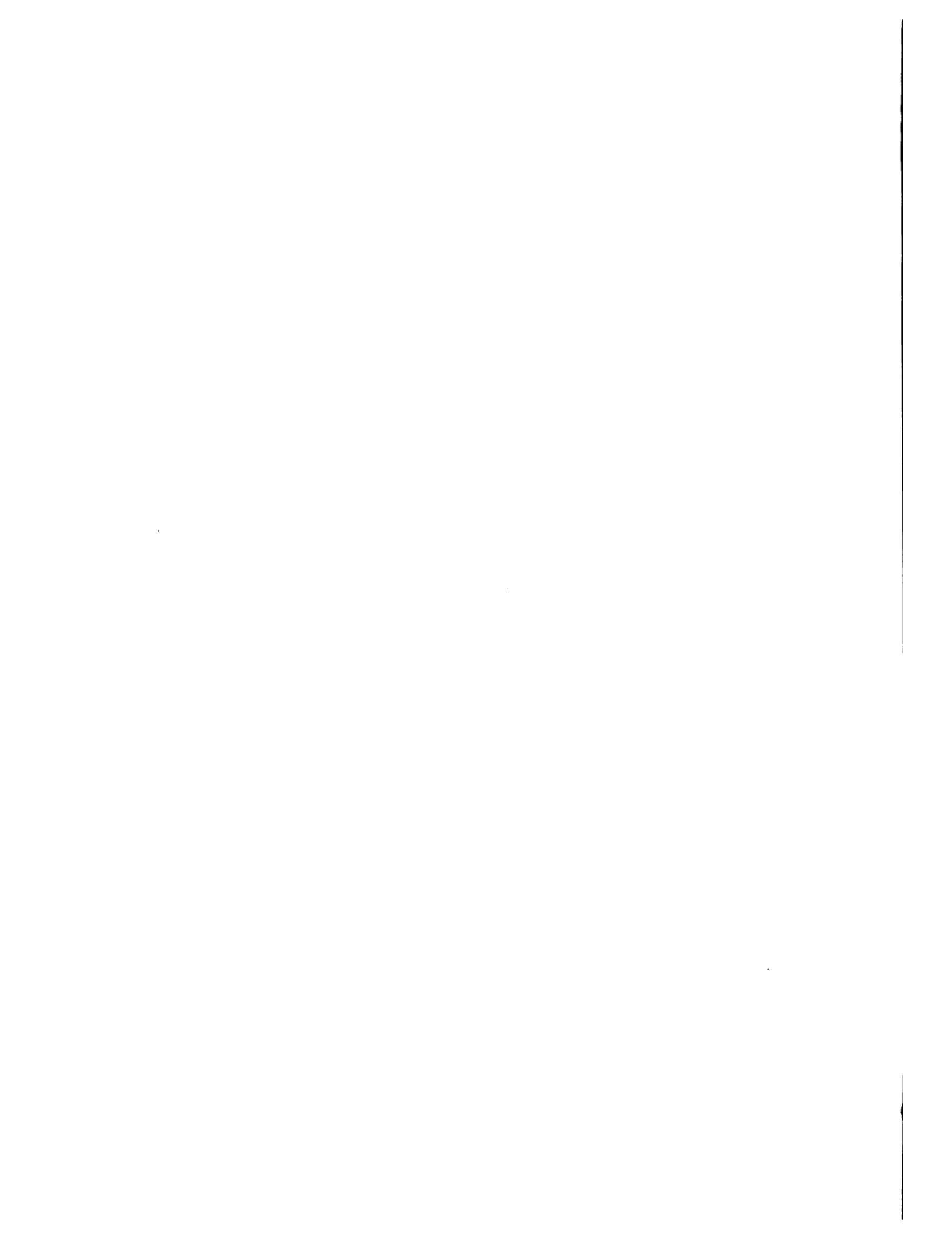
INDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. Cantidades y fuentes de nutrimentos aplicados	71
2. Cantidades y fuentes de nutrimentos aplicados	72
3. Serie, altitud, precipitación, color, textura y pH de los suelos y subsuelos estudiados ..	75
4. Potasio intercambiable en 47 suelos y 47 subsuelos de Costa Rica, utilizando las soluciones de acetato de amonio, Morgan y Mehlich..	119
5. Peso seco de la planta de tomate bajo dos niveles de abonamiento potásico y su rendimiento relativo (1a cosecha en invernadero)	129
6. Contenido total de potasio en la planta de tomate bajo dos niveles de abonamiento potásico y su rendimiento relativo (1a cosecha en invernadero)	131
7. Por ciento (%) de potasio en la planta de tomate bajo dos niveles de abonamiento potásico y su rendimiento relativo (1a cosecha en invernadero)	133
8. Coeficientes de correlación lineal (r) entre diferentes métodos de extracción de potasio intercambiable en suelos y subsuelos y los valores de peso seco, contenido total de potasio y concentración de potasio en las plantas	135
9. Coeficientes de correlación lineal (r) obtenidos al comparar los diferentes métodos de extracción de potasio intercambiable y el potasio obtenido con ácido nítrico (1a extracción) en suelos y subsuelos	150
10. K no-intercambiable, potasio total en 23 suelos y 23 subsuelos de Costa Rica	151

CUADRO 11.	Potasio extraído con ácido nítrico normal en cuatro extracciones sucesivas, potasio escalonado y potasio de tasa constante en algunos suelos y subsuelos de Costa Rica	152
12.	Coefficientes de correlación lineal (r) entre valores de potasio extraído con ácido nítrico 1 normal en suelos y subsuelos y los valores de peso seco, contenido total de potasio y concentración de potasio en las plantas.....	186
13.	Peso seco de la planta de tomate y porcentaje de potasio en la planta, correspondiente a tres cosechas sucesivas en experimentos de invernadero y bajo el tratamiento $\frac{1}{2} K_0$	195
14.	Potasio intercambiable de los suelos y subsuelos antes y después de cada cosecha sucesiva, contenido total de potasio en las plantas y potasio liberado (o fijado) en cada cosecha bajo el tratamiento $\frac{1}{2} K_0$ (experimento en invernadero)	196
15.	Coefficientes de correlación lineal (r) entre los valores de potasio extraído con ácido nítrico 1 normal en suelos y subsuelos y los valores de contenido total de potasio en las plantas	201
16.	Peso seco de la planta de tomate y porcentaje de potasio en las plantas correspondientes a tres cosechas sucesivas en experimentos de invernadero y bajo el tratamiento $\frac{1}{2} K_{200}$	211
17.	Potasio intercambiable de los suelos y subsuelos antes y después de cada cosecha sucesiva, contenido total de potasio en las plantas y potasio liberado o fijado en cada cosecha bajo el tratamiento $\frac{1}{2} K_{200}$ (experimento en invernadero)	212
18.	Peso seco, porcentaje de potasio y contenido total de potasio de las plantas de tomate en 4 cosechas sucesivas en experimentos de invernadero y bajo 4 tratamientos de fertilización potásica en 3 suelos y 3 subsuelos de Costa Rica	215



CUADRO 19.	Potasio intercambiable antes y después de cada cosecha, contenido total de potasio en las plantas y potasio liberado o fijado en cada cosecha sucesiva bajo 4 tratamientos de fertilización potásica en 3 suelos 3 subsuelos de Costa Rica (experimentos de invernadero)	217
20.	Potasio extraído con ácido nítrico normal en cuatro extracciones sucesivas en suelos y subsuelos y potasio extraído con ácido nítrico 1N en una sola extracción en muestras incubadas por diferentes tiempos después de haberse obtenido cada valor del potasio de tasa constante	223
21.	Potasio intercambiable en suelos y subsuelos de Costa Rica, obtenido con acetato de amonio en 2 extracciones sucesivas y en muestras incubadas por diferentes tiempos después de efectuarse las 2 extracciones sucesivas	232
22.	Potasio intercambiable en suelos y subsuelos de Costa Rica, obtenido con la solución Morgan en 2 extracciones sucesivas y en muestras incubadas por diferentes tiempos después de efectuarse las dos extracciones sucesivas	234
23.	Resultados de experimento de fijación de potasio: potasio intercambiable encontrado en muestras de 5 suelos y 5 subsuelos sometidos a dos tratamientos de incubación durante cuatro meses y bajo 4 niveles de potasio.	242
24.	Cantidades de potasio liberado y fijado (-) en el suelo y subsuelo Margot	244
25.	Cantidades de potasio liberado y fijado (-) en el suelo y subsuelo CR-8	245
26.	Cantidades de potasio liberado y fijado (-) en el suelo y subsuelo Birnisito	246
27.	Cantidades de potasio liberado y fijado (-) en el suelo y subsuelo CR-12	247



	Página
CUADRO 28. Cantidades de potasio liberado y fijado (-) en el suelo y subsuelo Colorado	256

INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Mapa de Costa Rica	74
2. Relaciones entre el peso seco de la planta y su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución de acetato de amonio en andosoles y latosoles.....	137
3. Relaciones entre el peso seco de la planta y su rendimiento relativo, y el potasio intercambiable extraído con la solución Morgan en andosoles y latosoles	138
4. Relaciones entre el peso seco de la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución Mehlich en andosoles y latosoles	139
5. Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta y su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución de acetato de amonio en andosoles y latosoles.	141
6. Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución Morgan en andosoles y latosoles.....	142
7. Rendimiento entre el contenido total en la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución Mehlich en andosoles y latosoles	143
8. Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución de acetato de amonio en andosoles y latosoles	146
9. Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución Morgan en andosoles y latosoles	147



	Página
FIGURA 10. Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta y su rendimiento relativo, y el potasio intercambiable extraído con la solución de Mehlich en andosoles y latosoles	148
11. Relaciones entre los valores de potasio intercambiable obtenido en las soluciones de acetato de amonio, Morgan y Mehlich en andosoles y latosoles	156
12. Relaciones entre los valores de potasio obtenidos con la solución de ácido nítrico (1a. extracción) y los valores de potasio intercambiable obtenidos con las soluciones de acetato de amonio, Morgan y Mehlich en andosoles y latosoles	157
13. Relaciones entre el potasio total y los valores de potasio intercambiable obtenidos con las soluciones de Acetato de amonio y Morgan en andosoles y latosoles	159
14. Relaciones entre el potasio total y los valores de potasio obtenidos con las soluciones Mehlich y ácido nítrico 1N (1a. extracción) en andosoles y latosoles	160
15. Relaciones entre el peso seco de la planta, rendimiento relativo y el contenido de potasio total en andosoles y latosoles	167
16. Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta, rendimiento relativo y el contenido total en andosoles y latosoles	168
17. Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, rendimiento relativo y el contenido de potasio total en andosoles y latosoles	169
18. Relaciones entre el peso seco de la planta, rendimiento relativo y el potasio extraído con ácido nítrico 1N (1a extracción) en andosoles y latosoles	187

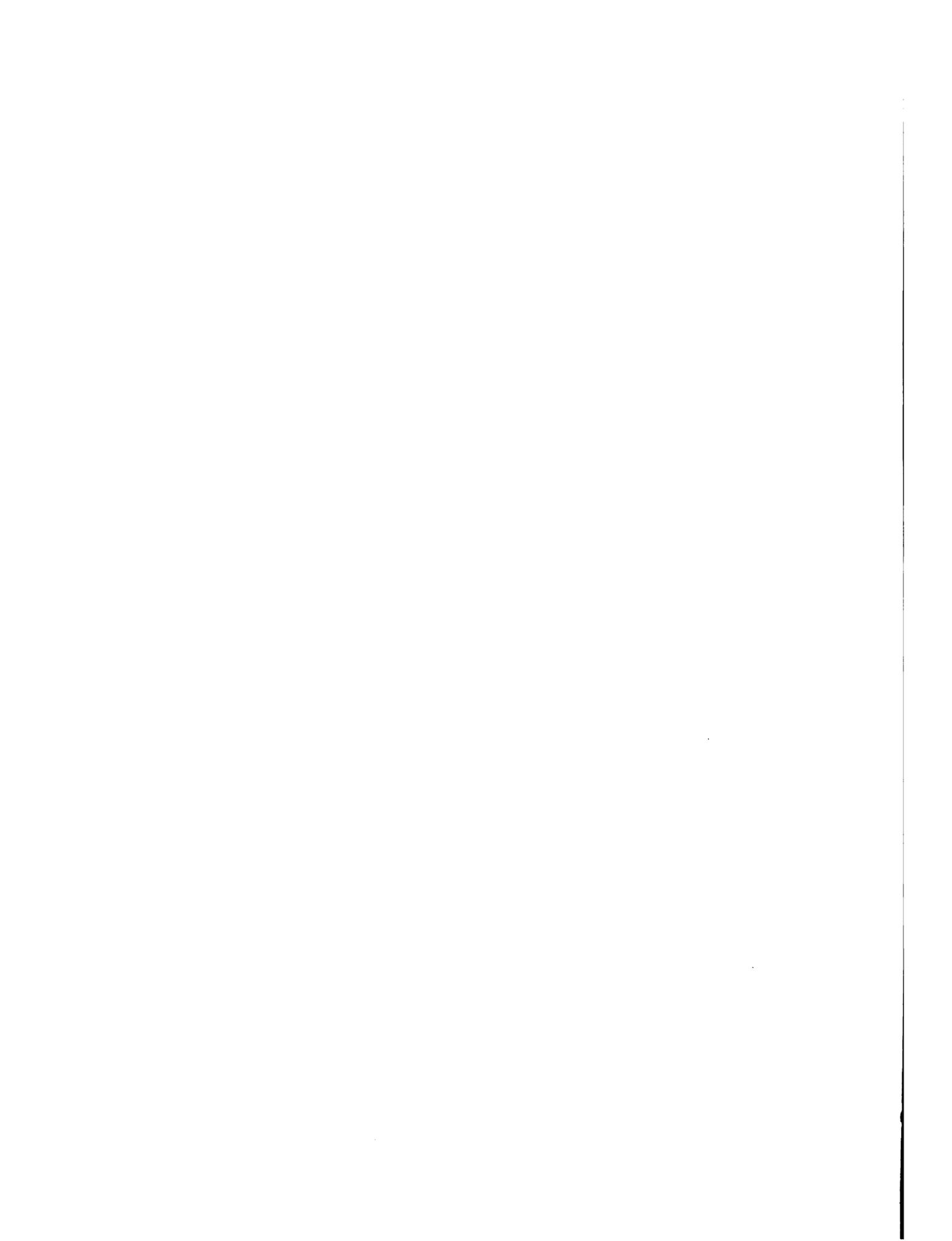


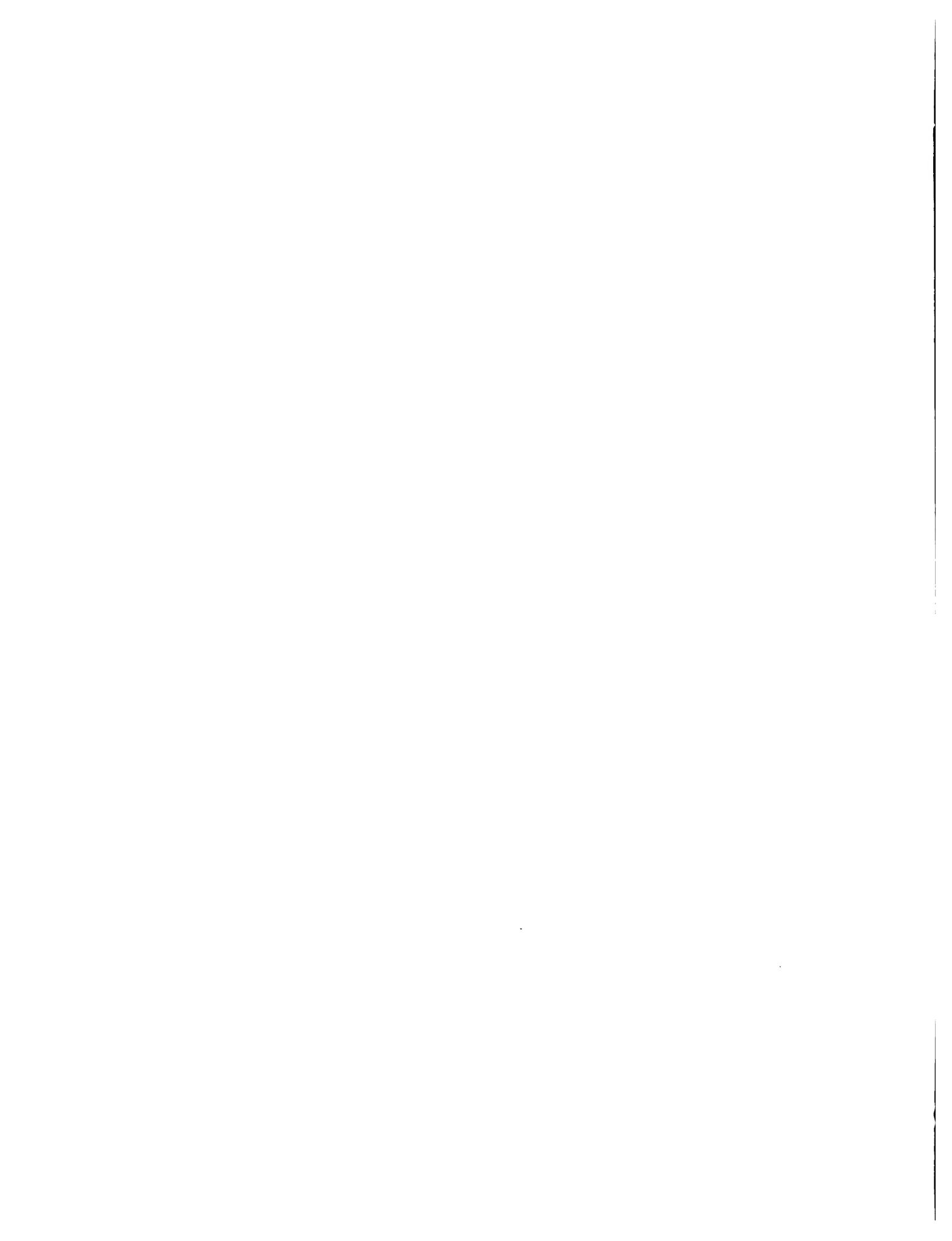
FIGURA 19.	Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta, rendimiento relativo y el potasio extraído con ácido nítrico 1N (1a. extracción) en andosoles y latosoles.	188
20.	Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, rendimiento relativo y el potasio extraído con ácido nítrico 1N (1a. extracción) en andosoles y latosoles.....	189
21.	Relaciones entre el peso seco de la planta, rendimiento relativo y el potasio obtenido en cuatro extracciones sucesivas con ácido nítrico 1N en andosoles y latosoles	190
22.	Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta, rendimiento relativo y el potasio obtenido en cuatro extracciones	191
23.	Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, rendimiento relativo y el potasio obtenido en cuatro extracciones sucesivas con ácido nítrico 1N en andosoles y latosoles	192
24.	Relaciones entre el contenido total de potasio en las plantas de la 2a y 3a cosechas sucesivas y el potasio obtenido en la 2a y 3ª extracción sucesiva con ácido nítrico 1N en andosoles y latosoles.....	198
25.	Relaciones entre la cantidad de potasio extraído por la planta en tres cosechas sucesivas y la cantidad de potasio obtenido en tres extracciones sucesivas con ácido nítrico 1N en andosoles y latosoles	200
26A	Capacidad de abastecimiento de potasio de suelos y subsuelos latosólicos sin abonamiento potásico y efecto residual del potasio en un ensayo de invernadero	204
26B	Capacidad de abastecimiento de potasio en suelos y subsuelos latosólicos sin abonamiento potásico y el efecto residual del potasio en un ensayo de invernadero	205



	Página
FIGURA 27. Capacidad de abastecimiento de potasio en tres suelos y tres subsuelos y efecto residual de abonamiento de potasio (experimento en invierno)	208
28. Potasio obtenido en cuatro extracciones sucesivas con ácido nítrico (1N) y potasio extraído con ácido nítrico (1N) después de cuatro períodos de incubación de los suelos	227
29. Potasio obtenido en cuatro extracciones sucesivas con ácido nítrico (1N) y potasio extraído con ácido nítrico (1N) después de cuatro períodos de incubación de los subsuelos	228
30. Potasio obtenido en dos extracciones sucesivas con la solución de acetato de amonio y potasio extraído después de tres períodos de incubación de los suelos y subsuelos	236
31. Potasio obtenido en dos extracciones sucesivas con la solución Morgan y potasio extraído después de tres períodos de incubación de los suelos y subsuelos	237
32. Capacidad de fijación de potasio en 5 suelos y 5 subsuelos, bajo diferentes períodos y condiciones de incubación (tratamiento: 0 Kgs k/hā)	248
33. Capacidad de fijación de potasio en 5 suelos y 5 subsuelos, bajo diferentes períodos y condiciones de incubación (tratamiento: 50 kgs K/hā)	251
34. Capacidad de fijación de potasio en 5 suelos y 5 subsuelos, bajo diferentes períodos y condiciones de incubación (tratamiento 100 kgs K/ha).....	253
35. Capacidad de fijación de potasio en 5 suelos y 5 subsuelos bajo diferentes períodos y condiciones de incubación (tratamiento: 200 Kgs K/ha).....	254
36. Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo Margot en relación con el potasio aplicado a las muestras, bajo dos métodos y tres períodos de incubación	258



	Página
FIGURA 37. Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo CR-8 en relación con el potasio aplicado a las muestras, bajo dos métodos y tres períodos de incubación	261
38. Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo Birrisito en relación con el potasio aplicado a las muestras, bajo dos métodos y tres períodos de incubación	263
39. Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo CR-12 en relación con el potasio aplicado a las muestras, bajo dos métodos y tres períodos de incubación	265
40. Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo Colorado en relación con el potasio aplicado a las muestras, bajo dos métodos y tres períodos de incubación.....	267



INTRODUCCION

La caracterización de un elemento nutritivo, no solamente comprende la determinación de las formas bajo las cuales se encuentra ese elemento en el suelo, sino también las relaciones que existen entre esas formas, los factores que las afectan y el grado de disponibilidad para la planta, tanto de las formas nativas como de la forma adicionada al suelo como abono.

En el caso del elemento potasio, se ha encontrado que en algunos suelos tropicales, la aprovechabilidad de éste por las plantas ha sido muy variable (19, 59). Lo anterior y la falta de respuesta al abonamiento con potasio observada en algunos de estos suelos (20, 87), ha llevado a ciertos investigadores a estudiar las diferentes formas de potasio en varios suelos (61, 71, 100).

Con el fin de elucidar algunos aspectos del potasio en varios suelos y subsuelos de Costa Rica, se realizó el presente estudio sobre la caracterización del estado del potasio correspon

dientes a tres grandes grupos a saber: aluviales, andosoles y latosoles. Este estudio comprendió los siguientes aspectos:

1. Estudio de la forma de potasio intercambiable utilizando tres soluciones extractoras diferentes.
2. Evaluación de la capacidad de abastecimiento de potasio en estos suelos, haciendo uso de plantas y con un método de laboratorio.
3. Determinación de la respuesta de estos suelos y subsuelos al abonamiento con potasio, utilizando tomate como planta indicadora.
4. Estudio del efecto residual del abonamiento con potasio en estos suelos y subsuelos.
5. Estudio de las formas de potasio escalonado y potasio de tasa constante, extraídos con NH_4OH neutro normal y la relación entre ellos.
6. Estudio sobre la liberación de potasio no-intercambiable en muestras de suelos y subsuelos incubados en húmedo.
7. Evaluación de la capacidad de reposición del potasio inter

cambiable nativo, en muestras de suelos y subsuelos incubados en húmedo.

8. Determinación de la forma de potasio total en estos suelos y subsuelos.
9. Estudio sobre la fijación de potasio intercambiable nativo y del potasio aplicado en suelos y subsuelos incubados en húmedo y bajo ciclos húmedo-seco.

En la discusión de los resultados obtenidos, el autor trató de relacionar las diferentes formas de potasio, con el fin de obtener una mejor caracterización de este elemento en varios suelos y subsuelos Aluviales, Andosoles y Latosoles de Costa Rica. Además, se hizo un esfuerzo por calibrar los métodos de potasio intercambiable con los resultados de ensayos con macetas en el invernadero.

REVISION DE LITERATURA

La literatura sobre el elemento potasio en el suelo se puede decir que es inmensa, por los numerosos trabajos efectuados en muchos países, especialmente de la zona templada. En los de la zona tropical, los estudios que se han realizado son relativamente pocos.

Teniendo en cuenta lo anterior y habiendo sido realizado este estudio en tres grandes grupos de suelos característicos de la zona tropical, se procuró hacer la presente revisión de literatura en base a los estudios sobre el elemento potasio realizados en suelos latosoles, andosoles y aluviales en la zona tropical. Cabe notar que el autor ha incluido también algunos estudios realizados en zonas templadas, que debido a sus características básicas, merecieron especial atención.

A. Contenido de potasio en suelos tropicales

El potasio se encuentra en el suelo en grandes cantidades.

Tisdale y Nelson (104), anotan que la cantidad total de potasio presente en la corteza terrestre es de 2,4%. En los suelos, el contenido de potasio es muy variable y puede ir desde unos pocos kilogramos hasta unos 40,000 a 60,000 kilogramos por hectárea de capa arable de suelo (14).

La cantidad es en cierta forma dependiente del contenido de la roca madre, de la cual se origina el suelo; así Russell (88) anota que los suelos provenientes de rocas ácidas tal como el granito, tiene una mayor capacidad de suministro de potasio que los suelos provenientes de rocas ígneas básicas como el gabro. Sin embargo, lo anterior no siempre ocurre en los trópicos y como Lawton (51) anota, muchos de los suelos lateríticos de las zonas húmedas tropicales, ricos en arcilla y muy pobres en potasio, se formaron sobre rocas de contenido relativamente alto en minerales potásicos, tales como ortoclasa y micas. Venema (109) anota que en el tró - pico, numerosos suelos rojos lateríticos y ácidos provenientes de materiales volcánicos, tales como cenizas, son deficientes en potasio, debido a una intensa meteorización de sus materiales primarios y a una excesiva lixiviación de sus bases; así por ejemplo se han obtenido informes sobre pérdidas de 0,017 a 0,028% de K_2O en la formación de un suelo a partir de cenizas volcánicas en un clima cálido lluvioso, durante un período de 12 años (111). Lo anterior concuerda

con Schuffelen y Koenigs (94), cuando anotan que la meteorización química, hidrólisis y remoción de los productos solubles, dependen de la lixiviación y la temperatura, lo cual hace suponer que en las regiones húmedas calientes del trópico la remoción de los nutrimentos sea más rápida.

Si bien en muchas áreas tropicales se encuentran suelos muy meteorizados y pobres en potasio, también es cierto que hay otras áreas con suelos muy ricos en potasio, debido especialmente a que el material parental consiste de cenizas volcánicas y aluviones. La gran variedad de climas afecta también la velocidad de meteorización de los minerales potásicos y remoción de este elemento del suelo. Schaufelberger (92), refiriéndose a las aportaciones de nutrimentos por cenizas volcánicas, anota que las cenizas del volcán Santa María en Guatemala, correspondientes a la erupción de 1928, contenían 0,84% de K_2O (0,697 de K). También Sáenz (90) anota que las cenizas provenientes del volcán Irazú contienen 1,54% de potasio en tanto que las provenientes del volcán Poás contienen 0,48% de potasio.

De lo anterior se deduce que el contenido de potasio en los suelos tropicales es muy variable y puede presentar valores tan bajos como 0,11% en suelos latosólicos (1), hasta valores tan altos como 1,9% en algunos andosoles (71).

B. Origen del potasio en el suelo

Aparte del potasio que es agregado al suelo como fertilizante, todo lo demás proviene de los minerales potásicos que contienen las rocas del material parental y del suelo mismo. Entre los minerales potásicos más comunes que se encuentran en las rocas, están el feldespato ortoclasa $KAl Si_3O_8$ (14,8% de K_2O en promedio), el feldespato sanidina $KAl Si_3O_8$ (11,6% de K_2O), el feldespato leucita $K_2(Al_2 Si_2) O_8$ (19,38% de K_2O) mica biotita $K_2(Mg_4 Fe) Al (Al_3 Si_5 O_{20}) (OH)_4$ (6,96% de K_2O) mica muscovita $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ (9,02% de K_2O) (66).

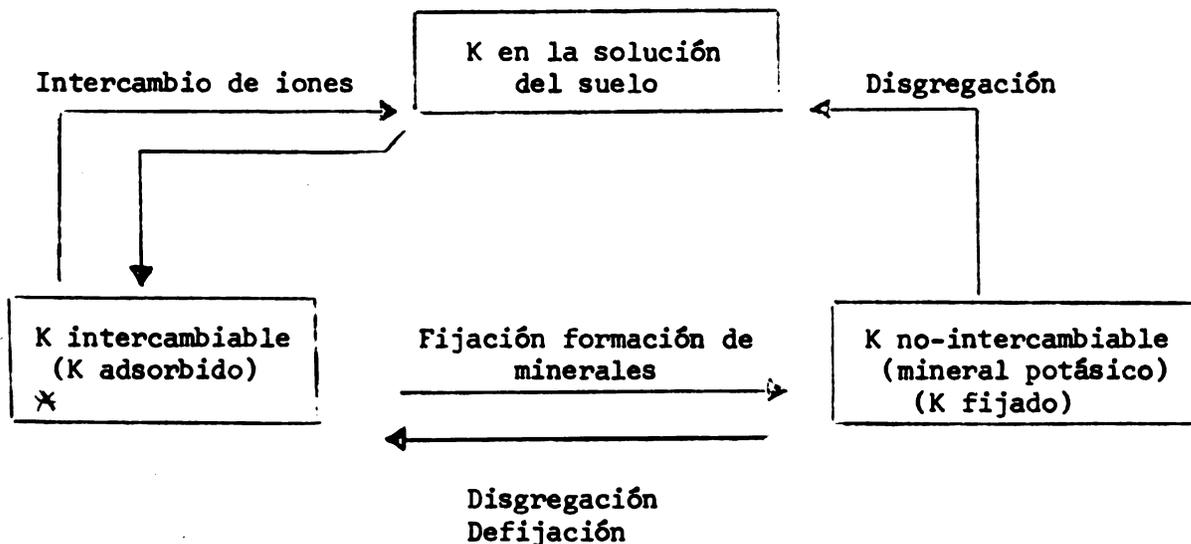
El potasio en estos minerales se encuentra formando parte de la estructura (64). Su aprovechabilidad por las plantas depende de la capacidad de liberación de potasio por parte del mineral. Esta capacidad de liberación es mayor en la biotita que en la muscovita y que en ortoclasa, ya que la biotita se altera más fácilmente que la muscovita y que la ortoclasa(5).

El potasio también se encuentra formando parte de la estructura de los minerales secundarios o minerales arcillosos, como la illita, que según Wiklander (116) es el único que contiene una cantidad importante de potasio, siendo éste del 4 al 5%. Este potasio es liberado durante la meteorización de la illita y su transformación en vermiculita y montmorillonita

(14). El potasio además se puede encontrar en los minerales arcillosos, illita, vermiculita y montmorillonita como potasio retenido entre las láminas de estas arcillas (104), pero éste último sucede como una especie de almacenamiento del potasio, previamente liberado.

C. Formas y equilibrio del potasio en el suelo

Del total de potasio contenido en el suelo, solamente una fracción está en forma de ser aprovechada rápidamente por las plantas. Esto ha conducido a determinar varias formas de potasio en el suelo, de acuerdo a su disponibilidad y aprovechamiento por las plantas (83, 100, 104, 116), como son: potasio en solución, potasio intercambiable, potasio no-intercambiable o estructural y potasio fijado. Stanton y Orchard (100) anotan que entre las cuatro formas de potasio no se puede decir que existe una marcada división exacta y las proporciones entre estas formas pueden variar de un suelo a otro. Se sabe también que estas formas se relacionan entre sí guardando cierto equilibrio, como lo representa Wiklander (117) en el siguiente esquema:



Reitemeier (83), refiriéndose a la condición de equilibrio entre las formas de potasio, anota que debido a que el potasio soluble es rápidamente utilizado por las plantas, su nivel tiende a bajar muy pronto aún en los suelos más fértiles, siendo reabastecido por el potasio intercambiable y éste a su vez por el potasio no-intercambiable (65).

Este movimiento de potasio es también reversible. Si se efectúa una aplicación de fertilizante potásico al suelo, la concentración del elemento en la solución aumenta y entonces se producirá un movimiento de cationes de potasio hacia la forma cambiante. Con el tiempo, especialmente si la adición de potasio ha sido alta, parte

del potasio intercambiable puede llegar a ser fijado (50). Debido a la condición de equilibrio, este potasio fijado puede ser aprovechado por las plantas más tarde al pasar a la forma intercambiable y de solución como lo esquematiza Wiklander(116).



La relación observada entre las formas de potasio se puede considerar como un equilibrio dinámico, ya que cualquier cambio de nivel en la cantidad de potasio en algunas de las formas repercute sobre las otras.

1. Potasio en solución:

Según Reitemeier (83), el potasio en solución es la cantidad de potasio disuelto en el agua del suelo a capacidad de campo y relativamente no sostenida por fuerzas del complejo intercambiable. Se estima que constituye el 10% del potasio fácilmente disponible para las plantas (14). Wiklander (116) anota que la cantidad, y mejor aún, la actividad del potasio soluble, depende de varios factores, tales como la cantidad de potasio intercambiable, tipo de arcilla y mineral potásico, intensidad de meteorización y lixiviación, clase y concentración de otros iones y humedad del suelo.

Datos suministrados por Vageler (107) de suelos tropicales en

regiones costeras muestran que esta forma de potasio constituyó del 0,5 al 1,0% del potasio intercambiable. En los mismos datos se encuentra que en algunos suelos áridos del 10 al 20% y en algunos casos hasta el 50% del potasio intercambiable en el suelo estaba constituido por el potasio en solución.

② Potasio intercambiable

El potasio intercambiable, según Garman (31), es el potasio sostenido electrostáticamente por el exceso de cargas negativas sobre la superficie de la fracción de arcilla o materia orgánica y puede ser reemplazado por otros cationes, sin alterarse la naturaleza del complejo de cambio. Se estima que este potasio constituye el 90% del potasio fácilmente disponible o aprovechable por la planta (14), y según Wiklander (116), es generalmente menor que el 1% de la cantidad de potasio total en los suelos minerales.

Se ha observado que los valores de potasio intercambiable han correlacionado muy bien con las cantidades de potasio extraídas por cosechas sucesivas de plantas (31, 74). De Freitas, McClung y Pimentel (30), trabajando con suelos del Brasil, encontraron que el potasio intercambiable del suelo estaba en relación directa con la "producción relativa". Se entiende

por producción relativa el valor que resulta al dividir la producción del tratamiento sin potasio por la del tratamiento con potasio y multiplicar este cociente por 100.

Stanton y Orchard (100) anotan que la determinación del potasio intercambiable en el suelo es hasta cierto punto relativa y empírica, ya que su valor dependerá de la naturaleza, pH, valor y concentración de la solución extractora y también de la naturaleza del complejo de cambio. Así, Bornemisza (11), trabajando con un suelo aluvial de Costa Rica, encontró que la solución de acetato de amonio extrajo mayores cantidades de potasio que la solución Morgan. Esto mismo fué encontrado por Martini (60) trabajando con suelos lateríticos, aluviales y andosoles o volcánicos de Panamá. A este respecto Blanchet y Perigaud (9), anotan que al usar la solución de acetato de amonio, los iones de amonio (NH_4^+) desplazan más fuertemente los de potasio (K^+) que los iones de sodio (Na^+) en la solución Morgan. Ellos observaron también que ésto es más importante en suelos arcillosos que en suelos arenosos, encontrando que en los suelos arcillosos la solución de acetato de amonio extrajo más potasio que la solución Morgan, en tanto que en los suelos arenosos las cantidades de potasio intercambiables extraídas por ambas soluciones fueron más o menos iguales.

Nelson (72) encontró que los valores de potasio intercambia -

bles determinados con acetato de amonio pH:7,0, presentaron la mayor correlación con las cantidades de potasio absorbidas por plantas de girasol en el invernadero y consideró que es el mejor índice para medir el suministro de potasio a las plantas en los suelos del sureste de los Estados Unidos. Bravo (13), trabajando con suelos volcánicos y lateríticos de Costa Rica, encontró que el método de extracción de potasio usando el acetato de amonio fué el más recomendable para obtener el índice del poder de suministro de potasio de estos suelos. También León (54), trabajando con varios suelos de Colombia, encontró que la solución de acetato de amonio 1 N pH:7,0 extrajo mayores cantidades de potasio intercambiable que la solución de Carolina del Norte ($\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,025\text{N}$), excepto en un suelo cuya textura era arcillosa.

Martini (60), trabajando con suelos lateríticos, aluviales y volcánicos de Panamá, anota que los valores de potasio intercambiable encontrados tanto con la solución de acetato de amonio como con la solución Morgan, fueron altos, pero los suelos menos meteorizados presentaron mayores valores que los más meteorizados. Para los suelos lateríticos, este valor fué de 40 y 118 Kg/ha; para los suelos aluviales de 148 y 325 Kg/ha, y para los suelos volcánicos de 228 y 675 Kg/ha. Chang y Feng (17), trabajando con suelos lateríticos y aluviales de Formosa, encontraron que los contenidos de potasio intercam -

biables eran relativamente bajos y muy variables dentro de cada gran grupo. Jones (47), trabajando con suelos de Panamá, encontró que el potasio intercambiable en suelos negros andosólicos fué de 0,08 a 0,087 me/100 g de suelo; en los suelos aluviales fué de 0,24 a 0,42 me/100 g de suelo y en los latosólicos y de sabana, fué de 0,04 a 0,17 me/100 g de suelo. Moss y Coulter (71), trabajando con suelos de origen volcánico y latosólicos, no encontraron ninguna relación entre el potasio intercambiable y la clase de suelo, variando los valores de 0,07 a 0,087 me/100 g de suelo. Kee (48), trabajando con suelos de Malaya, encontró que los residuales presentaron valores de potasio intercambiable mayores que los suelos aluviales, pero que éstos en general fueron muy bajos.

Sobre el contenido de potasio intercambiable en suelos lateríticos, Sen, Deb y Bose (97), trabajando con suelos de la India, encontraron valores que variaron desde 16 hasta 333 ppm de potasio, y anotan que los valores más bajos de potasio intercambiable se debieron a las condiciones de lixiviación y laterización excesivas en las áreas húmedas de los trópicos. Datos presentados por Venema (110), sobre suelos rojos lateríticos del oeste de Java, muestran que el valor promedio del potasio intercambiable fué de 0,3 me/100 g de suelo (234 Kg de K/ha) y considera que estos suelos eran deficientes en potasio. También Moormann y Panabokke (67) en

contraron que en algunos suelos latosólicos marrón-rojizo de Ceylán, los valores de potasio intercambiables variaron de 0,19 a 0,38 me/100 g de suelo. Kellog y Davol (49) presen - tan valores de potasio intercambiables para un grupo de sue - los lateríticos de Africa que varían desde 0,1 a 1,9 me/100 g de suelo.

En suelos de Suramérica, Hardy (38) en Brasil, encontró en un suelo latosólico negro-rojizo y deficiente en potasio, va lores de potasio intercambiables que variaron de 0,13 a 0,28 miligramos de potasio/100 g de suelo. Este mismo autor (39) refiriéndose a dos suelos latosólicos del Ecuador, presenta datos de potasio intercambiables de 414 ppm de K_2O y 350 ppm de K_2O . El anota que estos valores altos de potasio inter - cambiabile eran posibles debido a que estos suelos estaban formados de arenas y cenizas volcánicas, encontrándose aún en los suelos ciertas cantidades de minerales primarios ta - les como feldespatos potásicos, biotita y muscovita y mínera les secundarios. Bornemisza (10), en un estudio sobre sue -
x los de Costa Rica, encontró que los valores de potasio inter cambiiables en suelos latosólicos fueron muy variables, obser - vando que el 61% de las muestras de suelos de la serie Gre - cia y el 71% de las muestras de suelos de la serie Alajuela , contenían entre 200 y 400 kgs de potasio/ha. Encontró tam - bién que en los suelos lateríticos de la región de San Isidro

el 48% de las muestras presentaron valores entre 100 y 200 Kg de potasio/ha y otro 48% presentó valores entre 300 y 500 Kg de potasio/ha.

En relación con los niveles de potasio intercambiable encontrados en suelos aluviales en el trópico, también se observa una gran variación. Rojas (87), en un estudio con algunos suelos aluviales de Colombia, encontró que los valores variaron de 0,27 a 1,5 me/100 g de suelo, siendo las respuestas de estos suelos al abonamiento potásico también muy variables. González (33), trabajando también con varios suelos aluvia - les de Colombia, encontró valores de potasio intercambiables desde 0,14 hasta 0,85 me/100 g de suelo y en este mismo país Schaufelberger (92) encontró valores para suelos de este gru po que variaron desde 103 hasta 862 Kgs de potasio/ha. Kee (48), trabajando con suelos aluviales de Malaya, encontró valores de potasio intercambiable catalogados como muy bajos , los cuales variaron desde 0,12 a 0,40 me/100 g de suelo. Dros doff y Pearson (27), trabajando con suelos aluviales de Pana má, Costa Rica, Guatemala y Honduras, encontraron valores tan bajos como 0,07 me de potasio/100 g de suelo y tan altos como 2,95 me de potasio/100 g de suelo. Ramírez (82), traba jando con suelos aluviales de Colombia y utilizando la solu ción extractora de acetato de amonio, encontró valores de po tasio intercambiable tan bajos como 0,02 me/100 g de suelo.

refiriéndose a los suelos volcánicos, Parra (73) anota que en algunos suelos del Quindío, Colombia, los valores de potasio intercambiable encontrados, variaron desde 0,16 hasta 1,65 me/100 g de suelo. También León y Sanchez (54), en un estudio de fertilidad con muestras de suelos volcánicos de Popayán, Colombia, encontraron que el potasio intercambiable varió de 0,75 a 1,44 me/100 g de suelo, y López (55), trabajando con suelos volcánicos de este mismo país, encontró que el nivel del potasio intercambiable en un suelo considerado como fértil, fué de 0,86 me/100 g de suelo.

* En Costa Rica, Bornemisza (10) anota que los valores de potasio intercambiable encontrados en algunos suelos volcánicos, son muy variables y así informa que el 54% de las muestras de suelos volcánicos de la meseta oriental, en las faldas del maciso Irazú-Turrialba y el 58% de las muestras de suelos pardos-amarillentos de cenizas y arenas volcánicas de la serie Arenón-Poasito, presentaron valores medianos de 200 a 400 kg de potasio/ha. Sobre los suelos volcánicos de este país, Sáenz (90) anota que el nivel de potasio intercambiable siempre resulta mayor en los amplios mantos de arenas y cenizas volcánicas de la meseta central de Costa Rica, siendo 0,45 me/100 g de suelo un valor promedio para los mejores suelos.

Los valores de potasio intercambiable en los suelos tropica -

les no sólo varían de un grupo a otro y dentro de los mismos grupos, sino también con la profundidad en el perfil del suelo. Así, Chang y Feng (17), trabajando con suelos lateríticos y aluviales de Formosa, encontraron que en general el contenido de potasio intercambiable en los suelos fué mayor que en los subsuelos, siendo los promedios de 50 y 80 ppm de K para los suelos y de 30 y 60 ppm de potasio para los subsuelos. A este respecto, Kee (48) también encontró en algunos suelos aluviales de Malaya que mientras los valores de potasio intercambiable en la capa de 0 a 7,5 cms fluctuaron de 0,12 a 0,40 me/100 g de suelo, en la capa de 30,5 a 61 cms fluctuaron entre 0,08 y 0,13 me/100 g de suelo. Arnot (3) en este mismo país y en un suelo también aluvial, encontró que el potasio intercambiable decreció con la profundidad en el perfil, siendo estos de 51 ppm de potasio para la capa de 0 a 2,5 cm; 22 ppm para la capa de 2,5 a 7,0 cms y 4 ppm de potasio para la capa de 7 a 35 cms.

En Colombia, en un estudio sobre algunos suelos residuales y aluviales, hecho por Silva (99), se encontró que los niveles de potasio intercambiable fueron más altos en los suelos que en los subsuelos. Esta misma relación fué encontrada por Schaufelberger (92) y Moreno (68) en algunos suelos aluviales de Colombia.

En suelos latosólicos, mientras Kellog y Davol⁽⁴⁹⁾ en el Con-

go Belga y Rico (85) en El Salvador, observaron que el nivel de potasio intercambiable disminuye con la profundidad del perfil, Venema (112) en Sumatra y Hardy (39) en Costa Rica, observaron lo contrario. Así mismo, para un suelo volcánico López (56) observó que el nivel de potasio intercambiable en el suelo fué menor que el encontrado en el subsuelo.

⊗ Scheffer y Schachtschabel (93) relacionan el nivel del potasio intercambiable en suelos no fertilizados con la textura y anotan que en suelos arenosos, el nivel es generalmente inferior a 10 mg de potasio/100 g de suelo, en tanto que en los arcillosos puede alcanzar 50 mg/100 g de suelo, dependiendo ésto en gran parte de la mineralogía. Wiklander (116) al referirse a los contenidos de potasio intercambiable en suelos arenosos, anota que estos muestran valores menores que los suelos pesados, debido a una meteorización menor. En este punto, Grisales (35), en un estudio en Colombia sobre dos series de suelos de origen volcánico, encontró que los derivados de rocas básicas y con mayor contenido de arcilla, presentaron valores de potasio intercambiables más altos que aquellos derivados de rocas ácidas.

Se ha encontrado que los valores de potasio intercambiable en el suelo varían de acuerdo al contenido de humedad; así Hanway y Scott (31) encontraron que el secamiento al aire libre

de muestras de suelos y subsuelos, causó un aumento del potasio intercambiable en éstas, siendo este aumento mayor en las muestras del subsuelo. Scott, Hanway y Stickney (95) comprobaron ésto mismo, encontrando que el aumento fué observado en suelos con bajos contenidos de esta forma y que el incremento fué mayor cuando el secado se hizo en muestras con contenidos de humedad menores que el 5%. Luebs (57) también observó este fenómeno y agrega que cuando la pérdida de humedad ocurre en muestras cuyos contenidos de humedad son superiores al 10%, no se presenta ningún efecto de incremento del potasio intercambiable.

La relación entre la humedad del suelo y el nivel de potasio intercambiable, tanto en el suelo como en el subsuelo, sugiere que en los suelos tropicales estos valores dependerán hasta cierto punto tanto de las condiciones de sequía como de la cantidad de lluvia durante el año. Las respuestas al abonamiento también serán afectadas por las condiciones climáticas. A este respecto, Hogg (43), refiriéndose a suelos de Nueva Zelandia, anota que en aquellos que reciben precipitaciones menores de 1.143 mm al año, los pequeños valores de potasio intercambiable no pueden servir para determinar la respuesta de los suelos al abonamiento con potasio.

Suárez (101), en un estudio hecho en suelos de Colombia, en-

contró que la quema, práctica agrícola muy común en América Latina, produjo aumentos en los valores de potasio intercambiable en la capa arable del suelo hasta de una magnitud de 312 Kg/ha de potasio.

Sobre el valor del contenido de potasio intercambiable del suelo, hay que anotar que al reducirse en una o varias cosechas sucesivas, éste no se agota totalmente, sino que alcanza un valor mínimo (83, 100, 59), el cual es característico para cada suelo. Wiklander (116) anota que la magnitud de ese nivel mínimo de potasio intercambiable en suelos bajo cosechas, depende de la naturaleza del suelo y del equilibrio entre las diferentes formas de potasio.

En relación con la capacidad de abastecimiento de potasio intercambiable en el suelo, Rojas (87), trabajando con suelos aluviales de Colombia, observó que en algunos el contenido de potasio intercambiable sufrió un agotamiento en muy corto tiempo. Marín, McClung y Luega (59), en su estudio sobre la capacidad de suministro de potasio en varios suelos de Colombia, anotan que el potasio intercambiable es la fuente inmediata de la mayor parte del potasio para los cultivos de rápido crecimiento y los rendimientos altos se obtienen cuando el suelo posee un contenido de potasio superior a su nivel crítico.

Stanton y Orchard (100) encontraron que en algunos suelos de Natal, este nivel crítico para el suministro normal de potasio a las plantas se presentó en valores menores de 0,3 me de potasio/100 g de suelo. Venema (110) también en contró que suelos rojos y lateríticos del oeste de Java , con valores de 0,3 me de potasio/100 g de suelo, eran defi cientes en potasio y respondían a su aplicación. Ahmad (2), trabajando con suelos de origen aluvial de la Guayana Británica, encontró que aquellos cuyo contenido de potasio intercambiable fueron menores que 0,3 me/100 g de suelo, res pondieron a la fertilización con potasio y consideró este valor como nivel crítico.

3. Potasio no-intercambiable o estructural:

El potasio estructural es la fracción que corresponde al po tasio que se encuentra combinado en la estructura de los mi nerales primarios y secundarios poco o no meteorizados (31). Se estima que la cantidad de potasio no-intercambiable cons tituye del 90 al 98% del total del potasio en los suelos mi nerales (14). Esta forma de potasio, que constituye la reser va de potasio en el suelo, se obtiene por diferencia entre el potasio total extraído con la solución de ácido sulfúrico ($\text{HF-H}_2\text{SO}_4$) y el potasio intercambiable (93, 100).

Diversos ensayos realizados en macetas y en el campo han de mostrado que las plantas absorben parte de ese potasio no-intercambiable durante un período de crecimiento (8, 78, 79, 100). Martini (60) y otros han considerado dos categorías de potasio no-intercambiable de acuerdo a su aprovechabilidad:

- a) El potasio no-intercambiable fácilmente disponible a las plantas, o potasio no-intercambiable disponible para las plantas a corto plazo.
- b) El potasio no-intercambiable disponible a largo plazo , o potasio no disponible a las plantas durante un período de crecimiento.

En diversos estudios (36, 100, 103) se han encontrado que existe cierta correlación entre el potasio extraído con una solución de ácido nítrico 1 N por ebullición y el potasio no-intercambiable absorbido por la planta. A este respecto, Williams y Jenny (118) anotan que la mayor parte del potasio extraído con soluciones de pH 3,0 a 7,0 pertenece a la forma intercambiable, mientras que en el potasio extraído con soluciones extractoras de pH menor que 3,0 incluye una gran cantidad de potasio de la forma no-intercambiable.

Pratt (78), Stanton y Orchard (100) y Martini (61) encontra-

ron que las cantidades de potasio extraídas con ácido nítrico 1 N por ebullición disminuyeron con el aumento de extracciones sucesivas y denominaron estos valores como potasio escalonado. Martini (60) encontró también que después de cierto número de extracciones sucesivas de potasio con esta solución de ácido nítrico 1 N por ebullición, se obtuvo un valor constante de potasio extraído que Haylock (42) denominó como potasio de tasa constante.

Pratt (78), trabajando con suelos de Iowa, E.U.A., encontró que la cantidad de potasio no-intercambiable extraída con la solución de ácido nítrico 1 N fué alrededor del 2 al 4% del potasio total del suelo. Pearson (74), trabajando con suelos altamente meteorizados y lixiviados de la región húmeda del sur de los Estados Unidos, no encontró ninguna relación entre la capacidad de estos suelos para liberar potasio no-intercambiable y el contenido de potasio estructural del suelo.

Martini (61), trabajando con suelos tropicales de Panamá, encontró que los menos meteorizados presentaron valores de potasio escalonado total mayores que aquellos más meteorizados, siendo estos valores para los suelos aluviales de 600 a 1050 Kg de potasio/ha; para los suelos volcánicos de 330 y 500 Kg de potasio/ha, y para los suelos lateríticos de 50 y 270 Kg

de potasio/ha. También Tinkell y López (103), trabajando con suelos de Venezuela, encontraron que los valores de potasio extraído con ácido nítrico 1 N por ebullición fueron mayores para los suelos aluviales que para los lateríticos. Kee (48), al encontrar que la cantidad de potasio escalonado era bastante baja, tanto en los suelos aluviales como en los residuales, anotó que estos valores indicaban un estado avanzado de meteorización.

Stanton y Orchard (100) anotan que en suelos con bajos contenidos de potasio intercambiable, el nivel del potasio escalonado determinará si el suelo requiere o no fertilizante y agregan que en algunos suelos de Natal los niveles de potasio intercambiable son menores que 0,3 me/100 g de suelo y están asociados a valores de potasio escalonado muy bajos. Por otra parte, Piedrahita y Benavides (76), trabajando con suelos aluviales de Colombia, observaron en aquellos con valores de potasio intercambiables muy bajos una capacidad de liberación de potasio no-intercambiable muy alta. A este respecto, Marín, McClung y Luenga (59), en un estudio sobre potasio en suelos de Colombia, anotan que no sólo es preciso conocer el nivel crítico de potasio intercambiable en el suelo, sino también la capacidad de reposición de potasio intercambiable por el potasio no-intercambiable.

Como ya se ha indicado, el secamiento del suelo promueve un aumento en los niveles de potasio intercambiable, lo cual ha sido observado también como una liberación del potasio no - intercambiable. Sutton y Seay (102) observaron que el secamiento al aire de muestras de suelos, promovió una liberación del potasio no-intercambiable, y Jones et al (47) encontraron que en suelos de Ohio, las cantidades de potasio liberado por el efecto del secamiento del suelo, variaron desde 25 a 100 lbs de potasio por acre, de acuerdo al tipo de suelo. Sobre este fenómeno, Hanway y Scott (31) encontraron también que muestras de suelos provenientes de un mismo material parental y seguramente con los mismos minerales arcillosos, liberaron diferentes cantidades de potasio no-intercambiable cuando fueron sometidas a secamiento al aire libre.

Además de la pérdida de humedad, Burns y Barber (15) observaron también que el aumento de la temperatura en muestras de suelos favoreció una liberación de potasio no intercambiable. También Jonas (46), trabajando con suelos de Panamá encontró que el total de potasio extraído con ácido nítrico 1 N a los tres meses de incubación, fué superior a las muestras incubadas con ciclos de secado al aire que en las muestras mantenidas en húmedo, pero también anota que esta diferencia no se presentó a los cinco meses de incubación.

Lo anterior sugiere que para los suelos tropicales donde se presenta, tanto secamiento como aumentos de temperatura, pueden ocurrir liberaciones de potasio no-intercambiable.

Pratt (79) anota que la disponibilidad del potasio no-intercambiable depende en gran parte del tamaño de la partícula mineral que lo contiene, encontrando en algunos suelos de Iowa que los mayores porcentajes de potasio soluble en ácido nítrico 1 N se obtuvieron de las partículas menores de 0,2 (micrones). Este porcentaje fué menor con el aumento en el tamaño de las partículas. Lo anterior es también afirmado por Wiklander (116), quien anota que la fracción coloidal del suelo (partículas menores de 0,2 micrones) generalmente contiene los minerales arcillosos más estables y en los suelos ricos en minerales potásicos se observó una gran capacidad para suministrar potasio estructural o laminar por la meteorización. Moss y Coulter (71), trabajando con suelos volcánicos tropicales, anota que no encontró ninguna correlación entre el contenido de arcilla y los valores de potasio escalonado.

Lo anterior sugiere que la liberación de potasio no-intercambiable es en parte dependiente del grado de meteorización del mineral potásico del suelo. A este respecto Martini (61) anota que es posible que el potasio extraído con ácido nítrico

co y denominado potasio escalonado, sea una indicación del grado de meteorización del mineral potásico presente en el suelo.

En cuanto al potasio de tasa constante, Martini (61) indica que ésto es una expresión de la clase mineral potásica predominante en el suelo y encontró en suelos de Panamá, valores de 20 y 40 Kg/ha para los suelos lateríticos, de 60 y 120 para suelos aluviales y de 70 y 120 Kg/ha para los suelos volcánicos.

D. Fijación de potasio

Se considera, fijación del potasio en el suelo, el proceso por el cual el potasio intercambiable pasa a la forma de no-intercambiable, debido a la migración de los iones de potasio hacia el retículo o malla cristalina de los minerales arcillosos parecidos a la mica (ilita, vermiculita) en donde se aglomerarán en los espacios vacíos interlaminares ocupados originalmente por iones de potasio (116). Este proceso de fijación es relativamente rápido y conlleva la contracción de las partes de las rejillas afectadas por la ocupación de los iones de potasio fijado (116).

Wiklander (116) define el potasio fijado como el potasio agre

gado firmemente sostenido por el complejo cambiante y que no es fácilmente reemplazable con sales neutras, siendo a menudo incluido con el potasio estructural en la categoría de potasio no-intercambiable.

La capacidad de fijación de un suelo está afectada por diversos factores tales como: naturaleza e importancia del complejo cambiante, pH, contenido de sustancias inhibitoras como materia orgánica, óxidos de hierro y de aluminio (93), el secamiento del suelo o grado de humedad del suelo, la concentración de potasio aplicado y la influencia de otros iones (116).

Al considerar el proceso de fijación del potasio, los otros contenidos de minerales del tipo 2:1 tales como ilita, vermiculita y montmorillonita, así como el estado de esos minerales son muy importantes (116, 117). A este respecto, Russell (88) anota que si los procesos de formación del suelo conducen a la formación de minerales del tipo ilita, el suelo tiene una capacidad de conservar el potasio por fijación y retención.

Se ha observado que la vermiculita y la montmorillonita pueden ser responsables de la fijación del K en el suelo; así Dowdy y Hutchenson (26), trabajando con suelos de Kentucky, en

contraron que la fijación de potasio en el suelo ocurrió en las arcillas vermiculitas y montmorillonitas. También Demumbrum (22), trabajando con suelos arcillosos de Mississippi, encontró que la capacidad de estos suelos para fijar potasio se debía principalmente al contenido de vermiculita.

Barshad (7), al referirse a la vermiculita como agente de fijación de potasio en el suelo, anota que en la formación de vermiculita a partir de las micas, ocurre una sustitución del potasio interlaminar por magnesio o calcio, causando una expansión interlaminar e hidratación característica de la vermiculita. Cuando se nuevo hay un reemplazo de ese magnesio y calcio por potasio en el espacio interlaminar, la estructura cristalina vuelve a ser esencialmente idéntica a la mica potásica contraída y no expandible. También se ha encontrado que en la vermiculita la adsorción decrece con el aumento del tamaño de las partículas y con el aumento en el grado de cristalización (6).

La fijación de potasio por estos minerales arcillosos ha sido observada también en suelos tropicales. Así Acquaye, MacLean y Rice (1), trabajando con suelos tropicales de Ghana, encontraron que los suelos con mayor contenido de minerales arcillosos de tipo 2:1 (ilita, vermiculita y montmorillonita), fijaron las mayores cantidades de potasio.

El valor del pH del suelo posee cierto significado en la fi ja ci ón del potasio en el suelo. Wiklander (116) anota que una disminución del pH reduce la fijación de potasio en el suelo y explica que ésto sería efecto de una competencia en tre el ion H_3O^+ ($H^+ + H_2O$), de tamaño similar al ion potasio (K^+) y éste para ocupar las posiciones cambiables en el espacio interlaminar. Por otra parte, anota que una acidez muy alta puede promover una destrucción de la superficie la mi nar.

⊗ Weir (114), trabajando con suelos de Trinidad, encontró una correlación muy significativa entre el pH y la fijación de potasio y anota que los suelos de pH más altos fijaron más potasio que los demás. A ésto Scheffer y Schachtschabel (93) anotan que al aumentar el pH en los suelos ácidos hay una fijación mayor de potasio y explican que posiblemente se debe a una precipitación de los iones aluminio adsorbidos de tal manera que los lugares de intercambio se hacen accesibles a los iones de potasio.

Por otra parte, Scott, Ahlrichs y Stanford (95) anotan que en medio neutro, ciertos precipitados de aluminio disminuyen la fijación de potasio y la presencia de un precipitado de aluminio entre las láminas puede reducir mecánicamente la capacidad de fijación de potasio, impidiendo la contrac-

ción de las láminas y obstruyendo los sitios donde tienen lugar los intercambios.

Se ha encontrado además que la materia orgánica puede afectar la fijación de potasio en el suelo; así Mortland (69), trabajando con varios compuestos orgánicos y la arcilla vermiculita, encontró que esta última presentó una ligera expansión entre sus láminas con la presencia de algunos compuestos orgánicos, los cuales inhibieron la entrada de los iones de potasio a los espacios interlaminares y por lo tanto, redujeron la fijación de potasio. También Rich y Black (84) anotan que cierta clase de materia orgánica, así como también los hidróxidos de aluminio y de hierro, evitan la fijación de potasio al bloquear la entrada entre las láminas de los minerales arcillosos de tipo 2:1. Este efecto de la materia orgánica es también explicado por Scheffer y Schachtschabel (93) cuando anotan que la fijación puede ser disminuída por compuestos orgánicos de pesos moleculares bajos, los cuales se fijan en los espacios interlaminares o son absorbidos sobre las superficies laterales taponeando los espacios interlaminares.

La presencia de ciertos iones afecta también la fijación de potasio; así Wiklander (116) anota que se ha observado que la concentración de iones de amonio (NH_4) causa una disminución

en la fijación de potasio, en tanto que las concentraciones de sodio, magnesio, calcio y bario promueven la fijación. A este respecto, Welch y Scott (115) encontraron que al aplicar amonio al suelo y posteriormente potasio, la fijación de este último fué inhibida. Este fenómeno es explicado por Aslander y Armolick(4), quienes, al observar un aumento en la aprovechabilidad del potasio aplicado, causado por una previa aplicación de materia orgánica al suelo, anotan que la parte del amonio (NH_4) desprendido durante la humificación, ocupó los sitios de fijación y evitó así la retención de potasio. Esto es posible también si se tienen en cuenta que los radios iónicos del ion amonio ($1,43 \text{ \AA}$) y del ion potasio ($1,33 \text{ \AA}$) son similares (65).

Wiklander (116) anota que el encalamiento del suelo previamente a una aplicación de potasio, favorece su fijación, debido al aumento del pH y al previo reemplazo del potasio interlaminar que aumenta la distancia entre las láminas. Tucker (105), estudiando el fenómeno del potasio en suelos ilíticos en Australia, encontró que el potasio interlaminar puede ser liberado a la solución por una reacción de desplazamiento que podía ser efectuada por iones calcio, siempre y cuando el hidrógeno en forma de H_3O^+ hubiese antes desplazado el potasio interlaminar, permitiendo una separación de las láminas de arcilla. Por otra parte, también Rich y Black (84) ano-

tan que un taponamiento de la entrada al espacio interlaminar, causado por cationes como calcio y magnesio cuando las micas se hidratan, pueden evitar la fijación de potasio.

Scott, Hanway y Stickney (96) encontraron que el grado de humedad en el suelo influyó y afectó la fijación de potasio en muestras de suelo que habían recibido cloruro de potasio en solución. Sobre esto, Grissinger y Jeffries (36) anotan que el secamiento de las muestras de suelo abundantes en arcillas del tipo ilita, causa un incremento en la fijación de potasio. Demumbrum (22), trabajando con suelos arcillosos con abundante vermiculita, anota que la fijación de potasio ocurrió bajo condiciones húmedas y también se intensificó con el secamiento del suelo.

Dowdy y Hutchenson (26) observaron que la fijación también depende de la composición de las arcillas minerales del suelo, ocurriendo ésta en la vermiculita cuando el suelo contiene aún una humedad mayor del 4% y en la montmorillonita, cuando el porcentaje de humedad es menor del 4%. Así mismo, Van der Marel y Venekamp (58) en un estudio sobre fijación de potasio en suelos de Holanda y con muestras incubadas, encontraron que la fijación en húmedo disminuye de manera más acentuada que la fijación en seco y aducen esta diferencia al tipo de arcilla en el suelo. También Weir (114), traba -

jando con suelos de Trinidad, encontró que la mayor fijación de potasio aplicado ocurrió en las muestras incubadas en húmedo por un período de 6 meses y sugiere que ésto se debió posiblemente a la presencia del mineral arcilloso vermiculita.

Sobre el efecto del secamiento en la fijación de Potasio, Cook y Hutchenson (21), trabajando con suelos de Kentucky, encontraron que el secamiento del suelo causó una fijación de potasio cuando el contenido de potasio intercambiable en la muestra a capacidad de campo, era alto. También Dowdy y Hutchenson (26) encontraron que el secamiento de la muestra causó una fijación de potasio cuando el contenido de potasio intercambiable en las muestras húmedas era mayor que 0,45 me/100 g de suelo.

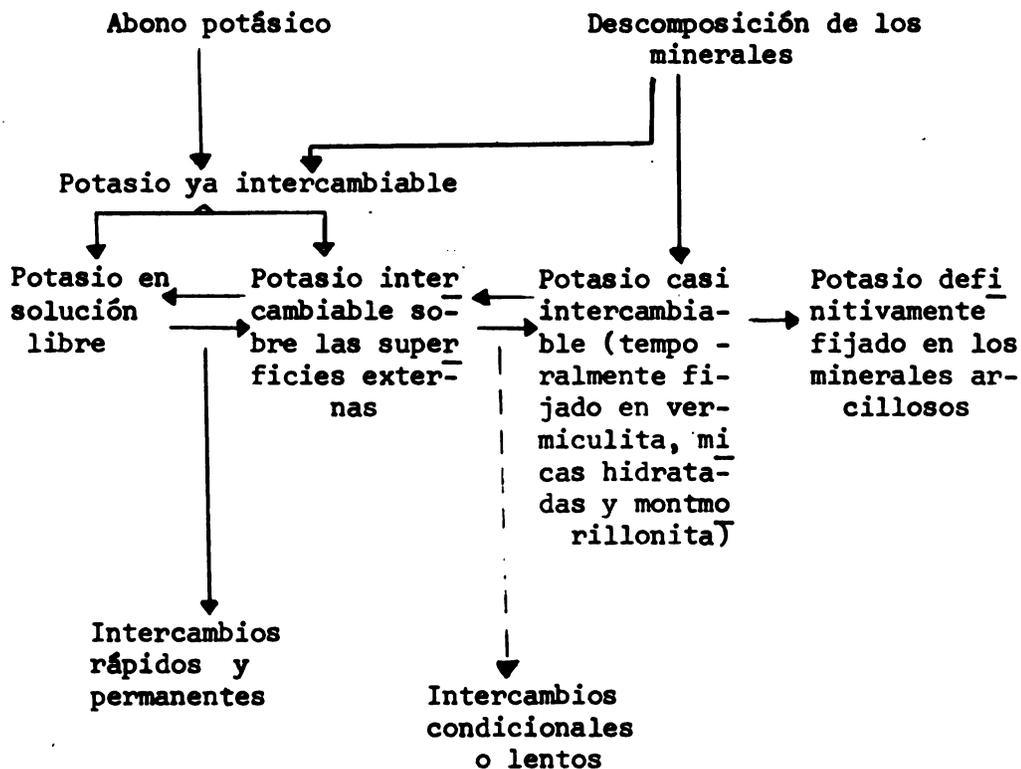
Wiklander (117) anota que la capacidad de fijación de potasio en forma no-intercambiable puede ser altamente dependiente de la concentración del potasio aplicado. Finck(29) encontró que para un suelo del Sudán, la fijación fué prácticamente nula en aplicaciones de 0,1 mg de potasio/100 g de suelo y Kee (48), trabajando con suelos aluviales de Malaya, encontró que en la mayoría de éstos la fijación de potasio aumentó directamente con la concentración del potasio aplicado a niveles superiores de 160 mgs de potasio/100 g suelo.

Feng y Chang (28), trabajando con suelos lateríticos y aluviales de tierras bajas, Taiwan, encontraron que en los suelos ilíticos calcáreos, cuando la aplicación de potasio al suelo sobrepasa los 400 ppm de potasio, la inundación y el secamiento alternos del suelo casi dobla la cantidad de potasio fijado. Ellos agregan que con un grado moderado de fertilización potésica, las diferentes condiciones de humedad no tienen mayor influencia en la fijación del potasio. Godefroy y Muller (32), trabajando con suelos de arcillas ricas en caolinita en la Costa de Marfil, encontraron que en la aplicación de potasio a niveles inferiores de 0,5 me/100 g de suelo, casi no se observó fijación en ningún tipo de suelo, pero la cantidad de potasio fijado aumentó con niveles crecientes de potasio aplicado.

En relación con la aprovechabilidad del potasio fijado, Wiklander (116) anota que éste puede ser absorbido por las plantas cuando ocurre la defijación del potasio, y agrega que esta defijación es mayor en el campo que en el laboratorio, ya que el contenido de potasio soluble y el intercambiable se mantienen bajos por la absorción de las plantas y la lixiviación por las aguas de lluvia. Mortland, Lawton y Uehara (70) encontraron que el potasio fijado tanto por vermiculita como por montmorillonita es fácilmente aprovechable por la planta.

El proceso de defijación es prácticamente una reversión de la

fijación y ocurre como una reacción de equilibrio entre las formas de potasio soluble, intercambiable y fijado, pero la defijación es un proceso muy lento, debido a la fuerte contracción de las latices entre las cuales se encuentra el potasio fijado (117). Siendo la defijación un proceso reversible de la fijación, se puede decir que casi todos los factores que afectan la fijación afectan por lo tanto a la defijación. En cuanto al equilibrio entre las formas de potasio fijado, intercambiable y soluble, es esquematizado por Barbier (5) en el siguiente gráfico:



Wiklander (116) anota que si bien los minerales arcillosos del

tipo illita son agentes fijadores de potasio en el suelo, la caolinita y la materia orgánica no lo son. Con respecto a ésto, Pearson (74), trabajando con suelos muy meteorizados y lixiviados de la región húmeda del sur de los Estados Unidos encontró que los suelos cuya arcilla contenía montmorillonita, presentaron una fijación mayor del potasio aplicado que aquellos cuya arcilla era del tipo de la caolinita.

Esta diferencia de fijación de potasio ha sido observada también en algunos suelos tropicales; así Godefroy y Muller (32) trabajando con suelos de la Costa de Marfil, aducen que la casi ausencia de fijación de potasio aplicado en estos suelos se debe a la naturaleza de la arcilla, en la cual predomina la caolinita. También Kee (48), trabajando con suelos aluviales y residuales de Malaya, encontró que la baja capacidad de fijación de potasio en los suelos arcillosos se debía a su mayor contenido de caolinita en la fracción arcilla.

⊗ Es así que la intensidad de fijación de potasio en los suelos tropicales dependerá también del grado de riqueza en minerales arcillosos de tipo 2:1 como de los otros factores anteriormente discutidos.

En cuanto a la intensidad de fijación de potasio en algunos suelos tropicales, (Chaves (19) encontró en un suelo de Colom -

bia, que la fijación en 1.000 Kg de potasio/ha aplicado, fué de un 6% y agrega que esta pequeña fijación se debe a un gran contenido de caolinita. Acquaye, MacLean y Rice (1), trabajando con suelos de Ghana, encontró que los suelos lateríticos presentaron los menores valores de fijación de potasio aplicado, fluctuando éstos entre 0,22 y 0,34 me/100 g de suelo. Rajani (81) también observó que en un suelo laterítico de la India se presentó una fijación del 70% del potasio aplicado a niveles bajos, y presentó valores de fijación constantes del 40% del potasio aplicado; así mismo, encontró que en un suelo aluvial de arcilla predominantemente ilítica, la cantidad de potasio fijado fué de casi un 90% del potasio aplicado a niveles bajos y presentó una fijación constante del 50% del potasio aplicado a niveles altos.

Tincknell y Lopez (103) encontraron en suelos de Venezuela, que los lateríticos fijaron un porcentaje menor del potasio aplicado que los aluviales, y Ahmad (2), trabajando con suelos de la Guayana Británica, encontró que la fijación fue menor en los suelos aluviales más viejos y más lixiviados. En Costa Rica, Bornemisza (11), trabajando con un suelo aluvial encontró que la fijación de potasio en el suelo, causada por secamiento de la muestra, fluctuó entre 29 y 81 ppm de potasio.

Si bien es cierto que en muchos de los suelos tropicales de los climas secos y de los superhúmedos la arcilla predominante es caolinita (91), también es cierto que existen condiciones que favorecen la formación de montmorillonita, como en aluviones y otros suelos mal drenados o de áreas secas o desarrollados sobre rocas básicas y calcáreas (62).

Una inmovilización del potasio o lo que pudiera ser una fijación total o irreversible, puede ocurrir en suelos tropicales; así Venema (113) anota que es posible encontrar en algunos en algunos suelos ácidos, ricos en aluminio y hierro móviles, ciertos compuestos formados durante la inmovilización de los fosfatos por óxidos de hierro y óxidos de aluminio que contienen potasio. Los compuestos responsables de esta inmovilización son tales como el fosfato de hierro y de potasio $H_8KFe_3(PO_4)_6 \cdot 6H_2O$, el leucofosfito de aluminio y de potasio $KAl_2(PO_4)_2 \cdot OH \cdot 2H_2O$.

E. El potasio total

El potasio total del suelo es el constituido por todas las formas de potasio que hay en el suelo (116). Su magnitud depende en gran parte de la composición mineral del material parental, la lixiviación y el tipo y grado de meteorización(116). Russell (88) anota que el contenido de potasio total en el sue

lo depende también del tipo de arcilla resultante en el proceso de meteorización y así la ilita tiene un mayor contenido de potasio que la montmorillonita. El potasio total depende en su mayor parte de la cantidad de potasio estructural presente que a su vez está en función de la mineralogía y el grado de meteorización y lixiviación. En los suelos tropicales, debido a los factores ya mencionados, el contenido de potasio total es muy variable; así Moss y Coulter (71) encontraron que para suelos lateríticos y para suelos jóvenes, derivados de cenizas volcánicas, los valores de potasio total variaron de 0,11 a 1,9%. También Martini (60), en suelos de Panamá, encontró que la cantidad de potasio total fue mayor en los suelos volcánicos recientes con valores de 17.807 y 17.057 kg de potasio/ha, menor en los suelos aluviales con valores de 8546 y 6230 kg/ha y obtuvo los valores más bajos en suelos lateríticos y de sabana con cantidades de 2041 y 4307 Kg de potasio/ha, respectivamente.

Parra (73) en suelos volcánicos de Colombia, encontró que el contenido de K_2O varió de 0,62 a 1,0% y Acquaye, MacLean y Rice (1), en suelos latosólicos y de sabana de Ghana, encontraron que el contenido de potasio total varió de 0,11 a 1,02%.

F. Capacidad de abastecimiento de potasio en el suelo

Sutton y Seay (102) definen la capacidad de abastecimiento de potasio de un suelo como la cualidad del suelo para suministrar potasio a las plantas a partir de las formas solubles, intercambiable y no-intercambiable.

Asún cuando diversos estudios (72, 102) han encontrado que los valores de potasio intercambiable constituyen un buen índice para predecir el suministro de potasio del suelo a las plantas; también observaron que las plantas absorbieron potasio de la forma no-intercambiable, debido a una liberación. Por otra parte, en varios estudios (31,78) se han encontrado correlaciones altas entre el potasio suministrado por el suelo a las plantas durante cosechas sucesivas y los valores de potasio extraídos con ácido nítrico 1 normal en ebullición, considerándose estos últimos valores como índice de la capacidad de suministro a las plantas del potasio no-intercambiable en el suelo. Pope y Cheney (77) encontraron una correlación bastante alta entre la cantidad total de potasio extraído por plantas durante 10 cosechas sucesivas y la cantidad de potasio extraído con ácido nítrico 1 N.

Reitemeier (83), al referirse a la capacidad de abastecimiento de potasio del suelo, anota que los suelos difieren grandemente en su capacidad de suministro de potasio a partir del potasio no-intercambiable estructural y no fijado, y que aún cuan-

do la liberación del potasio no-intercambiable ocurre bajo niveles moderados de potasio intercambiable, es más factible que ocurra a niveles bajos y críticos. Sobre este nivel crítico, Pratt (78) anota que debido a que el nivel del potasio intercambiable en suelos muy meteorizados es tan bajo, la proporción del potasio no-intercambiable absorbido por la planta es mayor en los suelos más meteorizados que en aquellos menos meteorizados, en donde el potasio intercambiable es más alto.

Esta relación entre el nivel crítico del potasio intercambiable y la cantidad de potasio no-intercambiable absorbida por las plantas fué observada por Acquaye, MacLean y Rice (1) en suelos tropicales al encontrar que en los suelos con valores de potasio intercambiable mayores de 0,3 me/100 g de suelo, la absorción del potasio no-intercambiable por las plantas fue menor que en los suelos cuyos valores de potasio intercambiable fueron menores que 0,3 me/100 g de suelo.

En suelos tropicales y en un estudio sobre la capacidad de abastecimiento de potasio en Natal, Stanton y Orchard (100) encontraron que las cosechas sucesivas redujeron el nivel del potasio intercambiable a un valor mínimo constante muy rápidamente y que por consiguiente, la absorción de pota -

sio por la planta dependió de la velocidad con que el potasio no-intercambiable era liberado. También encontraron que la correlación entre la cantidad de potasio no-intercambiable tomada por la planta y la reducción en el contenido de potasio escalonado del suelo, fue bastante buena. Asimismo, ellos anotan que los valores del potasio escalonado en el suelo constituyen un índice muy bueno de la capacidad de suministro de potasio a las plantas durante cosechas sucesivas. Lo anterior fue observado también por Marin, McClung y Luenga (59) quienes, trabajando con suelos de Colombia, encontraron esta reducción del potasio intercambiable por las plantas durante cosechas sucesivas y así también una buena correlación entre la cantidad de potasio removida por la planta y la cantidad de potasio extraída con ácido nítrico.

En cuanto al contenido de potasio total en el suelo como índice de la capacidad de abastecimiento de potasio, Feitemeyer (83) anota que aún suelos con iguales contenidos de potasio total difieren grandemente en la aprovechabilidad de sus reservas de potasio. Pearson (74), trabajando con suelos de la zona templada, no encontró ninguna correlación entre la capacidad de estos suelos para liberar potasio no-intercambiable a la forma intercambiable y el contenido de potasio total. Por el contrario, Piedrahita y Benavides (76) trabajando con suelos tropicales en Colombia encontraron u-

na correlación alta entre la cantidad de potasio removido por cosechas sucesivas de alfalfa y los valores de potasio total.

G. El fenómeno del potasio en los suelos tropicales

De acuerdo a los estudios ya mencionados, es posible explicar en parte el comportamiento del potasio en los suelos tropicales.

En diversos estudios sobre fertilidad de suelos tropicales (40, 41, 73), no se ha encontrado una respuesta clara al potasio en suelos deficientes en potasio intercambiable. También se ha observado (20) que la respuesta al abonamiento con potasio en suelos deficientes, ha sido positiva solamente en presencia de otros elementos como nitrógeno, fósforo y calcio. Esto hace pensar que muchos suelos son tanto o más deficiencias en otros nutrimentos que en potasio (62), como se puede notar en suelos muy meteorizados y lixiviados de muchas regiones del trópico. Por lo tanto, una aplicación de potasio en ellos, no sólo no será aprovechable, sino que contribuirá a un desbalance entre los elementos nutritivos en el suelo, con perjuicio para los cultivos. De aquí que con frecuencia el abonamiento potásico reduce las cosechas en algunos cultivos anuales alimenticios.

El hecho de que en algunos suelos tropicales con valores de potasio intercambiable muy bajos, no se observe una respuesta a la aplicación de potasio, puede deberse según Sen, Deb y Bon (97) y Martini (62), a que el potasio liberado de la forma no-intercambiable alcance para completar los requerimientos de potasio de la cosecha bajo climas húmedo-cálido.

En relación con el punto anterior, Rodríguez y Baird (86), trabajando con suelos aluviales de Colombia, encontraron una falta de respuesta al abonamiento con potasio y atribuyen este hecho a la riqueza en biotita y muscovita de ese suelo. En Costa Rica, Sáenz (90), al referirse a algunos suelos del Valle Central, en las áreas más afectadas por la estación seca, anota que si bien estos suelos se consideran como bajos en potasio directamente aprovechable, la concentración de potasio total es bastante elevada y de ahí sus diferentes respuestas a las aplicaciones de potasio.

Es de anotar también que si en muchos suelos tropicales con potasio intercambiable no hay respuestas al abonamiento con potasio, se debe no solamente a su riqueza en minerales potásicos y a su meteorización, sino también a las prácticas de cultivo que no permiten el agotamiento del potasio en el suelo. Martini (6) anota que el cultivo de subsistencia en donde la tierra se cultiva por temporadas y después se de a

en barbecho por años, permite que el nivel de potasio intercambiable se restablezca debido a la liberación del potasio no-intercambiable y a las adiciones de potasio cíclico que ocurren tanto en las aguas de lluvia como en la materia orgánica de las plantas. Asimismo, Suárez de Castro (101) menciona que la quema, otra práctica agrícola en los trópicos, es un factor de aporte de potasio cambiante en el suelo, a partir de las cenizas que se forman.

El problema de la fijación del potasio en los suelos tropicales puede ser menos grave debido a la preponderancia de la arcilla caolinita en muchos de los suelos, pero debido también a la presencia de arcillas del tipo 2:1, fijadoras de potasio (27, 56) y especialmente de la alofana en los suelos volcánicos (71), la fijación puede tomar gran importancia en algunos casos. Estas observaciones y las de los trabajos anteriormente mencionados, revelan el hecho de que la fijación de potasio en estos suelos merece cierta atención en el estudio de la capacidad del suelo para fijar y liberar potasio.

MATERIALES Y METODOS

En este estudio se llevaron conjuntamente trabajos de laboratorio y trabajos de invernadero, precedidos además por el trabajo de campo. Este último consistió en la toma de muestras de suelos y de subsuelos y su clasificación en el campo. A continuación se procederá a detallar cada uno de los diferentes tipos de trabajo realizados en el transcurso de la investigación.

A. Trabajo de campo

Una vez localizada el área de muestreo durante el viaje de observación, se procedió a recolectar las muestras de suelo y de subsuelo. Para la recolección de las muestras se siguió la técnica aconsejada por Martini*.

Localizado el sitio de muestreo, se le limpió quitando todo el material vegetal verde y no descompuesto que estaba sobre la superficie; hecho ésto, se tomó la muestra de 0 a 20 cms de profundidad para el suelo y de 40 a 60 cms de profundidad para el subsuelo en la

* J.A.Martini. Indicaciones sobre recolección de muestras de suelos y de subsuelos en un perfil. Com. pers. Turrialba, C.R., 1965.

mayoría de los casos. Además de estas profundidades promedias, se consideró en algunos casos como suelo la capa superior más afectada por el contenido de raíces y como subsuelo la capa inferior diferenciada no solamente por el contenido de raíces, sino por el color, textura y otras propiedades correspondientes a los subsuelos. Se procuró desechar la zona intermedia entre ambas, cuando se consideró esta zona como capa de transición.

Se colectaron tanto del suelo como del subsuelo, unos 60 kg de material, a fin de utilizarlos luego en los ensayos de invernadero y en el laboratorio, y se hicieron anotaciones de tipo general de cada zona de muestreo, sobre el suelo y el sitio.

B. Trabajo de laboratorio.

1. Preparación de las muestras:

Las muestras de los suelos y de los subsuelos se secaron al aire. Una vez seco el material, se destruyeron los terrones, para lo cual se utilizó un rodillo mediano. El material triturado se hizo pasar por un cernidor de 9 mm² a fin de eliminar la grava y otros materiales gruesos.

La muestra se hizo más homogénea, haciendo una operación de mezcla. Se utilizó una tela plástica grande y de forma rectangular la cual era alzada por cada uno de sus cuatro puntos esquineros sucesivamente, de tal manera que con un efecto de volteo el sue-

lo se llevaba de un extremo a otro de la tela. Después de esta operación de aproximadamente 20 minutos, se procedió a tomar la muestra destinada al trabajo de laboratorio, para lo cual se colectaron en una bolsa plástica pequeñas porciones de suelo tomadas al azar hasta completar una muestra de 3 Kg de peso. El material sobrante se devolvió a los sacos de tela, para ser utilizado en las pruebas de invernadero.

Las muestras destinadas para el trabajo de laboratorio se pusieron a secamiento al aire, colocándolas en latas de aluminio y sobre una mesa del laboratorio. Una vez secas, se pasaron por un tamiz de abertura de 2 mm o No.10 A.S.T.M. Una vez tamizada la muestra, se colocó en una mezcladora pequeña del tipo "Twin Shell dry blender" durante unos 15 minutos con el fin de homogenizarla bien.

2. Determinación del pH:

Esta determinación fué hecha tanto en agua como con CaCl_2 0,01 M. Se usó la relación 1:1 suelo a solución humectante y siguiendo la técnica de Greweling y Peech (34). En la determinación se usó un potenciómetro marca Beckman con electrodos de vidrio.

3. Análisis del potasio inter-cambiable:

Para esta prueba se utilizaron tres diferentes soluciones ex

tractoras: a) acetato de amonio pH: 7,0. b) Morgan o Universal, pH: 4,8. c) Carolina del Norte o Mehlich. Estas soluciones extractoras se utilizaron para la determinación del potasio cambiable en 46 suelos y subsuelos colectados.

a. Extracción del potasio cambiabile con acetato de amonio
1 N pH: 7,0:

En esta extracción los iones intercambiables de potasio son desalojados del complejo de cambio por la acción en masa de los iones de amonio (80).

El procedimiento usado en la extracción es el recomendado por Greweling y Peech (34). Se colocó una muestra de 10 gramos de suelo en un tubo de centrifuga de 500 cc., se agregó un volumen de 35 cc. de acetato de amonio normal, pH 7,0 y se agitó la sus pensión de suelo durante 30 minutos por medio de una agitadora marca Burell del tipo "Wrist-Action". Al finalizar la agitación se procedió a centrifugar la solución durante unos 15 minutos a 2000 rpm en una centrifugadora marca International, Modelo K. El supernatante se filtró a través de papel de filtro Whatman N°2, *350 cc. 7/11* recogién dose el filtrado en frascos de 8 onzas, los cuales habían sido previamente lavados, secados y rotulados.

En el extracto obtenido se determinó el potasio intercambiabile por medio del espectrofotómetro de llama Perkin-Elmer, Modelo

52 C y usando patrones de potasio preparados con la solución de amonio como disolvente.

La solución extractora de acetato de amonio ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$) 1 N, pH 7,0 se preparó siguiendo la técnica de Pratt (80). En un vaso so lumétrico de 1000 cc se disuelven 58 cc de ácido acético glacial (99,5%) en 600 cc de agua destilada. Agregar 70 cc de hidróxido de amonio (NH_4OH) concentrado de gravedad específica 0,9. Dejar enfriar la solución y ajustar el pH a 7,0 usando ácido acético o hidróxido de amonio. Finalmente llevar a volumen y mezclar bien la solución.

b. Extracción del potasio cambiante con solución Morgan o Universal.

Se utilizó la técnica de Greweling y Peech (34) modificada, utilizando la solución de acetato de sodio ($\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) de pH 4,8 en una proporción de 1 parte de suelo 3,5 partes de solu ción extractora. De acuerdo a Peech y English (75), la acción solvente del acetato de sodio en el suelo es muy constante aún en contacto con suelos que tienen moderadas cantidades de carbo nato de calcio.

La determinación del potasio cambiante en las extracciones obte nidas se hizo por el espectrofotómetro de llama Perkin-Elmer Mo

delo 52 C y usando los patrones de potasio utilizando la solu
ción Morgan como disolvente.

La solución extractora de acetato de sodio pH 4,8 se preparó siguiendo la técnica de Greweling y Peech (34). En un volumétrico de 1000 cc se disuelven 100 g de acetato de sodio ($\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) en 500 cc de agua destilada, se agregan 30 cc de á
cido acético de 99,5% y se lleva a volumen.

c. Extracción del potasio intercambiable con solución extractora de Carolina del Norte o de Mehlich

El procedimiento seguido para este análisis fué el de Greweling y Peech (34) ya mencionado, pero utilizando como so
lución extractora la solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,025 N y ácido clorhídrico (HCl) 0,05 N. Para la determinación del potasio cambiabile se usó el espectrofotómetro de llama Perkin-Elmer Modelo 52 C con los patrones de potasio, utilizando la solución Carolina del Norte como disolvente.

La solución extractora de Carolina del Norte se preparó de la siguiente forma: en un botellón de 20.000 cc de capacidad, se pusieron 6000 cc de agua destilada. Se agregaron 12 cc de á
cido sulfúrico concentrado, disueltos previamente en 1000 cc y se agregaron también 73 cc de ácido clorhídrico concentrado,

previamente disueltos en 1000 cc de solución. Finalmente, se agregó agua destilada hasta obtener una solución de 18 litros. Esta solución fué 0,05 N de ácido clorhídrico y 0,025 N de ácido sulfúrico (Mehlich).

4. Potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico normal y determinación de la capacidad de abastecimiento de potasio del suelo y del subsuelo.

En esta determinación se utilizaron las técnicas de Greweling y Peech (34) modificadas por Martini, y de Haylock (42), utilizando como solución extractora el ácido nítrico (HNO_3) 1 N y ebullición por 15 minutos. Esta prueba se hizo sobre 29 suelos y 29 subsuelos de Costa Rica. La cantidad de potasio removida en cada extracción parece tener una alta correlación con la cantidad removida por la cosecha (45).

Las extracciones sucesivas con ácido nítrico 1 N se efectuaron así: se colocaron 4 grms de suelo en frascos de centrifugación de 250 cc y se agregaron 40 cc de ácido nítrico 1 N. Se puso ésto en ebullición durante un período de 15 minutos. Durante el período de ebullición se agitó ligeramente cada 5 minutos. Se dejó enfriar por 5 a 10 minutos, se centrifugó y el ^supernatante se colocó en volumétricos de 50 cc. Se llevó a volumen y finalmente se guardó la extracción en frascos de 8 onzas. El

suelo que quedó en el frasco de centrifugación se sometió nuevamente a este procedimiento ya descrito, efectuándose un total de cuatro extracciones sucesivas. Cada extracción se guardó por separado, señalándose las por los números I, II, III y IV, los cuales indicaron también el orden de extracción.

Las anteriores extracciones se hicieron por cuadruplicado para cada suelo y subsuelo a fin de tener las muestras para los cuatro períodos de incubación. Terminadas las extracciones sucesivas, se trasladaron las cuatro repeticiones de la muestra de suelos y subsuelos a vasos plásticos de 100 cc para someterlas a incubación en húmedo por diferentes períodos de tiempo. Este método de incubación en húmedo, consistió en tener en cada vaso los suelos permanentemente húmedos, para lo cual las muestras se humedecieron regularmente. Los vasitos se taparon con láminas de papel de aluminio para reducir la evaporación.

Al cabo del primer mes de incubación, se tomó una de las muestras repetidas y se la sometió a una sola extracción con ácido nítrico 1 N por el proceso mencionado anteriormente. Asimismo, se procedió con una segunda muestra al cabo de 2 meses de incubación, con la tercera muestra a los 4 meses y con la cuarta y última muestra de replicación al cabo de 8 meses de incubación en húmedo.

Todas las determinaciones de potasio extraído con HNO_3 1 N se

hicieron con el espectrofotómetro Perkin-Elmer Modelo 52 C y con los patrones de potasio de la solución de HNO_3 1 N.

La solución extractora de ácido nítrico 1 N se preparó según Greweling y Peech (34). Se diluyeron 1,14 cc de ácido nítrico concentrado de gravedad específica 1,42 en agua destilada y se llevó a un volumen de 2 litros. Estos dos litros se vaciaron en una botella grande y se agregó más agua destilada, hasta completar un volumen de 18 litros.

5. Evaluación de la capacidad de reposición del potasio intercambiable en suelos y subsuelos incubados en húmedo

Para el estudio de este aspecto, se siguió la técnica de extracción del potasio intercambiable de Greweling y Peech (34) ya conocida. Se utilizaron como soluciones extractoras el acetato de amonio 1 N pH 7,0 y el acetato de sodio o solución Morgan de pH 4,8. Los suelos y subsuelos comprendidos en este estudio fueron los pertenecientes a las muestras Margot, Colorado, Birrisito, CR-1, CR-2, CR-3, CR-6, CR-7, CR-8, CR-9, CR-10, CR-11, CR-12, CR-15, CR-17, CR-19, CR-20, CR-21, CR-22, CR-23, CR-25, CR-27 y CR-28, a los cuales se describirá más adelante.

En el procedimiento se hicieron dos extracciones sucesivas de potasio intercambiable sobre la misma muestra. Para esto, una

vez realizada la primera extracción, se agregó la solución extractora y se hizo una segunda extracción a la muestra.

Cada muestra de suelo y subsuelo se extrajo por triplicado y al finalizar la segunda extracción, se translocó cada uno de los triplicados a vasos de plástico de 100 cc, a fin de ser sometidos a incubación en húmedo por tres diferentes períodos de tiempo. Al cabo del primer mes de incubación, se tomó una de las muestras repetidas, se secó al aire y se le extrajo el potasio intercambiable. Asimismo, se procedió con una segunda muestra al cabo de 2 meses de incubación y con la tercera muestra del triplicado al cabo de 4 meses de incubación en húmedo.

En las extracciones obtenidas se determinaron el potasio intercambiable por medio del espectrofotómetro de llama Perkin-Elmer Modelo 52 C y se usaron los respectivos patrones de potasio de las soluciones de acetato de amonio y de acetato de sodio.

La capacidad de reposición de potasio intercambiable para las muestras en estudio se determinó analizando los diferentes valores de potasio intercambiable obtenidos para suelos y subsuelos después de cada período de incubación.

6. Evaluación de la capacidad de fijación de potasio aplicado

Para este estudio se siguió el método de Hunter (44), modifi

cado y adaptado a las condiciones del laboratorio. Los suelos y subsuelos comprendidos en este estudio, fueron los correspondientes a las muestras de los latosoles CR-12 y Colorado, de los andosoles CR-8 y Birrisito y del aluvial Margot.

Se aplicaron cuatro niveles de potasio, a saber: 0-50, 100 y 200 kg de potasio por hectárea y se usaron dos métodos de incubación; uno de incubación permanente en húmedo y el otro método el de incubación en húmedo pero con un secamiento a temperatura ambiente por mes, o sea permitiendo que la muestra perdiera su humedad al aire libre una semana antes de ser analizada. En total se emplearon 160 muestras o sean 5 suelos + 5 subsuelos x 4 niveles de K x 2 métodos de incubación x 2 repeticiones = 160 muestras.

Procedimiento: se colocaron 100 g de muestra en vasos plásticos de 250 cc. Se humedecieron con aproximadamente 50 cc de solución de fertilizante, aplicándose ésto con una pipeta de 50 cc. Seguidamente con una espátula fina se mezcló bien la muestra de cada vaso. Es de anotar que se recomienda una buena limpieza de la espátula y un lavado con agua destilada después de cada operación de mezcla, para así evitar posibles contaminaciones entre los diferentes tratamientos. Finalmente se tapó cada vaso con papel de aluminio. Este papel de aluminio evitó que las muestras perdieron humedad y se conservaran por lo tanto en una atmósfera apropiada para la incubación en húmedo; por otro lado, evitó que cuerpos extraños caye -

ran sobre el material de ensayo.

Las muestras ya preparadas se sometieron a incubación en húmedo a la temperatura del laboratorio de 25°C. Al cabo de 20 días se destapó el grupo de vasos correspondientes al tratamiento de incubación en húmedo con 1 secamiento por mes y se pusieron a secar al sol. A medida que las muestras se iban secando, fue preciso mezclar el suelo para evitar una excesiva formación de terrones muy grandes y duros. Cumplido el mes de incubación, se tomaron 10 g de muestra del material secado al sol y se procedió a efectuar el análisis del potasio intercambiable. La solución extractora utilizada fue el acetato de amonio y el método seguido fue el de Greweling y Peech (34) modificado.

Para el análisis del material incubado en húmedo permanentemente, se procedió a tomar una muestra húmeda cuyo peso seco fuera aproximadamente 10 gramos. Una vez extraído el potasio en la muestra húmeda, ésta se colocó en un vaso de precipitación de 50 cc y se llevó a desecar a la estufa a una temperatura de 106° para obtener el peso seco de la muestra. Este peso seco fue necesario para hacer los cálculos y obtener la cantidad de potasio cambiabile en kilogramos por hectárea.

Realizadas las operaciones de recolección de las muestras de cada vaso, se volvieron a humedecer los suelos y subsuelos secados

al sol y se volvieron a cubrir todos los vasos correspondientes a ambos tratamientos. Además, se agregó agua destilada a aquellas muestras incubadas en húmedo permanentemente y que estuviesen menos húmedas.

Las operaciones de mezcla de las muestras con espátula, incubación, secamiento (uno por mes), y obtención de submuestra para analizar el potasio intercambiable, se hicieron dos veces más al transcurrir los períodos de 2 y 4 meses de incubación.

En las extracciones obtenidas se determinó el potasio intercambiable utilizando el espectrofotómetro de llama Perkin-Elmer Modelo 52 C, así como los respectivos patrones de potasio, utilizando la solución de acetato de amonio como disolvente.

La cantidad de agua destilada necesaria para humedecer los 100 gramos de suelo o subsuelo de cada vaso a capacidad de campo, se determinó por la cantidad de agua retenida en estado de saturación. Para saturar el suelo o subsuelo con agua, se procedió a colocar unos 100 gramos de muestra en un embudo cónico, provisto de papel de filtro; al suelo se le agregó un exceso de agua y al cabo de una hora o cuando se observó agua sobre la superficie de la muestra, se procedió a medir el volumen de agua filtrada. La diferencia entre el volumen de agua adicionada menos la cantidad de agua filtrada, dió la cantidad de a -

gua necesaria. Es de anotar que esta prueba se realizó con cada uno de los suelos y subsuelos bajo experimentación, para después obtener un valor promedio.

Para la aplicación de fertilizante de potasio se procedió a utilizar una solución de cloruro de potasio (ClK) de 1000 ppm de potasio como solución madre. Esta solución se preparó disolviendo en un volumétrico de 1000 cc 1,972 g de cloruro de potasio (52% de K) en 500 cc de agua destilada, llevando después a volumen.

Para aplicar los niveles de 200, 100 y 50 Kg de potasio por hectárea a las muestras de 100 g de peso, se hicieron en tres volúmenes de 2000 cc, soluciones de 200 ppm, 100 ppm y 50 ppm de potasio. A las muestras con niveles de 200 kg de potasio por hectárea, o sea de 100 ppm de potasio, se les aplicaron 50 cc de la solución de 200 ppm de potasio; asimismo, a las muestras con niveles de 100 kg de potasio por hectárea, o sea 50 ppm de potasio, se les aplicaron 50 cc de la solución de 100 ppm de potasio y a las muestras con niveles de 50 kg de potasio por hectárea, o sea 25 ppm de potasio, se les aplicaron 50 cc de la solución de 50 ppm de potasio.

Una vez obtenidos los valores de potasio intercambiable en las muestras después de cada período de incubación y para sus dife-

rentes tratamientos y niveles, se procedió a la evaluación de la capacidad de fijación del potasio aplicado. La cantidad de potasio liberado o fijado se determinó por la ecuación:

$$K = K_2 - (K_0 + K_1)$$

donde,

K = contenido de potasio fijado (-) o liberado (+)

K₀ = contenido de potasio intercambiable en el testigo .

K₁ = cantidad de potasio agregado al suelo

K₂ = cantidad de potasio intercambiable determinada de la muestra incubada.

7. Análisis de potasio total

Para la determinación de potasio total de los suelos y subsuelos se utilizaron las muestras Margot, Colorado, Birrisito, CR-1, CR-2, CR-3, CR-6, CR-7, CR-8, CR-9, CR-10, CR-11, CR-12, CR-15, CR-17, CR-19, CR-20, CR-21, CR-22, CR-23, CR-25, CR-27, y CR-28. Se siguió el método de Brannock^k y Berthold (12) y de Shapiro y Brannock (98), modificados por Martini.

Se colocaron 0,25 g de muestras en un crisol de platino de 30 cc de capacidad. Se agregaron 3 cc de solución de ácido sulfúrico 1:1 (1 parte de ácido sulfúrico concentrado : 1 parte de

agua destilada) y 100 cc de ácido fluorhídrico concentrado. Se cubrió el crisol con su tapa y se puso a digerir la muestra por una noche o unas 15-20 horas sobre una plancha eléctrica a una temperatura baja. Pasado ese lapso de tiempo, se bajó el crisol y se dejó enfriar. Se quitó la tapa del crisol y se lavó la cara interna de ésta, de manera que el agua cayera dentro del crisol. Se puso a evaporar el contenido del crisol hasta que éste ocupase un volumen aproximado de 3 cc (volumen del H_2SO_4), o sea hasta a asegurar que todo el ácido fluorhídrico se hubiese evaporado. Durante este período la temperatura de la plancha fué media.

En los casos en que la muestra de suelo o subsuelo no se disolvió, se volvió a repetir la digestión con ácido sulfúrico 1:1 y ácido fluorhídrico concentrado. Una vez disuelta la muestra y con un volumen de contenido de aproximadamente 3 cc, se dejó enfriar el crisol y se le agregaron de 10 a 20 gotas de ácido nítrico concentrado, de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que se presentara en la muestra. Otra vez se puso sobre la plancha el crisol hasta que el humo blanco del ácido nítrico desapareciera. Esto aseguró la remoción completa tanto del ácido fluorhídrico como de la materia orgánica (98). Para este último paso, la temperatura de la plancha continuó siendo alta.

Se dejó enfriar la solución y se agregó agua destilada hasta ca

si llenar el vaso de platino. Se colocó otra vez el crisol sobre la planta a ún caliente y a la misma temperatura, durante unos minutos hasta que la solución se hiciera más homogénea. Obtenida la dilución del extracto, se dejó enfriar, se transfirió a un volumétrico de 50 cc y se llevó a volumen con agua destilada. Se recomienda el uso de volumétricos Pyrex o de vidrio borosilicatado. Estas extracciones una vez hechas, fueron guardadas en frascos de 8 onzas, previamente lavados y marcados.

La cantidad de potasio extraída fue determinada por medio del espectrofotómetro de llama Perkin-Elmer Modelo 52 C, y se utilizaron los patrones de potasio en agua destilada.

Se puso especial énfasis en el cuidado de los crisoles de platino, los cuales eran lavados con jabón cuidadosamente con la mano y no con cepillo, inmediatamente después que se desocupaban. Asimismo, durante el proceso de digestión de la muestra sobre la plancha, los crisoles fueron colocados sobre láminas de asbestos para así evitar el contacto de la base de los crisoles con la superficie de la plancha.

8. Preparación de patrones de potasio

La solución madre se preparó disolviendo en un volumétrico de 1000 cc la cantidad de 1,9072 g de cloruro de potasio en 50 cc de

solución extractora y después se llevó a volumen. Para la preparación de los patrones de potasio de 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100 y 150 ppm, se colocaron respectivamente las alícuotas de 0,5 - 1,25 - 2,5 - 3,75 - 5,0 - 7,5 - 12,5 - 25,0 y 37,5 cc de solución madre en volumétricos de 250 cc y se llevó a volumen utilizando la solución extractora correspondiente.

9. Análisis del potasio en la planta

Para el análisis de potasio en la planta, se siguió la técnica de Chapman y Pratt (18) modificada. La planta cosechada de cada maceta, se sometió a secamiento a la estufa a una temperatura de 85°C y por unas 24 a 48 horas y se molió.

Procedimiento: se tomó 1 gramo de muestra vegetal seca y finalmente molida y se colocó en un Erlenmeyer de 125 cc de capacidad. Se agregaron 10 cc de una solución de una parte de ácido perclórico y cinco partes de ácido nítrico. Se pusieron tres bolitas de digestión y se tapó el Erlenmeyer con un embudo de tallo cerrado que tiene un agujero lateral en la base del cono. La muestra se dejó en reposo por una noche. Pasado este tiempo, se puso el Erlenmeyer sobre una plancha a temperatura baja al comienzo y luego a una temperatura mayor, hasta que los vapores de los ácidos fueron saliendo. Cuando el color de la solución fue blanquecino y el volumen de aproximadamente 2

cc, se retiró el Erlenmeyer de la plancha y con una pipeta llena con agua caliente se lavó el tallo del embudo haciendo caer el agua de lavado dentro del Erlenmeyer. Se pasó la solución a un balón aforado de 50 cc, lavando el Erlenmeyer con agua destilada, la cual se recogió también en el balón aforado y se llevó a volumen con agua destilada. Finalmente se filtró la solución y se guardó en un frasco bien tapado.

Cada muestra se analizó por duplicado. Es de anotar que de este extracto, se puede también analizar el fósforo, calcio y magnesio, además del potasio.

En el trabajo realizado el análisis de potasio de las extracciones se hizo por medio del espectrofotómetro de llama Perkin-Elmer Modelo 52 C, usándose en este caso los patrones de potasio en agua destilada.

C. Trabajo de invernadero

El trabajo de invernadero comprendió varios aspectos como son: ejecución del diseño del experimento o ensayo, selección de niveles de tratamiento, cálculo y preparación de las soluciones de nutrimentos, preparación de macetas, siembra, abonamiento y cosecha, además de otras labores como riego, desyerbas y registro del estado de las plantas.

1. Siembra y labores efectuadas

Se prepararon los suelos y subsuelos destinados a las pruebas de invernadero, con un secamiento al aire, tamizado con un tamiz de 4 mm y homogenización del material.

Como planta indicadora, se utilizó el tomate (Lycopersicum sculentum var. Turrialba). Se emplearon 6 plantas por maceta, siendo ésta la unidad experimental o de observación.

Para las macetas, se usaron latas vacías de aceite, las cuales se lavaron bien y se dejaron con un fondo, al cual se le perforaron cinco huecos para el desagüe. Se pintó la superficie interna de la maceta con pintura negra asfáltica, inerte, en tanto que la superficie externa fue pintada de color verde.

Una vez preparada la maceta, se puso en su fondo grava de diorita bien lavada para facilitar el desagüe y después se puso el suelo o subsuelo. Se llegaron a utilizar 2 tamaños de macetas, un tipo mediano que contiene 2 Kg de muestra más 500 grs de grava y que fue utilizada solamente en el primer ensayo con tres suelos y tres subsuelos. El otro tipo de maceta (latas de 1/4 de aceite) que contiene 1 kg de suelo mas 160 grs de grava y fue utilizada en los ensayos restantes. Las macetas fueron puestas sobre platos plásticos de tamaño pequeño.

El abonamiento de las macetas con suelos o subsuelos se hizo utilizando soluciones nutritivas. Todos los nutrimentos se aplicaron el mismo día, exceptuando Ca y Mg, aplicados una semana después para evitar la formación de precipitados de sulfatos.

La siembra se efectuó casi siempre dos semanas después del abonamiento, para permitir un equilibrio entre el abono y el suelo. Se utilizaron 20 semillas por maceta y se sembraron 2 semillas por hueco. Una vez germinada la semilla, se permitió su crecimiento durante 2 semanas, al cabo de las cuales se efectuó el raleo y se dejaron solamente 6 plantas por maceta. Estas 6 plantas se cosecharon a la floración o 6 semanas a partir de la fecha de su germinación.

La cosecha se efectuó cortando la parte aérea de las plantas de cada maceta y guardando este material en bolsas de papel. Una vez cosechada, la muestra se sometió a secamiento a una temperatura de 80 a 85°C durante unas 24-48 horas y pasado éste, se tomó el peso seco del material vegetal cosechado, correspondiente a cada maceta. De cada muestra se obtuvo una porción de 1 gramo de material finamente molido para la determinación del contenido de potasio en la planta.

Durante el experimento, se efectuaron riegos adecuados para mantener una humedad apropiada (capacidad de campo) en las muestras

de suelos y subsuelos. Se utilizó agua destilada para tal efecto y se hicieron las aplicaciones tanto sobre el suelo como sobre los platos plásticos debajo de las macetas.

2. Diseño experimental y ensayos

En todos los ensayos de invernadero se utilizó el diseño de bloques al azar con cuatro replicaciones. Se empleó la técnica del nutrimento faltante propuesta por Martini*. En el ensayo con los suelos y subsuelos de La Margot, Colorado, Birrisito, se utilizaron 6 tratamientos, a saber:

- 1) Testigo . Sin abono (T)
- 2) Abonamiento con 200 kg de potasio por hectárea (K_{200})
- 3) Abonamiento completo, sin potasio ($\leq K_0$)
- 4) Abonamiento completo, más 200 kg de potasio por hectárea
($\leq K_{200}$)
- 5) Abonamiento completo más 400 kg de potasio por hectárea
($\leq K_{400}$)
- 6) Abonamiento completo, más 800 kg de potasio por hectárea
($\leq K_{800}$)

Por abonamiento completo se denominó en este trabajo la aplicación de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, azúfre, cobre, zinc, manganeso, hierro, molibdeno y boro (Ver niveles en el Cuadro 1).

*Comunicación personal

En los suelos y subsuelos Birrisito, Colorado y La Margot se efectuaron cuatro cosechas y se emplearon macetas grandes.

En el ensayo de invernadero con los suelos y subsuelos CR-6, CR-7, CR-8, CR-9, CR-10 y CR-11, se utilizaron para la primera cosecha los tratamientos mencionados anteriormente. Una segunda y tercera cosecha sucesiva se obtuvo con estos suelos y subsuelos, pero con las muestras de los tratamientos T, K_{200} , $\neq K_0$ y $\neq K_{200}$. En los ensayos con estos suelos y subsuelos se emplearon macetas chicas (latas de 1/4 de galón).

En el ensayo de invernadero con los suelos y subsuelos CR-12, CR-15, CR-16, CR-17, CR-23, CR-25, CR-27 y CR-28, se utilizaron los tratamientos $\neq K_0$ y $\neq K_{200}$. Se efectuaron tres cosechas sucesivas y se emplearon macetas chicas.

En el ensayo de invernadero con los suelos y subsuelos CR-29, CR-31, CR-33, CR-34, CR-35, CR-36, CR-37, CR-38, CR-39, CR-40, CR-41, CR-42, CR-43, CR-44, CR-45 y CR-46, se utilizaron los tratamientos $\neq K_0$ y $\neq K_{200}$. Se efectuó una sola cosecha y se emplearon macetas chicas.

De cada una de estas cosechas sucesivas se obtuvieron los datos de peso seco del material vegetal y el contenido de potasio en la planta por maceta. Asimismo, después de cada cosecha su -

cesiva se tomó una muestra del suelo o subsuelo de cada maceta para el análisis del potasio intercambiable restante.

3. Soluciones nutritivas, niveles y productos

El Cuadro No. 1 contiene anotaciones de los nutrimentos, los niveles y las fuentes aplicadas a los suelos y subsuelos Birrisito, Margot y Colorado para su primera cosecha. Para las tres cosechas siguientes se aplicaron los mismos productos y los mismos niveles, excepto potasio, el cual fue aplicado solo para la primera cosecha.

El Cuadro No. 2 contiene anotados los nutrimentos, los niveles y las fuentes usados en el abonamiento de los ensayos de invernadero con los restantes suelos y subsuelos para la primera cossecha. Aquí también hay que anotar que para las dos cosechas siguientes a la primera, de las muestras correspondientes a los suelos y subsuelos CR-6, CR-7, CR-8, CR-9, CR-10, CR-11, CR-12, CR-15, CR-16, CR-17, CR-23, CR-25, CR-27 y CR-28, se aplicó solamente el tratamiento completo(K_0) para ver el efecto residual del elemento potasio.

D. Suelos y subsuelos utilizados: Descripción de Perfiles

Los suelos y subsuelos utilizados en el presente estudio

CUADRO No. 1. CANTIDADES Y FUENTES DE NUTRIMENTOS APLICADOS

NUTRIMENTO	Cantidad aplicada		Fuente	Fórmula química
	Kg/ha (a) por maceta	gm/2 Kg suelo		
Nitrógeno	300	0,3	Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
Fósforo	500	0,5	Fosfato de calcio monobásico	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Potasio	(b)		Cloruro de potasio	KCl
Calcio	500	0,5	Carbonato de calcio	CaCO_3
Magnesio	300	0,3	Carbonato de Magnesio	CaCO_3
Azufre	100	0,1	Sulfato de sodio	Na_2SO_4
Cobre	10	0,01	Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zinc	20	0,02	Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Manganeso	40	0,04	Sulfato de manganeso	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Hierro	50	0,05	Citrato de hierro	$\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Molibdeno	10	0,01	Molibdato de sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Boro	10	0,01	Tetraborato de sodio	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

(a) 1 Ha: 2.000.000 kg de suelo de la capa arable.

(b) El potasio fue aplicado en cuatro dosis: 0, 200, 400 y 800 Kg/ha de acuerdo a los tratamientos; esto correspondió respectivamente a la aplicación de 0, 0,2, 0,4 y 0,8 gm de potasio por maceta.

CUADRO No. 2. CANTIDADES Y FUENTES DE NUTRIMENTOS APLICADOS

NUTRIMENTO	Cantidad aplicada		Fuente	Fórmula química
	Kg/ha (a) por maceta	gm/kg suelo		
Nitrógeno	200	0,1	Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
Fósforo	500	0,25	Fosfato monosódico	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Calcio	500	0,25	Carbonato de Calcio	CaCO_3
Magnesio	300	0,15	Carbonato de Magnesio	MgCO_3
Azufre	100	0,05	Sulfato de Sodio	Na_2SO_4
Cobre	10	0,005	Cloruro de Cobre	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Zinc	20	0,01	Cloruro de Zinc	ZnCl_2
Manganeso	40	0,02	Cloruro de Manganeso	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Hierro	50	0,025	Citrato de Hierro	$\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Molibdeno	10	0,005	Molibdato de Sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Boro	10	0,005	Tetraborato de Sodio	$\text{NaB}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Potasio	(b)		Cloruro de Potasio	KCl

(a) 1 Ha: 2.000.000 Kg de suelo de la capa arable

(b) El potasio fue aplicado en cuatro dosis: 0, 200, 400 y 800 kg/ha para para los suelos CR-6, CR-7, CR-8, CR-9, CR-10 y CR-11, de acuerdo a los tratamientos; ésto correspondió respectivamente a la aplicación de 0,1 - 0,2 y 0,4 gm de potasio por maceta. Para los restantes suelos y subsuelos se aplicó sólo el tratamiento de 200 Kg/ha.

están clasificados bajo tres grandes grupos, correspondientes a los Andosoles, Latosoles y suelos Aluviales. A continuación se anotarán las principales características de cada uno de ellos (Véase Figura No. 1 para la localización y Cuadro No. 3 para un resumen de propiedades).

S u e l o s A l u v i a l e s

Costa Rica 1 (CR-1). Este suelo aluvio-volcánico (108) colectado en el Consejo Nacional de Producción, cerca de San Antonio a una altitud de 910 mts. s.n.m., forma parte de la serie complejo arcilloso-Ciruelas. La vegetación observada es de pastos y el relieve es ondulado. Drenaje lento. La precipitación es de 1000-2000 mm año y la temperatura media anual es superior a 19° C. Material parental: de acuerdo a Vargas y Torres (108), son sedimentos aluviales provenientes de materiales volcánicos llevados por el río Virilla y que han sufrido cierta meteorización.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco arcillosa; color pardo oscuro grisáceo al pardo oscuro (10YR 4/2-3) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia fiable en húmedo, plástica y poco pegajosa en mojado. Presencia de grava. El drenaje es muy pobre y se observan concreciones rojas y amarillas. Reacción moderadamente ácida*.

*Acidez de acuerdo a la escala que presenta el Manual de Reconocimiento de Suelos del USDA (1). Esta denominación será usa da para los demás suelos y subsuelos.



CUADRO 3. SERIE, ALTITUD, PRECIPITACION, COLOR, TEXTURA Y pH DE LOS SUELOS Y SUBSUELOS ESTUDIADOS.

MUESTRA	Serie	Altitud mts. s.n.m.	Precipi- tación mm/año(a)	C o l o r Húmedo	Seco	Textu- ra aprox. (b)	pH 1:1 H ₂ O CaCl ₂
Aluviales:							
CR-1	S	910	1000-2000	1OYR 2/2	1OYR 4/2-3	F-Ar	5,7 5,4
	Sub			1OYR 2/2-1	1OYR 4/1	Ar	5,7 5,7
CR-2	S	1000	1000-2000	1OYR 2/2	1OYR 4/5-4	Ar	6,8 6,0
	Sub			1OYR 4/4	1OYR 5/4	Ar-L	6,2 5,9
CR-42	S	150	1000-2000	5YR 2/2	1OYR 4/3	F-A	7,0 6,4
	Sub			5YR 3/2-3	1OYR 4/4	F-Ar	7,2 6,6
Margot	S	600	2000-4000	1OYR 3/3	1OYR 4/2	F-Ar	5,5 5,2
	Sub			1OYR 3/2	1OYR 5/4	Ar-A	5,3 4,7
Andosoles:							
CR-6	S	1860	2000-4000	1OYF 2/1	1OYR 3/2	A	6,1 5,4
	Sub			1OYF 2/2	1OYR 4/4	F-A	6,1 4,5
CR-7	S	1420	2000-4000	1OY 3/2	1OYR 4/1-2	F-A	6,0 5,4
	Sub			1OYI 2/2	1OYR 4/4	F-L	6,4 5,9
CR-8	S	1100	1000-2000	1OYF 2/1	1OYR 3/2	F-A	5,9 5,5
	Sub			1OYF 4/3	1OYR 4/4	F-Ar	6,4 6,0
CR-9	S	1420	1000-2000	1OYR 2/2	1OYR 4/4	F-A	5,6 5,3
	Sub			1OYR 2/2	1OYR 4/3	F-Ar	5,7 5,6
CR-10	S	1270	2000-4000	1OYR 2/2	1OYR 4/4	F-Ar	5,7 5,3
	Sub			1OYR 4/3	1OYR 4/4	Ar	5,7 5,2

(a) Precipitación estimada de acuerdo al mapa ecológico de Costa Rica, A.C., preparado por el Dr. L.R. Holdridge y publicado por IICA, San José, Costa Rica, 1959.

(b) Textura determinada al tacto: A=arenosa. L=limosa. Ar=arcillosa. F=franco.

Cuadro 3. Continuación...

Muestra	Serie	Altitud mts. s.n.m.	Precipitación mm/año(a)	C o l o r		Textura aprox. (b)	pH 1:1	
				Húmedo	Seco		H ₂ O	CaCl ₂
CR-11	S	1500	2000-4000	10YR 4/3	10YR 4/4	F-A	5,5	4,5
	Sub	-	-	7,5YR 3/2	10YR 5/4	F-Ar	6,5	5,2
CR-29	S	1300	2000-4000	5YR 2/1	10YR 2/2	F-A	5,8	5,2
	Sub	-	-	10YR 2/2	2,5YR 5/2	A	6,1	5,5
CR-30	S	1300	2000-4000	5YR 2/1	5YR 2/2	F-A	5,9	5,5
	Sub	-	-	10YR 4/4	10YR 5/6	A	6,9	5,9
CR-35	S	1900	4000-8000	5YR 2/2	10YR 4/3	A	5,5	5,1
	Sub	-	-	2,5YR 3/4	10YR 5/6-8	A	6,2	5,6
CR-36	S	2400	4000-8000	2,5YR 2/2	10YR 4/3	A	4,5	4,3
	Sub	-	-	5YR 3/2	10YR 4/2	A	5,2	4,8
CR-37	S	2100	4000-8000	10YR 2/2	10YR 4/2	F-A	4,6	4,3
	Sub	-	-	7,5YR 3/2	10YR 5/4-6	A-Ar	5,7	5,4
CR-39	S	120	1000-2000	2,5YR 3/2	2,5YR 4/0	Ar	6,3	5,9
	Sub	-	-	5YR 8/3	5YR 8/1	A	8,1	7,3
CR-40	S	140	1000-2000	10YR 2/2	10YR 4/3	F-A	6,6	5,8
	Sub	-	-	10YR 4/4	10YR 5/4	A-Ar	6,5	5,9
CR-41	S	150	1000-2000	10YR 2/1	10YR 4/3	Ar-A	6,0	5,8
	Sub	-	-	10YR 2/2	10YR 4/2	Ar	6,3	5,9
Birrisito	S	700	2000-4000	10YR 2/2	10YR 3/3	F-Ar	5,1	4,6
	Sub	-	-	5YR 3/2	10YR 4/4	Ar-A	5,5	5,3
Latosoles:								
CR-3	S	1200	1000-2000	10YR 4/4	10YR 5/4-6	F-A	5,1	4,6
	Sub	-	-	7,5YR 4/4	7,5YR 5/4	F-Ar	5,0	4,6
CR-12	S	400	2000-4000	7,5YR 3/2	10YR 4/3	Ar	4,9	4,2
	Sub	-	-	5YR 3/4	7,5YR 4/4	Ar	5,4	4,4

(a) Precipitación estimada de acuerdo al mapa ecológico de Costa Rica, C.A. preparado por el Dr. L.R. Holdridge y publicado por IICA, San José, Costa Rica, 1959.

(b) Textura determinada al tacto: A=arenosa. L=limosa. Ar=arcillosa. F=franco.

Cuadro 3. Continuación...

Muestra	Serie	Altitud mts. s.n.m.	Precipi- tación mm/año(a)	C o l o r		Textu- ra aprox. (b)	pH 1:1	
				Húmedo	Seco		H ₂ O	CaCl ₂
CR-13	S Alajuela	400	2000-4000	5YR 3/4	7,5YR 4/4	F-A	4,5	4,1
	Sub "	-	-	2,5YR 3/6	5YR 5/8	Ar-A	5,6	4,7
CR-14	S "	400	2000-4000	7,5YR 3/2	10YR 4/3	F	4,9	4,3
	Sub "	-	-	5YR 4/8	7,5YR 5/8	Ar	5,9	4,6
CR-15	S "	400	2000-4000	5YR 2/2	10YR 2/2	F-A	4,5	4,1
	Sub "	-	-	5YR 3/4	7,5YR 4/4	Ar-A	5,6	4,5
CR-16	S "	400	2000-4000	5YR 3/2-3	10YR 3/2	F-A	5,1	4,6
	Sub "	-	-	5YR 4/6	7,5YR 5/6	Ar	5,4	4,4
CR-17	S "	640	2000-4000	5YR 3/3-4	10YR 4/3	F-Ar	4,9	4,3
	Sub "	-	-	5YR 4/8	7,5YR 5/6-8	Ar	5,7	4,6
CR-18	S "	600	2000-4000	5YR 3/4	7,5YR 3/2	F-A	5,7	4,6
	Sub "	-	-	5YR 4/4	7,5YR 4/4	Ar	5,8	4,6
CR-19	S "	620	2000-4000	5YR 3/3	7,5YR 4/4	F-Ar	4,8	4,2
	Sub "	-	-	5YR 4/6	5YR 5/6-8	Ar	5,4	4,4
CR-20	S "	840	2000-4000	5YR 3/3-4	7,5YR 4/4	F	4,9	4,3
	Sub "	-	-	5YR 4/4	7,5YR 5/6-8	Ar	6,2	4,8
CR-21	S "	1500	2000-4000	7,5YR 5/6-8	10YR 5/4-6	F-A	4,9	4,4
	Sub "	-	-	5YR 4/6	7,5YR 5/6	Ar	5,3	4,4
CR-22	S "	2500	1000-2000	7,5YR 3/2	10YR 4/4	F-A	5,0	4,4
	Sub "	-	-	10YR 5/6-8	10YR 6/6	Ar	5,2	4,3
CR-23	S Grecia	800	1000-2000	7,5YR 3/2	10YR 4/4	F-A	5,2	4,7
	Sub "	-	-	7,5YR 3/2	7,5YR 4/4	Ar-A	5,5	4,7
CR-24	S "	1000	1000-2000	7,5YR 3/2	10YR 4/4	F-A	5,2	4,7
	Sub "	-	-	7,5YR 3/2	7,5YR 4/4	Ar	5,2	4,5
CR-25	S "	1200	1000-2000	10YR 2/2	10YR 4/4	Ar	5,3	5,0
	Sub "	-	-	5YR 4/4	7,5YR 4/4	Ar	5,2	5,0
CR-26	S "	1100	1000-2000	7,5YR 4/4	10YR 5/4	F-Ar	4,9	4,3
	Sub "	-	-	5YR 5/6	7,5YR 5/6-8	Ar	4,6	4,0

(a) Precipitación estimada de acuerdo al mapa ecológico de Costa Rica, C.A., preparado por el Dr. L.R. Holdridge y publicado por IICA, San José, Costa Rica, 1959.

(b) Textura determinada al tacto: A=arenosa. L=limosa. Ar=arcillosa. F=frano.

Cuadro 3. Continuación....

Muestra	Serie	Altitud mts. s. n. m.	Precipi- tación mm/año(a)	C o l o r		Textu- ra aprox. (b)	pH 1:1 H ₂ O CaCl ₂
				Húmedo	Seco		
CR-27	Grecia	300	1000-2000	2,5YR 3/4	5YR 4/4	Ar-A	5,1 4,8
CR-28	"	-	-	2,5YR 5/6	5YR 5/6	Ar-	4,5
CR-31	"	250	1000-2000	5,YR 2/2	7,5YR 4/2	F-A	5,3 4,7
CR-32	Paraíso	-	-	2,5YR 3/6	5YR 4/6	Ar	5,3 4,9
CR-33	"	1300	1000-2000	10YR 2/2	5YR 2/2	F-Ar	5,3 4,5
CR-34	"	-	-	5YR 3/4	5YR 3/3	Ar	5,3 4,5
CR-38	"	1300	2000-4000	5YR 2/2	5YR 3/4	F	5,0 4,5
CR-43	"	-	-	5YR 3/4	5YR 3/3	Ar	5,3 4,7
CR-44	"	800	2000-4000	5YR 3/4	10YR 4/3	F	5,2 4,6
CR-45	"	-	-	5YR 4/4	7,5YR 4/4	Ar	5,4 4,5
CR-46	"	800	2000-4000	10YR 4/4	10YR 4/3	F	5,0 4,4
Colorado	Aranjuez	-	-	5YR 4/4	7,5YR 4/4	Ar	5,2 4,4
"	"	200	1000-2000	5YR 3/2-3	5YR 4/4	F-Ar	6,5 5,8
"	"	-	-	5YR 4/6	5YR 5/6-8	Ar	6,4 5,6
"	"	250	2000-4000	5YR 3/4	7,5YR 4/4	Ar	5,2 4,5
"	"	-	-	5YR 4/4	5YR 4/8	Ar	5,7 4,7
"	"	200	2000-4000	5YR 3/3	7,5YR 4/2	Ar	5,3 4,9
"	"	-	-	10YR 4/2	10YR 5/2	Ar	5,3 4,7
"	"	200	2000-4000	5YR 3/4	5YR 5/4	Ar	5,4 4,9
"	"	-	-	2,5YR 3/6	5YR 4/6	Ar	5,9 5,0
"	"	300	2000-4000	7,5YR 4/4	10YR 4/3	F-Ar	4,9 4,3
"	"	-	-	5YR 4/6	5YR 4/4	Ar	5,8 4,5
"	Colorado	2000-4000	alta	5YR 2/2	10YR 3/2	Ar	4,7 4,2
"	"	-	-	5YR 3/3	7,5YR 5/6	AR	5,1 4,4

(a) Precipitación estimada de acuerdo al mapa ecológico de Costa Rica, C.A., preparado por el Dr. L.R. Holdridge y publicado por IICA, San José, Costa Rica, 1959.

(b) Textura determinada al tacto: A=arenosa. L=limosa. Ar=arcillosa. F=franco.

Subsuelo: Profundidad 30-50 cms; textura arcillosa; color gris muy oscuro (10YR 4/1) en seco y pardo muy oscuro a negro (10YR 2/2-1) en húmedo; consistencia firme en húmedo y pegajosa en mojado. El drenaje es malo. Es frecuente encontrar pequeños cristales de cuarzo. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 2 (CR-2). De acuerdo a Vargas y Torres (108), éste es un suelo aluvio-volcánico de la serie Complejo Arcilloso - Ciruelas, muy similar a los andosoles de los alrededores, pero con un contenido mayor de arcilla. Las muestras fueron colectadas en la Guácima, al sur-oeste de la ciudad de Alajuela y a una altitud de 1000 mts. s.n.m. La vegetación observada es de pastos altos y la pendiente del 3%. El relieve es ondulado y el drenaje de lento a pobre. La precipitación en este lugar es de 1000 a 2000 mm por año y se presenta una estación seca al año de aproximadamente 3 meses. La temperatura media anual superior a 18°C. El material parental de este suelo son sedimentos aluviales provenientes de materiales volcánicos llevados por el río Virilla y que han sufrido cierta meteorización.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura arcillosa-gravilosa, color pardo a pardo oscuro amarillento (10YR 4/3-4) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa en mojado. Presencia de concreciones rojas y amarillas. Drenaje pobre.

Reacción neutra.

Subsuelo: Profundidad 30-50 cms; textura arcillo-limosa; color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en húmedo; consistencia firme a friable en húmedo; plástica y pegajosa en mojado. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 42 (CR-42). Suelo aluvial negro colectado a 15 kms al norte de Liberia, siguiendo la carretera Panamericana y a una altitud de 150 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 2%. El relieve es de planos aluviales y la temperatura es cálida. La precipitación es aproximadamente de 1000 a 2000 mm al año, con una estación seca definida mayor de tres meses. El área está cruzada por el río Los Ahogados y se observan numerosos cultivos de arroz y algodón. Material parental: son sedimentos aluviales formados por materiales que seguramente tienen origen volcánico y que son llevados por el río Los Ahogados. De acuerdo a Dengo (23), los materiales volcánicos de la formación Bagaces, región atravesada por el río Los Ahogados, están formados por andesitas y magnetita encerrados en filamentos vitreos. Además, este río también posee afluentes que nacen y recorren las faldas de los volcanes Orosí y Rincón de la Vieja en los cuales se encuentran materiales andesíticos y hornbléndicos (23).

Suelo: Profundidad 0-35 cms; textura franco arenosa; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR

2/2) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y muy ligeramente pegajosa, no plástica, en mojado.

Reacción neutra.

Subsuelo: Profundidad 37-70 cms; textura franco a franco arcilloso; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/2-3) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica en mojado. Reacción neutra.

La Margot. Suelo aluvial desarrollado sobre una terraza vieja del río Reventazón. De acuerdo con Hardy (40) y con Dondoli y Torres (25), este suelo aluvial forma parte de la serie La Margot, la cual es la más vieja de las series de suelos aluviales formados en la región de Turrialba. Las muestras fueron colectadas en los terrenos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA y a una altitud de 600 mts. s.n.m. La vegetación es de pastos y la pendiente del 2%. El relieve es ondulado y el drenaje externo medio. La precipitación de este lugar es alta y no existe una estación seca definida.

Según Dondoli y Torres (25), el material parental del cual se desarrolló este suelo de la serie Margot es un depósito aluvial y de arrastre del valle Turrialba de edad reciente y cuyos materiales son detritos de lavas meteorizadas como son restos de la colada de Cervantes.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco arcillosa; color pardo oscuro grisáceo (10YR 4/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/3) en húmedo; consistencia suave y friable en húmedo y ligeramente pegajosa y plástica en mojado; presencia de raíces y piedras meteorizadas en la superficie. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 20-35 cms; textura arcillosa arenosa; color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo oscuro (7-5YR 3/2) en húmedo; consistencia pegajosa en mojado. Se observan piedras pequeñas en esta capa. Reacción fuertemente ácida.

S u e l o s A n d o s ó l i c o s

Costa Rica 6 (CR-6). De acuerdo a Vargas y Torres (138), este suelo andosólico forma parte de la serie de suelos Coronado (substrato compactado). Las muestras fueron colectadas a unos 8 kms. de San Isidro de Coronado, cerca de Las Nubes y a una altitud de 1960 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 10%. El relieve en general es montañoso y la precipitación es alta. La temperatura media anual es inferior a 18°C. En esta área predominan las granjas de lechería.

El suelo es una deposición reciente de cenizas volcánicas del

volcán Irazú (erupción 1963-65). El subsuelo, anteriormente el suelo, es también proveniente de cenizas y materiales volcánicos más viejos.

Suelo (capa de ceniza reciente): Profundidad 0-15 cms; textura arenosa fina; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco, y negro (10YR 2/1) en húmedo; consistencia muy friable en húmedo y no plástica, no pegajosa, en mojado. El drenaje interno es bueno. Esta capa corresponde a una capa nueva de cenizas volcánicas provenientes del volcán Irazú y depositadas entre 1963 y 1965. Reacción ligeramente ácida.

Subsuelo (suelo enterrado): Profundidad 15-30 cms; textura franco-arenosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Este subsuelo es la primera capa del perfil de un suelo sepultado por cenizas volcánicas. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 7 (CR-7). Suelo volcánico contaminado con cenizas recientes del volcán Irazú. Las muestras fueron colectadas a 1 km. al noreste de San Isidro de Coronado y a una altitud de 1420 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 5%. El relieve es montañoso. De acuerdo a Vargas y Torres (108), este suelo pertenece a la serie Colorado. El material pa-

rental del cual se forma este suelo son cenizas y materiales volcánicos, provenientes del Irazú. Es de anotar que la primera capa encontrada corresponde a materiales depositados en 1963, los cuales cubren un suelo pardo amarillento de cenizas y arenas volcánicas de anterior deposición.

Suelo: Profundidad 0-10 cms; textura franco arenosa; color gris oscuro a pardo oscuro grisáceo (10YR 4/1-2) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y no pegajosa, ligeramente plástica en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Subsuelo: Profundidad 15-30 cms; textura franco limosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Drenaje bueno. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 8 (CR-8). Suelo volcánico un poco diferente al suelo CR-7, ya que está poco afectado por las cenizas recientes del volcán Irazú. De acuerdo a Vargas y Torres (108), este suelo forma parte de la serie Heredia. Las muestras fueron colectadas en un área cafetalera a 1 km al sur de Santo Domingo y a una altitud de 1100 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 2%. El relieve es ondula

do y la precipitación es alta.

El material parental consiste en depósitos de cenizas y arenas volcánicas en proceso avanzado de meteorización y que han sido a su vez cubiertos por depósitos de cenizas nuevas.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arenosa; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco, y negro (10YR 2/1) en mojado; consistencia muy friable en húmedo, no pegajosa y ligeramente plástica en mojado; de buen contenido de materia orgánica y buen drenaje, esta capa está constaminada con cenizas volcánicas a 2 o 3 cms. de profundidad. Reacción moderadamente ácida.

Subsuelo: Profundidad 90-110 cms; textura franco-arcillosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco, y pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; consistencia pegajosa y plástica en mojado; drenaje imperfecto de bajo contenido de materia orgánica; presencia de grava y moteamientos rojizos y amarillos. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 9 (CR-9). Suelo volcánico colectado a 1 km al norte de San Isidro de Heredia y a una altitud de 1420 mts. s.n.m. De acuerdo a Vargas y Torres (108), este suelo forma parte de la serie Heredia. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 15%. El relieve es en general montañoso.

El área es predominantemente cafetalera. La precipitación es menor de 2000 mm por año, siendo su clima seco de altura (108).

Material parental: es el mismo encontrado en el suelo de la muestra No. 8, ocurriendo el mismo fenómeno de las deposiciones de cenizas nuevas sobre suelos en formación.

Suelo: Profundidad 0-20 cms. Textura franco arenosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia muy friable en húmedo y no pegajosa, ligeramente plástica, en mojado; rico en materia orgánica; se observa la presencia de cenizas volcánicas recientes provenientes del volcán Irazú. Reacción moderadamente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-35 cms; textura franco arcillosa; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia pegajosa y plástica en mojado; rico en contenido de materia orgánica y de buen drenaje. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 10 (CR-10). Este suelo volcánico correspondiente a la serie Heredia (108) está desarrollado sobre cenizas volcánicas viejas y ha sido poco afectado por cenizas recientes provenientes del volcán Irazú; las muestras fueron colectadas a 6 kms al norte de Heredia y a 3 kms al norte de Barba, a una altitud de 1250 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos, la pendiente del 5%. El relieve es ondulado y la precipi

pitación es alta. El área es predominantemente cafetalera.

El material parental (108) está formado de materiales volcánicos finos y gruesos en proceso de meteorización que fueron a su vez cubiertos por depósitos nuevos de cenizas y arenas volcánicas.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco arcillosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia pegajosa y plástica en mojado. Contenido de materia orgánica medio; drenaje bueno y se observan concreciones amarillas. Reacción moderadamente ácida.

Subsuelo: Profundidad 40-60 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Presencia de gravilla. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 11 (CR-11). Suelo volcánico desarrollado sobre cenizas volcánicas y arenas. De acuerdo a Vargas y Torres (108) este suelo forma parte de la serie de suelos Areno - Poasito. Las muestras fueron colectadas en Carrizal, al noroeste de Heredia y a una altitud de 1500 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 15%. La precipitación en esta área es alta. Predominan los cultiti

vos de café. El material parental está constituido por materiales volcánicos provenientes del volcán Poás, presentándose capas en sucesión y todos presentan un buen estado de meteorización (108).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arenosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo pardo-oscuro (10YR 4/3) en húmedo; consistencia no plástica, no pegajosa, en mojado; buen contenido de materia orgánica y presencia de concreciones rojas, amarillas y negras. Buen drenaje. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 40-60 cms; textura franco-arcillosa; color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y no plástica, ligeramente pegajosa en mojado. Contenido de materia orgánica de medio a bajo, buen drenaje y presencia de regular cantidad de concreciones amarillas y rojas. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 35 (CR-35). Suelo volcánico viejo colectado a 1 km de Vara Blanca y a una altitud de 1900 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 7%. El área se encuentra localizada en la región montañosa del volcán Poás.

Suelo: Profundidad 0-50 cms; textura arenosa muy fina; co -

lor pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 2/2) en húmedo; consistencia suelta en húmedo y pegajosa, no plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 50 cms; textura arenosa medio a grueso; color pardo amarillento (10YR 5/6-8) en seco y pardo oscuro rojizo (2.5YR 3/4) en húmedo; consistencia suelta en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Presencia de pocas piedras. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 36 (CR-36). Suelo volcánico maduro. Colectado a 1 km del cráter del volcán Poás y a una altitud de 2400 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 8%.

Suelo: Profundidad 0-50 cms; textura arenosa fina; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y rojo muy oscuro (2.5YR 2/2) en húmedo; consistencia ligeramente friable a suelta en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Presencia de cenizas recientes que contaminan el suelo maduro. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 50 cms; textura arenosa, color pardo oscuro grisáceo (10YR 4/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/2) en húmedo; consistencia suelta en húmedo y no plástica, no pegajosa, en mojado; reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 37 (CR-37). Suelo volcánico viejo colectado entre Vara Blanca y el volcán Poás a una altitud de 2100 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 7%.

Suelo: Profundidad 0-55 cms; textura franco arenosa; color pardo oscuro grisáceo (10YR 4/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y muy ligeramente pegajosa, no plástica, en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 55 cms; textura arenosa arcillosa; color pardo amarillento (10YR 5/4-6) en seco y pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 39 (CR-39). Suelo negro desarrollado sobre toba volcánica; las muestras fueron colectadas a 5 kms. de Cañas, siguiendo la carretera Panamericana en dirección a Liberia y a una altitud de 120 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y árboles grandes, y la pendiente del 2%. El relieve de esta área es de planos costaneros ondulados. La temperatura es cálida y la precipitación es de 1000 a 2000 mm. al año, con una estación seca definida mayor de 3 meses y durante la cual se observa que en el suelo se hacen pequeñas grietas. Material parental: de acuerdo a Dengo (23) el material parental del cual se han formado estos suelos son rocas volcánicas

de la formación Bagaces, compuestos por lavas y cristales anhidricos de andesina.

Suelo: Profundidad 0-25 cms; textura arcillosa; color gris oscuro (2.5YR 4/0) en seco y gris muy oscuro (2.5YR 3/0) en húmedo; consistencia firme en húmedo y muy pegajosa y muy plástica en mojado. Reacción ligeramente ácida.

Capa: Profundidad mayor de 25 cms; textura arenosa; color blanco (5YR 8/1) en seco y amarillo pálido (5YR 8/3) en húmedo; consistencia suelta en húmedo y no plástica, no pegajosa, en mojado. Reacción moderadamente alcalina.

Costa Rica 40 (CR-40). Suelo volcánico sobre riolita, colectado a 21 kms. de Cañas, siguiendo la carretera Panamericana hacia Liberia y a una altitud de 140 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 3%. El relieve es de planos costaneros ondulados. La temperatura es cálida y la precipitación es aproximadamente de 1000 a 2000 mm al año, con una estación seca definida mayor de 3 meses.

Material parental: rocas volcánicas de la formación Bagaces (23 (a)).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco arenosa; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia ligeramente fria-

ble en húmedo y ligeramente pegajosa, muy ligeramente plástica, en mojado. Se observa la presencia de gravas de un diámetro aproximadamente de 1 cm. Reacción neutra.

Subsuelo: Profundidad 15-30 cms; textura arenosa-arcillosa; color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 41 (CR-41) Suelo negro volcánico sobre riolita. Las muestras fueron colectadas a 31 kms. de Cañas, siguiendo la carretera Panamericana hacia Liberia y a una altitud de 150 mts s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 5%. El relieve es de planos costeros ondulados. La temperatura es cálida y la precipitación es aproximadamente 1000 a 2000 mm al año, con una estación seca definida mayor de 3 meses. Material parental: rocas volcánicas de la formación Bagaces (23(a)).

Suelo: Profundidad 0-50 cms; textura arcillo-arenosa; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y negro (10YR 2/1) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa y plástica en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Subsuelo: Profundidad 50-125 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro grisáceo (10YR 4/2) en seco y pardo muy

oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia muy pegajosa y muy plástica en mojado. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 29 (CR-29) De acuerdo a Dóndoli y Torres (25), este suelo negro volcánico sobre lava, pertenece a la serie Cervantes. Las muestras fueron colectadas a 2 kms. de Cervantes siguiendo la carretera que conduce hacia Turrialba y a una altitud de 1300 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 7%. Las propiedades físicas del suelo son excelentes pero se observa gran cantidad de piedras sobre el terreno. El perfil es joven y poco profundo. El material parental tal cual se ha formado este suelo es Andesitos recientes, los cuales revelan un contenido alto de plagioclasas (25).

Suelo: Profundidad 0-100 cms; textura franco-arenosa; color pardo muy oscuro (10YR 2/2) en seco y negro (5YR 2/1) en húmedo; consistencia no pegajosa, no plástica, en mojado. Se observa gran cantidad de piedras hasta de un diámetro de 25 cms; asimismo, es notoria la cantidad de raíces. Reacción moderadamente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 100 cms; textura renosa; color pardo grisáceo (2.5YR 5/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia poco friable en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Presencia de piedras. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 30 (CR-30) Suelo negro volcánico perteneciente a la serie Cervantes (25) y se puede considerar como una replicación de la muestra CR-29. Las muestras fueron colectadas a 3 kms. de Cervantes, siguiendo la carretera que conduce hacia Cartago y a una altitud de 1300 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 7%. El perfil del suelo aparece joven y poco profundo.

Suelo: Profundidad 0-100 cms; textura franco-arenosa; color pardo rojizo oscuro (5YR 2/2) en seco y negro (5YR 2/1) en húmedo; consistencia poco friable en húmedo y no pegajosa, no plástica en mojado; presencia de piedras. Reacción moderadamente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 100 cms; textura arenosa; color pardo amarillento (10YR 5/6) en seco y pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en húmedo; consistencia suelta en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Reacción neutra.

Birrisito . Este suelo volcánico viejo con algunas propiedades de latosol, está desarrollado sobre lavas y cenizas volcánicas viejas (25, 40). Forma parte de la serie denominada Birrisito. Las muestras fueron colectadas a 5 kms. de Turrialba, siguiendo la carretera que conduce hacia Cartago y a una altitud de 700 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 5%. El relieve es montañoso o quebrado. La precipita -

ción en esta área es alta y no hay una estación seca definida. El drenaje externo es excesivo.

De acuerdo a Dóndoli y Torres (25), el material parental del cual se formó el suelo de la serie Birrisito, es un material volcánico más reciente que el de la serie Cervantes, pero debido a que este material está formado por cenizas volcánicas, ha meteorizado más rápidamente que el material de lava del suelo Cervantes.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arcillosa; color pardo oscuro (10YR 3/3) en seco y oscuro (10YR 2/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y poco plástica y pegajosa en mojado. La capa de materia orgánica es profunda. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 40-60 cms; textura arcillosa-arenosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y oscuro rojizo (5YR 3/2) en húmedo; consistencia plástica y pegajosa en mojado. Reacción fuertemente ácida.

S u e l o s L a t o s ó l i c o s

Costa Rica 3 (CR-3). De acuerdo con Vargas y Torres (108), este suelo latosólico forma parte de la serie Alajuela y está desarrollado sobre cenizas volcánicas. Las muestras fueron colectadas en la Estación Experimental de la Universidad de Costa Ri-

ca, a 5 kms. de Alajuela y a una altitud de 1200 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 3%. Esta área posee una precipitación alta y una estación seca de finida de 3 meses. El relieve es ondulado. El material parental del cual se forman estos suelos está compuesto de materiales volcánicos en diferentes estados de meteorización que fueron arrastrados y depositados en pequeños valles; también en estos suelos se depositaron cenizas volcánicas provenientes del volcán Poás en su mayoría.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arenosa fina; color pardo amarillento (10YR 5/4-6) en seco y pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Buen contenido de materia orgánica; presencia de material de grava y de concreciones rojas y amarillentas. Drenaje interno bueno. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 30-50 cms; textura franco-arcillosa; color pardo (7.5YR 5/4) en seco y pardo oscuro (7.5 YR 4/4) en húmedo; consistencia firme en húmedo y ligeramente pegajosa y plástica en mojado. Bajo contenido de materia orgánica. Presencia de concreciones rojas. Drenaje interno bueno. Reacción muy fuertemente ácida.

Costa Rica 23 (CR-23). De acuerdo a Vargas y Torres (138), es

te suelo latosólico pertenece a la serie Grecia y es un latosol pardo rojizo desarrollado sobre cenizas y materiales volcánicos. Estas cenizas de material volcánico provienen en su mayoría del volcán Poás y contienen gran proporción de cuarzo y plagioclasa. Las muestras fueron colectadas a 10 kms. al oeste de Alajuela, siguiendo la carretera Panamericana y a una altitud de 800 m. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 15%. El relieve es montañoso; se pueden apreciar grandes cantidades de cultivos de café, caña de azúcar y piña. La precipitación es alta y hay una estación seca definida de 3 meses.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arenosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y ligeramente pegajosa, no plástica, en mojado. El contenido de materia orgánica es alto, asimismo hay buena presencia de concreciones rojas y amarillentas. El drenaje interno es bueno. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 20-35 cms; textura arcillo-arenosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo más oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y ligeramente pegajosa y plástica en húmedo. Reacción fuertemente ácida.

10 kms. de Grecia siguiendo la carretera hacia Naranjo y a una altitud de 1000 mts. s.n.m. Este suelo también pertenece a la serie Grecia (108). La vegetación observada fue de pastos cortos.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco arenosa; color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-40 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa y plástica en mojado; reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 25 (CR-25) Este suelo latosólico fue colectado a 5 kms. al oeste de Palmares, siguiendo la carretera Panamericana hacia San Ramón y a una altitud de 1200 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos cortos y la pendiente del 30%. El suelo superficial presenta grietas pequeñas cuando se seca durante la estación de sequía. De acuerdo a Sáenz(89) el material parental que da origen a este suelo es un material volcánico de la formación del Monte Aguacate, compuesto de andesita y basalto, escorias y tobas viejas, los cuales han sufrido intensa meteorización.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura arcillosa color pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; estructura granular; con consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Drenaje interno de moderado a pobre. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 30-45 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo; consistencia muy pegajosa y muy plástica en mojado. Presencia de moteados rojizos a partir de los 14 cms. hacia abajo. Drenaje muy pobre; reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 26 (CR-26) Suelo latosólico colectado a 10 kms. de San Ramón siguiendo la carretera que conduce hacia Puntarenas y a una altitud de 1100 mts. s.n.m. La pendiente observada fue del 10%. El material parental que da origen a este suelo es un material volcánico de la formación Aguacate compuesto de andesita y basalto, escorias y tobas viejas, las cuales han sufrido una fuerte meteorización (89).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco arcillosa, color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; consistencia ligeramente pegajosa y ligeramente plástica en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 20-45 cms; textura arcillosa; color pardo (7.5YR 5/6-8) en seco y rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo; consistencia pegajosa y muy plástica en mojado. Reaccion muy fuertemente ácida.

Costa Rica 27 (CR-27) Suelo latosólico de planos ondulados colectado a 5 kms. de Esparta, siguiendo la carretera Panamericana hacia San José y a una altitud de 300 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de sabana y la pendiente del 5%; la precipitación en esta área es alta y hay una estación seca definida anual de unos 5 meses.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura arcillosa-arenosa; color pardo rojizo (5YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo (2.5YR 3/4) en húmedo; consistencia firme en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado; presencia de piedras de aproximadamente 15 cms. de diámetro. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 15-30 cms; textura arcillosa; color rojo amarillento (5YR 5/6) en seco y rojo (2.5YR 5/6) en húmedo; consistencia firme en húmedo y pegajosa y plástica en mojado. Presenta gran cantidad de moteamientos rojizos. Reacción muy fuertemente ácida.

Costa Rica 28 (CR-28) Este suelo latosólico pardo rojizo está desarrollado sobre depósitos marinos. Las muestras fueron co-

se han desarrollado los suelos de la serie Paraíso, es un material volcánico viejo procedente del macizo Irazú y que por meteorización intensa y profunda, ha dado origen a suelos lateríticos.

Suelo: Profundidad 0-25 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro rojizo (5YR 2/2) en seco y pardo muy oscuro (10YR 2/2 en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción muy ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 25 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro rojizo (5YR 3/3) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y muy pegajosa, muy plástica en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 32 (CR-32) Este suelo latosolico pertenece a la serie de suelos Paraíso (25). Las muestras fueron colectadas a 1 km. del caserío de Birrisito, siguiendo la carretera que conduce a Cervantes y a una altitud de 1300 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 7%. Relieve montañoso.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arcillosa; color pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 2/2) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 15 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro rojizo (5YR 3/3) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Colorado. De acuerdo con Hardy (41), este suelo latosólico forma parte de la serie de suelo Colorado. Las muestras fueron colectadas en el campo Gamma del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA y a una altitud de 600 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de bosques y la pendiente del 5%. La precipitación en este lugar es alta y no hay una estación seca definida.

Según Dóndoli y Torres (25), el material parental del cual se formó este suelo de la serie Colorado, es un material de lava vieja y que ha sufrido una intensa meteorización; además, el suelo está tan lixiviado que presenta todas las características de laterización.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura arcillosa; color pardo grisáceo y oscuro (10YR 3/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 2/2) en húmedo; consistencia plástica y pegajosa en mojado; buen contenido de materia orgánica. Reacción muy fuertemente ácida.

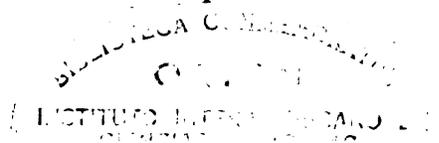
Subsuelo: Profundidad 30-50 cms; textura arcillosa; color par

lectadas a 1 km. al oeste de Esparta siguiendo la carretera que conduce a Puntarenas y a una altitud de 250 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de sabana y la pendiente del 5%. El relieve es de planos ondulados.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arenosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 2/2) en húmedo; consistencia no pegajosa, no plástica en mojado. Presencia de piedras de diámetro entre 10 y 25 cms. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 20-35 cms; textura arcillosa; color rojo amarillento (5YR 4/6) en seco y rojo oscuro (2.5YR 3/6) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, muy plástica, en mojado. Presencia de moteados y vetas amarillas, también de piedras de diámetro entre 10 y 25 cms. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 38 (CR-38) Suelo latosólico colectado a 25 kms. de Esparta, siguiendo la carretera Panamericana hacia Cañas y a una altitud de 200 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 3%. La temperatura es cálida y la precipitación es de 1500 a 2000 mm. por año y hay una estación seca definida mayor de 3 meses. El relieve en esta área es de planos costeros ondulados. Este latosol pa-



rece proveniente de un aluvión muy viejo. Leitón y Sáenz (52) consideran que este suelo, de la serie Aranjuez, forma parte de materiales de una vieja terraza y que los sedimentos de arena y grava han sufrido alteración profunda, considerándose un estado de laterización en este suelo.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arcillosa; color pardo rojizo (5YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/2-3) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Se observa en la superficie del terreno gran cantidad de piedras de río. Reacción ligeramente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 15 cms; textura arcillosa; color rojo amarillento (5YR 5/6-8) en seco y rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; consistencia firme en húmedo y muy pegajosa, muy plástica, en mojado. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 31 (CR-31) De acuerdo a Dóndoli y Torres (25), este suelo latosólico pertenece a la serie de suelos lateríticos arcillosos Paraíso. Las muestras fueron colectadas a 2 kms de Paraíso, siguiendo la carretera que conduce hacia Turrialba y a una altitud de 1300 mts. s.n.m. La vegetación observada es de pastos y la pendiente del 7%. El relieve del área es montañoso. Los cultivos se observan en muy buen estado. De acuerdo a Dóndoli y Torres (25), el material parental del cual

do fuerte (7.5YR 5/6) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/3) en húmedo; consistencia pegajosa en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 33 (CR-33) Este suelo latosólico profundo de la vertiente del Atlántico fue colectado cerca de Pavones, case rfo situado a 10 kms. de Turrialba, siguiendo la carretera que conduce a Siquirres y a una altitud de 800 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos y la pendiente del 30%. Esta área es de uso reciente ya que aún se observan los resi duos de bosque destruído.

Suelo: Profundidad 0-50 cms; textura franca; color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y no pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 50 cms; textura arcillosa; co lor pardo oscuro (6.5YR 4/4) en seco y pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, muy plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 34 (CR-34) Este suelo latosólico fue colectado a 20 kms. de Turrialba siguiendo la carretera que conduce a Si quirres y a una altitud de 800 mts. s.n.m. La vegetación ob

servada fue de pastos y la pendiente del 7%.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franca; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro rojizo (10YR 4/4) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y ligeramente pegajosa, no plástica, en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 15 cms; textura arcillosa; color pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 45 (CR-45) Suelo latosólico rojo colectado a 25 kms. al sur de Buenos Aires, siguiendo la carretera Panamericana hacia Canoas y a una altitud de 200 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos de sabana y la pendiente del 7%. El relieve es de lomas suaves o sea ondulado. La temperatura es caliente y la precipitación muy alta, con una estación seca de 5 meses. En este suelo se observó también la presencia de piedras sobre la superficie, así como cierta erosión leve. El material parental de este suelo está formado por sedimentos aluvionales de origen volcánico, compuesto por dioritas, andositas y basaltos. El suelo laterítico se ha formado por una intensa meteorización de ese sedimento aluvional (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura arcillosa; color pardo rojizo (5YR 5/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad mayor de 15 cms; textura arcillosa; color rojo amarillento (5YR 4/6) en seco y rojo oscuro (2.5YR 3/6) en húmedo; consistencia firme en húmedo y muy pegajosa, muy plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 44 (CR-44). Suelo latosólico de sabana, colectado a 20 kms. al sur de Buenos Aires siguiendo la carretera Panamericana hacia Canoas y a una altitud de 200 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos de sabana y la pendiente del 4%. El relieve es suavemente ondulado. La temperatura es caliente y la precipitación muy alta, con una estación seca de 5 meses. Este suelo es muy parecido al CR-43, pero siendo el área muy plana; además, la superficie está afectada por la presencia de piedras de un diámetro aproximado de 60 cms. Material parental: sedimento aluvional de origen volcánico, compuesto por dioritas, andesita y basalto y en profundo estado de meteorización (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/3) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Presencia de moteados rojos y con -

creciones negras. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-30 cms; textura arcillosa; color pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco y pardo oscuro grisáceo (10 YR 4/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y muy pegajosa, muy plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida. Presencia de moteados rojos oscuros y concreciones negras.

Costa Rica 43 (CR-43) Suelo latosólico pedregoso colectado a 15 kms. al sur de Buenos Aires, siguiendo la carretera Panamericana hacia Térraba y a una altitud de 250 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos cortos de sabana y la pendiente del 7%. El relieve es suavemente ondulado. La temperatura es caliente y la precipitación es muy alta, con una estación seca de 5 meses. La superficie está afectada en un 5% por piedras de diámetro aproximado de 30 cms. Material parental: sedimento aluvional de origen volcánico, compuesto por Diorita, Andesita y basalto, el cual ha sufrido intensa meteorización (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura arcillosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-50 cms; textura arcillosa; color rojo amarillento (5YR 4/8) en seco y pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo; consistencia firme en húmedo y muy pegajosa ,

muy plástica, en mojado. Presencia de moteados rojos y oscuros, así como concreciones negras. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 46 (CR-46) Este suelo latosólico rojo de sabana fue colectado a 10 kms. de Buenos Aires, siguiendo la carretera Panamericana hacia Canoas y a una altitud de 300 mts. s. n.m. La vegetación observada fue de pastos de sabana y la pendiente del 7%. El relieve es de planadas onduladas. La temperatura es caliente y la precipitación es muy alta, con una estación seca de 5 meses. En este suelo también se nota la presencia de piedras sobre el perfil. Material parental: sedimento aluvional de origen volcánico bastatente meteorizado y que está compuesto de Diorita, Andesita y Basalto (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franca-arcillosa; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 20-35 cms; textura arcillosa; color pardo rojizo (5YR 4/4) en seco y rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; consistencia firme en húmedo y muy pegajosa, muy plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 12 (CR-12) Este suelo rojo latosólico de la llanu

ra de Buenos Aires, fue colectado a 60 kms. al sur de San Isidro del General y a una altitud de 400 mts. s.n.m. La vegetación natural observada fue de sabana y el terreno plano. La precipitación en esta área es muy alta, presentándose una estación seca definida de 4 meses. En el área de muestreo se observó un cultivo grande de piña, bastante tecnificado y en plena producción.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura arcillosa; color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Contenido de materia orgánica bajo; drenaje bueno. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 15-30 cms; textura arcillosa; color pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia firme en húmedo y pegajosa, ligeramente plástica en mojado. Drenaje bueno. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 13 (CR-13) Suelo latosólico de las llanuras de Buenos Aires colectado a 58 kms. al sur de San Isidro del General y a una altitud de 400 mts. s.n.m. Esta muestra se tomó a unos 2 kms. de la muestra CR-12 y también en los terrenos cultivados con piña. Material parental: sedimentos aluvionales de origen volcánico bastante meteorizados compuesto de Diorita, Ande

sita y Basalto (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco arenosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, plástica, en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 20-35 cms; textura arcillo-arenosa; color rojo amarillento (5YR 5/8) en seco y rojo oscuro (2.5YR 3/6) en húmedo; consistencia ligeramente friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 14 (CR-14) Este suelo latosólico de la llanura de Buenos Aires fue colectado también dentro del área de la finca cultivada con piña y muy cerca de la muestra CR-12.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franca; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 20-35 cms; textura arcillosa; color pardo fuerte (7.5YR 5/8) en seco y rojo amarillento (5YR 4/8) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 15 (CR-15) Suelo latosólico de las llanuras de Buenos Aires. Esta muestra fue colectada en una pequeña área con vegetación de bosque cerca de la muestra CR-12.

O₁ : 0 -2,5 cms. Material orgánico parcialmente descompuesto.

O₂ : 2,5- 5 cms. Materiales orgánicos descompuestos y no identificados.

Suelo: Profundidad 5-20 cms; textura franco-arenosa; color pardo muy oscuro (10YR 2/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 2/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 35-55 cms; textura arcillo-arenosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia firme en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 16 (CR-16) Suelo latosólico rojo colectado a 54kms. al sur de San Isidro del General, siguiendo la carretera Panamericana hacia Buenos Aires y a una altitud de 400 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos altos pero aún se observan los residuos del bosque destruido. El relieve de esta área es ondulado. La precipitación es alta y se presenta una estación seca definida de 4 meses. Material parental: sedimentos aluvionales de origen volcánico, bastante meteorizados y com

puestos de Diorita, Andesita y Basaltos (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco arenosa; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/2-3) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-40 cms; textura arcillosa; color pardo fuerte (7.5YR 5/6) en seco y rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; consistencia firme en húmedo y pegajosa y plástica en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 18 (CR-18) Este suelo latosólico fue colectado a 23 kms. al sur de San Isidro del General siguiendo la carretera Panamericana hacia Buenos Aires y a una altitud de 600 mts. s.n.m. La vegetación original fue de bosques y la observada fue de pastos y rastrojos. El relieve es ondulado. Material parental: sedimento aluvional de origen volcánico compuesto de Diorita, Andesita y basalto, en profundo estado de meteorización (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arenosa, color pardo oscuro (7.5YR 3/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-50 cms; textura arcillosa; color pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo rojizo (5YR

4/4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 17 (CR-17) Suelo latosólico rojo colectado a 20 kms al sur de San Isidro del General, siguiendo la carretera Panamericana hacia Buenos Aires y a una altitud de 640 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos. El relieve del área es ondulado y la precipitación alta. Material parental: sedimentos aluvionales de origen volcánico, compuesto de Diorita, Andesita y basalto, en profundo estado de meteorización (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arcillosa; color pardo oscuro (10YR 4/3) en seco y pardo oscuro-rojizo (5YR 3/3-4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-40 cms; textura arcillosa; color pardo fuerte (7.5YR 5/6-8) en seco y rojo amarillento (5YR 4/8) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción moderadamente ácida.

Costa Rica 19 (CR-19) Este suelo latosólico fue colectado a unos 50 mts. de la muestra CR-17 y a una altitud de 620 mts. s. n.m. En este sitio la vegetación observada fue de bosque.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arcillosa; color pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo

(5YR 3/3) en húmedo y ligeramente pegajosa, ligeramente plástica, en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-40 cms; textura arcillosa; color rojo amarillento (5YR 5/6-8) en seco y rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 20 (CR-20) Suelo latosólico rojo colectado a 3 kms. al norte de San Isidro del General siguiendo la carretera Panamericana hacia Cartago y a una altitud de 840 mts. s.n.m. La vegetación observada fue de pastos cortos y la pendiente del 20%. El relieve es montañoso y la precipitación es alta. Se observó que el área está afectada por la erosión. Material parental: sedimento aluvional de origen volcánico, compuesto de Diorita, Andesita y basalto en profundo estado de meteorización, encontrándose que la capa de suelo formada es más profunda que en el área desde Buenos Aires hacia Paso Real (24).

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franca; color pardo oscuro (7.5YR 4/4) en seco y pardo oscuro rojizo (5YR 3/3-4) en húmedo; consistencia friable en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-40 cms; textura arcillosa; color pardo fuerte (7.5YR 5/6-8) en seco y pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo; consistencia firme en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción ligeramente ácida.

Costa Rica 21 (CR-21) Suelo latosólico de montaña, colectado a 10 kms. al norte de San Isidro del General, siguiendo la carretera Panamericana hacia Cartago y a una altitud de 1500 mts. s. n.m. La vegetación observada fue de pastos cortos y la pendiente del 20%. El relieve es montañoso y la precipitación es alta. Material parental: según Weyr (114), el tipo de material que está bajo el suelo son tobas y tobitas, los cuales se presentan con un contenido de plagioclasa anortita, entre 15 y 50% y agrega que los plagioclasas están frecuentemente alterados por la recristalización de la clorita y epidota.

Suelo: Profundidad 0-10 cms; textura franco arenosa; color pardo amarillento (10YR 5/4-6) en seco y pardo-fuerte (7.5 YR 5/6-8) en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 25-40 cms; textura arcillosa; color pardo fuerte (7.5YR 5/6) en seco y rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; consistencia friable en húmedo y pegajosa, plástica, en mojado. Reacción fuertemente ácida.

Costa Rica 22 (CR-22) Suelo latosólico de montaña colectado a 30 kms. al norte de San Isidro del General, siguiendo la carretera Panamericana hacia Cartago y a una altitud de 2500 mts. s. n.m. La vegetación observada fue de pastos cortos y la pendiente del 15%. Se observaron residuos del bosque destruido, así como también numerosas piedras en el perfil. Drenaje externo

muy bueno. Material parental: según Weyr (114), el tipo de material que aflora en esta área está constituido por Gabro, el cual contiene un 64% de plagioclasas, además Ortoclasa, Hornblenda y Apatita.

Suelo: Profundidad 0-15 cms; textura franco-arenosa; color pardo oscuro rojizo (10YR 4/4) en seco y pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; consistencia friable en húmedo y no pegajosa, no plástica, en mojado. Contenido de materia orgánica bajo. Presencia de piedras. Reacción muy fuertemente ácida.

Subsuelo: Profundidad 15-30 cms; textura arcillosa; color amarillo parduzco (10YR 6/6) en seco y pardo-amarillento (10YR 5/6-8) en húmedo; consistencia friable en húmedo y muy pegajosa, plástica, en mojado. Presencia de gran cantidad de piedras en este horizonte. Reacción fuertemente ácida.

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados de los trabajos realizados tanto en el laboratorio como en el invernadero y su discusión:

A. Potasio intercambiable

Los niveles de potasio intercambiable en los suelos y subsuelos estudiados se presentan en el Cuadro 4.

En los suelos y subsuelos Aluviales, en los Andosoles y en la mayoría de los suelos y subsuelos de Latosoles, se observó que los valores de potasio intercambiable obtenidos con acetato de amonio, fueron más altos que los obtenidos con las soluciones Morgan y Mehlich, no así en los subsuelos de Andosoles, en donde esas diferencias no fueron tan precisas. Estas diferencias entre los valores obtenidos con las soluciones de acetato de amonio y de Morgan, concuerdan con lo encontrado por Bravo (13)

Cuadro 4. Continuación...

MUESTRAS	S u e l o s			S u b s u e l o s		
	Acetato de amonio	Solución Morgan	Solución Mehlich	Acetato de	Solución Morgan	Solución Mehlich
Latosoles: CR-3	402,0	260,0	161,0	122,0	70,0	63,0
CR-12	69,0	60,0	87,5	25,0	27,0	77,0
CR-13	78,7	80,5	80,5	24,5	28,0	18,9
CR-14	98,0	89,2	85,4	35,0	38,5	24,5
CR-15	129,0	109,0	133,0	27,0	32,0	45,5
CR-16	386,7	329,0	350,0	171,5	154,0	161,0
CR-17	131,0	109,0	136,5	39,0	32,0	46,9
CR-18	227,5	189,0	179,9	52,5	56,0	38,5
CR-19	50,0	45,0	66,5	14,0	10,0	28,0
CR-20	154,0	105,0	141,4	36,0	25,0	45,5
CR-21	147,0	119,0	133,0	35,0	29,0	38,5
CR-22	595,0	395,0	441,0	68,0	46,0	77,0
CR-23	106,4	87,5	113,4	59,5	45,5	28,0
CR-24	243,2	176,7	161,0	252,0	168,0	161,0
CR-25	199,5	112,0	105,0	91,0	50,7	42,0
CR-26	505,7	294,0	337,4	252,0	129,5	161,0
CR-27	252,0	145,0	179,9	56,0	25,0	38,5
CR-28	227,0	144,0	144,2	63,0	27,0	33,6
CR-31	164,5	122,5	113,4	94,5	73,5	46,9
CR-32	143,5	112,0	113,4	70,0	56,0	38,5

Kg/ha(a)

Cuadro 4. Continuación...

Muestras	S u e l o s			S u b s u e l o s		
	Acetato de amonio	Solución Morgan	Solución Mehlich	Acetato de	Solución Morgan	Solución Mehlich
CR-33	266,0	227,5	241,5	101,5	82,2	77,0
CR-34	246,4	171,5	161,0	171,0	120,7	122,5
CR-38	332,5	234,5	227,5	364,0	220,5	270,9
CR-43	101,5	56,0	57,4	61,2	28,0	38,5
CR-44	239,7	147,0	151,2	151,9	98,0	80,5
CR-45	108,5	89,2	85,4	49,0	45,5	36,4
CR-46	77,0	71,7	66,5	42,0	38,5	38,5
Colorado	210,0	156,0	185,5	46,0	36,0	50,4

Kg/ha(a)

(a) Los valores están expresados en Kgs de k/ha. lha = 2.000.000 kgs de suelo.

(b) Material parental.

en Costa Rica y Martini (60) en Panamá en suelos Aluviales, Andosoles y Latosoles y también con lo encontrado por Bornemisza (10) en un suelo Aluvio-volcánico de Costa Rica. Asimismo, León (53) encontró estas diferencias entre los valores obtenidos con las soluciones Acetato de Amonio y Mehlich en 9 suelos de Colombia.

Respecto a las soluciones Morgan y Mehlich, en los suelos y subsuelos aluviales y en algunos suelos andosoles, se encontraron que las diferencias entre los valores de potasio intercambiable no fueron tan marcadas, pero en los subsuelos de andosoles los valores obtenidos con la solución Morgan fueron en general un poco más altos que los obtenidos con la solución Mehlich. Lo contrario sucedió en los suelos y subsuelos de latosoles, en donde se encontró que en algunos casos el valor del potasio intercambiable obtenido con la solución Mehlich fué mayor que el obtenido con la solución Morgan.

La diferencia entre los valores de potasio intercambiable para las diferentes soluciones extractoras, puede ser explicada, ya que el acetato de amonio extraerá más potasio que la solución Morgan debido a que el amonio puede desplazar más potasio que el sodio (9); por otra parte, en los suelos cuyas arcillas son del tipo 2:1, el amonio reemplazará además, el potasio en sitios interlaminares.

Al observar los datos de suelos y subsuelos latosoles se nota que las diferencias entre los valores obtenidos con las tres soluciones no son tan marcadas, lo cual posiblemente se debe a que el tipo de arcilla imperante es 1:1. Aún más, si se observan los valores de potasio intercambiable de los suelos CR-12, CR-13, CR-15, CR-17 y CR-19, se nota que los valores obtenidos con la solución Mehlich son ligeramente mayores que los obtenidos con acetato de amonio, hecho que fué observado por León (53) en un suelo arcilloso fuertemente ácido. En estos suelos parece que la actividad de los ácidos extrae un poco el potasio que se encuentra en aquellos minerales muy fuertemente meteorizados, en tanto que el acetato de amonio y la solución Morgan posiblemente extraen solo el potasio intercambiable. Cabe notar que Williams y Jenny (118), trabajando con varias soluciones extractoras encontraron que una disminución del pH provocaba un aumento de la cantidad de potasio extraído.

Tomando como base los valores de potasio intercambiable obtenidos con acetato de amonio se observa en el Cuadro 4 que los valores son muy variables dentro de cada grupo de suelos y subsuelos. Esto concuerda con lo encontrado por numerosos investigadores en estudios de potasio intercambiable en suelos aluviales (27, 33, 87), en andosoles (10, 71, 73) y en suelos latosoles (10, 17, 41, 97).

Es de anotar que la variabilidad de los valores encontrados se debe a las diferentes condiciones que afectan cada tipo de suelo en particular, como se verá más adelante en esta discusión. Sin embargo, al comparar los grupos entre sí, se observa que los suelos aluviales y andosoles presentaron en general mayores cantidades de potasio intercambiable que los latosoles. Esta última relación fué encontrada por Martini (60) en suelos de Panamá. Para los subsuelos se observó (Cuadro 4), que el valor del potasio intercambiable más alto se obtuvo en un subsuelo andosol. En cuanto a los valores en conjunto, fueron más altos en los subsuelos aluviales y andosoles que en los subsuelos latosoles.

Estos valores altos en los suelos y subsuelos aluviales y an dosoles con relación a los latosoles, se explican si se tiene en cuenta que la intensa meteorización y lixiviación a que han estado sometidos los suelos y subsuelos latosoles ha hecho que sus contenidos de bases intercambiables - por lo tanto de potasio - sean muy bajos (97).

Algunos de los suelos y subsuelos de andosoles presentan valores de potasio intercambiables muy bajos (Cuadro 4), tal como el suelo CR-6. Esto es explicable debido a la poca meteorización del mineral potásico, indicado por el alto conte nido de potasio total (Cuadro 9) y por un gran lavado de ba-

ses a que está sometido el suelo, debido a la intensa precipitación y lixiviación (Cuadro 3). Lo anterior también podría decirse para los suelos CR-36, CR-37 y Birrisito, pero las reacciones tan ácidas (Cuadro 3) encontradas en estos suelos andosoles maduros y viejos respectivamente y la alta precipitación pluvial (Cuadro 3) indican una mayor meteorización de los minerales potásicos y una fuerte lixiviación de bases intercambiables.

En el caso de los suelos latosoles, tal como el CR-3 y CR-26, (Cuadro 4), los altos contenidos de potasio intercambiables son factibles debido a que están desarrollados sobre cenizas volcánicas (89, 108). Esta observación ha sido también anotada por Hardy(39), al explicar los altos contenidos de potasio intercambiable en dos latosoles del Ecuador.

Las cantidades de potasio intercambiable extraídas con acetato de amonio en los suelos aluviales por lo general fueron altas, variando de 354 a 987 Kg/ha para los suelos y de 100 a 1.134 Kg/ha para los subsuelos. Estos valores están dentro de los límites encontrados por Bormemisza (10) en suelos de Costa Rica, por Drosdoff y Pearson (27) para algunos suelos aluviales de Panamá, Costa Rica, Guatemala y Honduras, y por Rojas (87) en algunos suelos aluviales de Colombia.

Las cantidades de potasio intercambiable para los suelos de

andosoles variaron de 119 a 1.680 Kg/ha y para los subsuelos, de 31,5 a 1.470 Kg/ha. Estos valores si bien en su mayoría es tán de acuerdo con los valores encontrados por Bornemisza (10) en algunos de estos casos, están en general un poco más altos. A excepción del valor de 1.680 Kg/ha de potasio encontrado en el suelo CR-10, los demás valores (Cuadro 4) están dentro de los límites encontrados por Parra (73) en algunos suelos volcánicos de Colombia.

En los suelos de latosoles, los valores de potasio intercambiables variaron de 50 a 595 Kg/ha y en los subsuelos de 10 a 220,5 Kg/ha. Los datos como se observan en el Cuadro 4, con cue4dan con los encontrados por Bornemisza (10) en suelos de las mismas áreas, pero en general, fueron más bajos, especialmente en los del área de Buenos Aires (Figura 1). Estos valores encontrados en estos suelos de latosoles están dentro de los límites encontrados por Kellog y Davol (49) para un grupo de latosoles de Africa.

Al comparar los valores límites de los diferentes grupos de suelos y subsuelos, se alcanza a apreciar que las diferencias entre los valores límites es menor en los suelos aluviales que en los andosoles, y menor en los latosoles que en los aluviales, o sea que la diferencia entre los valores límites de potasio intercambiable es menor en los suelos más meteoriza -

dos. Esta relación fue también observada por Martini (60) en suelos aluviales, andosoles y latosoles de Panamá.

En relación con las cantidades de potasio intercambiable encontrados en suelos y subsuelos aluviales, se observa (Cuadro 4) que en los suelos CR-2 y CR-42, las cantidades son mayores en los subsuelos que en los suelos, en tanto que en los suelos CR-1 y Margot, las cantidades son mayores en los suelos que en los subsuelos. El hecho de que estos suelos aluviales se hayan formado a partir de materiales volcánicos de diferentes composiciones arrastrados por los ríos (23, 25, 108) y depositados más tarde en sus respectivas áreas, explica tanto la variabilidad entre los suelos y los subsuelos como sus diferencias entre ellos.

En los suelos de andosoles (Cuadro 4), a excepción de los suelos CR-7 y CR-40, se encontraron cantidades de potasio intercambiable mayores que en los subsuelos. Esta misma relación se observó en los suelos latosoles con respecto a los subsuelos, a excepción de los suelos CR-24 y CR-38.

Estas observaciones respecto a un contenido mayor de potasio intercambiable en los suelos que en los subsuelos, han sido encontradas por diversos investigadores tales como Chang y Feng (17), en suelos lateríticos y aluviales de Formosa; Kee

(48) en suelos aluviales de Malaya; Silva (99) y Moreno (68), en suelos aluviales de Colombia; Kellog y Davol (49) en latosoles del Congo Belga y Rico (85) en suelos latosoles de El Salvador. Por otra parte, Venema (111), en latosoles de Sumatra, Hardy (39) en latosoles de Costa Rica y Lopez (55) en un andosol de Costa Rica, observaron lo contrario.

Los resultados obtenidos en el laboratorio con las tres soluciones extractoras de potasio intercambiable (Cuadro 4) y los resultados obtenidos en el invernadero (Cuadros 5, 6 y 7), tales como peso seco, contenido total de potasio, porcentaje de potasio en la planta (tratamiento $\leq K_0$) y sus respectivos rendimientos relativos, fueron comparados y se obtuvieron coeficientes de correlación lineal para cada relación, tal como se aprecia en el Cuadro 8.

El contenido total de potasio en la planta (Cuadro 8), presentó en general una correlación mejor con el potasio intercambiable de los suelos y subsuelos que el porcentaje de potasio y el peso seco de la planta.

En los resultados obtenidos (Cuadro 8), se observó que los valores de los coeficientes entre el peso seco de la planta y el potasio intercambiable en general, fueron muy bajos y no

CUADRO 5. PESO SECO DE LA PLANTA DE TOMATE BAJO DOS NIVELES DE ABONAMIENTO POTASICO Y SU RENDIMIENTO RELATIVO (1a. COSECHA EN INVERNADERO).

MUESTRAS	S u e l l o		Rendimiento relativo (a)	S u b s u e l l o		Rendimiento relativo
	Testigo	± K ₀ (b)		Testigo	- K ₀	
	g/maceta	g/maceta	g/maceta	g/maceta	g/maceta	g/maceta
	0,2	8,2	143,86	0,1	7,4	102,77
	5,7	5,9	111,86	0,03	4,9	87,50
	6,6	9,6	100,00	0,20	8,4	100,00
	10,3	10,5	98,09	0,70	6,6	92,95
	9,3	10,2	91,17	0,10	7,1	93,42
	9,8	10,2	96,07	0,30	7,2	87,80
	4,7	5,4	87,03	0,01	3,9	78,0
	10,1	8,8	114,77	-	-	-
	15,9	17,3	91,90	0,1	4,3	87,75
	7,8	8,8	88,63	0,1	4,9	85,96
	10,5	12,8	82,03	0,1	2,1	51,22
	6,6	7,1	92,95	-	-	-
	7,4	6,7	110,44	0,3	6,9	92,00
	8,5	8,9	95,50	0,2	6,8	86,07

Aluviiales:

CR-42 0,2 8,2 143,86 0,1 7,4 102,77

Andosoles:

CR-6 1,15 6,6 111,86 0,03 4,9 87,50
 CR-7 2,28 9,6 100,00 0,20 8,4 100,00
 CR-8 0,85 10,3 98,09 0,70 6,6 92,95
 CR-9 0,20 9,3 91,17 0,10 7,1 93,42
 CR-10 0,30 9,8 96,07 0,30 7,2 87,80
 CR-11 0,10 4,7 87,03 0,01 3,9 78,0
 CR-29 0,2 10,1 114,77 - - -
 CR-35 0,2 15,9 91,90 0,1 4,3 87,75
 CR-36 0,1 7,8 88,63 0,1 4,9 85,96
 CR-37 0,1 10,5 82,03 0,1 2,1 51,22
 CR-39 0,3 6,6 92,95 - - -
 CR-40 0,2 7,4 110,44 0,3 6,9 92,00
 CR-41 0,4 8,5 95,50 0,2 6,8 86,07

Cuadro 5. Continuación...

Muestras	S u e l o		Rendimiento relativo (a)		S u b s u e l o		Rendimiento relativo	
	Testigo	±K ₀ (b)	±K ₂₀₀ (c)	%	Testigo	±K ₀	±K ₂₀₀	%
	g/maceta	g/maceta	g/maceta	%	g/maceta	g/maceta	g/maceta	%
Latosoles:								
CR-12	0,04	3,4	3,1	109,67	0,05	2,4	3,5	68,57
CR-15	0,04	3,2	3,6	88,89	0,05	2,1	2,8	75,00
CR-16	0,1	6,4	7,6	84,21	0,1	3,0	3,7	81,08
CR-17	0,1	6,1	6,3	96,82	0,1	1,8	3,6	50,00
CR-23	0,05	1,5	4,8	31,25	0,05	0,4	3,6	11,11
CR-25	0,05	3,8	4,1	92,68	0,05	1,9	4,2	45,23
CR-27	0,1	6,1	5,9	103,39	0,05	1,7	4,4	38,63
CR-28	0,05	5,9	6,2	95,16	0,05	2,0	5,5	36,36
CR-31	0,1	9,3	9,0	103,33	0,1	3,7	4,9	75,51
CR-32	0,1	12,4	13,7	90,51	0,1	3,1	8,1	38,27
CR-33	0,2	12,9	16,4	78,65	0,1	2,8	4,5	62,22
CR-34	0,1	9,3	13,3	69,92	0,1	4,8	7,1	67,60
CR-38	0,1	6,3	8,3	75,90	0,1	5,6	7,2	77,77
CR-43	0,0	2,8	6,9	40,51	0,0	0,7	3,9	17,94
CR-44	0,1	5,3	6,0	88,33	0,0	5,9	7,6	77,63
CR-45	0,0	3,9	3,7	105,40	0,0	1,3	5,5	23,63
CR-46	0,0	1,8	5,3	33,96	0,0	0,4	5,5	7,27

(a) Rendimiento relativo = $\frac{K_0}{K_{200}}$ $K_{200} \times 100 = \% R.R.$ (b) ±K₀ = tratamiento completo menos potasio(c) ±K₂₀₀ = tratamiento completo más 200 kgs/ha de potasio

CUADRO 6. CONTENIDO TOTAL DE POTASIO EN LA PLANTA DE TOMATE BAJO DOS NIVELES DE ABONAMIENTO POTASICO Y SU RENDIMIENTO RELATIVO (la. COSECHA EN INVERNADERO)

MUESTRAS	S u e l o		Rendimiento		S u b s u e l o		Rendimiento relativo	
	Testigo	≤ K ₀ (b)	≤ K ₂₀₀ (c)	relativo (a)	Testigo	≤ K ₀		
	m g / m a c e t a		%		m g / m a c e t a			%
Aluviales:								
CR-42	13,2	348,5	230,8	150,9	3,7	268,2	214,2	125,2
Andosoles:								
CR-6	27,0	61,3	121,5	50,4	0,6	24,0	92,4	25,9
CR-7	62,7	204,4	264,0	77,4	7,8	231,0	267,9	86,2
CR-8	37,2	270,9	345,4	78,4	17,1	62,0	133,4	46,4
CR-9	7,5	224,1	286,6	78,1	2,7	159,7	228,0	70,0
CR-10	16,1	263,6	316,2	83,3	22,5	189,3	230,4	82,1
CR-11	0,4	42,3	101,5	41,6	0,2	44,0	89,5	49,1
CR-29	4,8	63,1	121,0	52,1	-	-	-	-
CR-35	5,3	120,0	203,2	59,0	2,9	16,1	65,5	24,5
CR-36	3,1	42,9	99,0	43,3	3,0	34,3	75,5	45,4
CR-37	2,2	42,0	108,8	36,6	2,8	9,4	56,8	16,5
CR-39	11,1	133,6	202,3	66,0	-	-	-	-
CR-40	7,9	164,6	190,9	66,2	11,1	174,2	241,3	72,1
CR-41	24,0	295,3	329,3	89,6	8,8	154,7	203,4	76,0
Latosoles:								
CR-12	-	18,2	56,9	31,9	-	12,3	69,6	17,6
CR-15	-	19,5	12,6	154,7	-	10,6	51,8	20,4

Cuadro 6. Continuación...

Muestras	S u e l o		Rendimiento relativo (a)		S u b s u e l o		Rendimiento relativo	
	Testigo	±K ₀ (b)	±K ₂₀₀ (c)	%	Testigo	±K ₂₀₀		
	m g / m a c e t a		%		m g / m a c e t a			
CR-16	3,5	127,2	198,5	64,0	2,8	46,5	86,2	53,9
CR-17	2,0	35,3	111,8	31,5	1,2	8,3	65,7	12,6
CR-23	1,1	7,5	84,0	8,9	-	1,6	53,4	2,9
CR-25	-	57,0	103,5	55,0	1,7	17,1	78,7	21,7
CR-27	3,9	121,0	162,2	74,5	1,5	14,4	73,7	19,5
CR-28	1,8	88,5	148,1	59,7	1,2	11,0	75,6	14,5
CR-31	1,6	46,5	99,0	46,9	-	12,0	59,4	20,2
CR-32	1,6	40,3	119,8	33,6	-	13,9	74,9	18,5
CR-33	4,1	62,8	152,5	41,1	1,2	8,6	60,1	14,3
CR-34	1,5	27,0	94,7	28,5	-	16,2	71,0	22,8
CR-38	2,5	103,9	176,3	58,9	4,4	115,5	225,0	51,3
CR-43	-	11,9	76,7	15,5	-	3,2	47,7	6,7
CR-44	0,3	55,6	109,5	50,7	-	41,3	109,2	37,8
CR-45	-	21,4	66,6	32,1	-	6,1	68,0	8,9
CR-46	-	8,1	67,5	12,0	-	1,7	61,8	2,7

(a) Rendimiento relativo = K_0 (b) $\frac{K_0}{K_{200}} \times 100 = \% R.R.$ (c) $\frac{K_0}{K_{200}}$ = tratamiento completo menos potasio(d) $\frac{K_0}{K_{200}}$ = tratamiento completo más 200 kg/ha potasio

CUADRO 7. PORCIENTO (%) DE POTASIO EN LA PLANTA DE TOMATE BAJO DOS NIVELES DE ABONAMIENTO POTASICO Y SU RENDIMIENTO RELATIVO (la. COSECHA EN INVIERNO)

MUESTRAS	S u e l o		Rendimiento relativo (a) %		S u b s u e l o		Rendimiento relativo	
	Testigo	⊗K ₀ (b)	⊗K ₂₀₀ (c)		Testigo	⊗K ₀	⊗K ₂₀₀	
	m g / m a c e t a				m g / m a c e t a		%	
Aluviales:								
CR-42	6,62	4,25	4,05	104,9	3,75	3,62	2,97	121,8
Andosoles:								
CR-6	2,35	0,93	2,06	45,1	1,95	0,49	1,65	29,6
CR-7	2,75	2,13	2,75	77,4	3,90	2,75	3,19	86,2
CR-8	4,38	2,63	3,29	79,9	2,45	0,94	1,88	50,0
CR-9	3,75	2,41	2,81	85,7	2,75	2,25	3,00	75,0
CR-10	5,38	2,69	3,10	36,7	7,50	2,63	2,81	93,5
CR-11	3,80	0,90	1,88	47,8	2,15	1,13	1,79	63,1
CR-29	2,42	0,62	1,37	45,4	-	-	-	-
CR-35	2,65	0,75	1,17	64,2	2,97	0,37	1,33	28,0
CR-36	3,17	0,55	1,12	48,8	3,00	0,70	1,32	52,8
CR-37	2,25	0,40	0,85	47,0	2,80	0,45	1,38	32,4
CR-39	3,70	2,02	2,85	71,0	-	-	-	-
CR-40	3,98	2,22	2,85	78,0	3,70	2,52	3,21	78,4
CR-41	6,00	3,47	3,70	93,9	4,42	2,27	2,57	88,3
Latosoles:								
CR-12	-	0,53	1,83	29,2	-	0,51	1,99	25,7
CR-15	-	0,61	0,35	174,0	-	0,50	1,85	27,2

Cuadro 7. Continuación...

Muestras	S u e l o		Rendimiento relativo (a)		S u b s u e l o		Rendimiento relativo
	Testigo	≤ K ₀ (b)	≤ K ₂₀₀ (c)	Testigo	≤ K ₀	≤ K ₂₀₀	
	m g / m a c e t a a	m g / m a c e t a a	%	m g / m a c e t a	%	%	
CR-16	3,45	1,98	2,61	2,87	1,55	2,33	66,5
CR-17	2,05	0,58	1,77	1,28	0,46	1,82	25,4
CR-23	2,28	0,50	1,75	-	0,42	1,48	28,4
CR-25	-	1,50	2,52	3,47	0,90	1,87	48,0
CR-27	3,91	1,98	2,75	3,11	0,85	1,67	50,7
CR-28	3,63	1,50	2,39	2,38	0,55	1,37	40,0
CR-31	1,65	0,50	1,10	-	0,32	1,21	26,8
CR-32	1,60	0,32	0,87	-	0,45	0,92	48,6
CR-33	2,05	0,48	0,93	1,25	0,30	1,33	22,9
CR-34	1,55	0,29	0,71	-	0,33	1,00	33,7
CR-38	2,56	1,65	2,12	4,47	2,06	3,12	66,0
CR-43	-	0,42	1,11	-	0,46	1,22	37,7
CR-44	0,30	1,05	1,82	-	0,70	1,43	48,6
CR-45	-	0,55	1,80	-	0,47	1,23	38,3
CR-46	-	0,45	1,27	-	0,43	1,12	38,8

(a) Rendimiento relativo = $\frac{K_{200}}{K_0} \times 100 = \% R.R.$ (b) - K₀ = tratamiento completo menos potasio(c) ≤ K₂₀₀ = tratamiento completo más 200 kgs/ha de potasio

CUADRO 8. COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL (r) ENTRE DIFERENTES METODOS DE EXTRACCION DE POTASIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS Y SUBSUELOS Y LOS VALORES DE PESO SECO, CONTENIDO TOTAL DE POTASIO Y CONCENTRACION DE POTASIO EN LAS PLANTAS.

Soluciones extractoras	MUESTRAS	Peso seco - planta		potasio total - planta		% K planta	
		\bar{x} K ₀ (b)	Rendimiento relativo (c)	Rendimiento relativo	Rendimiento relativo	% K planta	Rendimiento relativo
NH ₄ -Ac	Suelos (a)	0,358	0,221	0,847***	0,449*	0,750***	0,399*
	" andos.	0,102	-0,058	0,780**	0,693**	0,716**	0,741**
	" latos.	0,438	0,185	0,867***	0,283	0,716**	0,276
	Subsuelos	0,727***	0,512**	0,904***	0,828***	0,863***	0,804***
	" andos.	0,709*	0,411	0,870***	0,822**	0,866***	0,811**
	" latos.	0,749***	0,507*	0,928***	0,789**	0,781***	0,643**
Morgan	Suelos	0,443*	0,250	0,852***	0,454*	0,719***	0,397*
	" andos.	0,197	-0,022	0,755**	0,663*	0,650*	0,696**
	" latos.	0,473	0,135	0,779***	0,256	0,577*	0,269
	Subsuelos	0,764***	0,571**	0,834***	0,790***	0,764***	0,712***
	" andos.	0,758**	0,513	0,745**	0,704*	0,698*	0,643*
	" latos.	0,743**	0,582*	0,880***	0,832***	0,747***	0,613**
Mehlich	Suelos	0,433*	0,232	0,822***	0,453*	0,695***	0,403*
	" andos.	0,243	-0,051	0,732**	0,659*	0,626*	0,701**
	" latos.	0,422	0,161	0,786***	0,306	0,597*	0,309
	Subsuelos	0,709***	0,516**	0,904***	0,806***	0,851***	0,759***
	" andos.	0,713*	0,440	0,878***	0,790**	0,840**	0,746**
	" latos.	0,674**	0,592*	0,923***	0,821***	0,822***	0,589*

(a) Suelos en general: andosoles más latosoles (d) Estos resultados se obtuvieron al comparar algunos de los resultados del Cuadro 4 con
 (b) Peso seco para el tratamiento \leq K₀ los resultados de los Cuadros 5, 6 y 7
 (c) Peso seco expresado como rendimiento relativo ** Significancia al 1% *** Significancia al 1%

significativos, excepto para los suelos tomados en conjunto y para los subsuelos de latosoles, en donde fueron altamente significativos. Las relaciones entre esos valores (Figuras 2, 3 y 4) en general parece no existir, especialmente en los suelos. Esto es explicable en parte si se tiene en cuenta que el peso seco de la planta puede ser afectado no sólo por el contenido de potasio en el suelo, sino también por otros factores que influyen en el crecimiento vegetal.

Se puede observar (Cuadro 8) que el coeficiente de correlación más alto se obtuvo con el potasio intercambiable extraído con acetato de amonio en los subsuelos de latosoles ($r_2: 0.749***$). En los subsuelos de andosoles, sólo se obtuvo una correlación altamente significativa con el potasio obtenido con la solución Morgan y significativas con las soluciones de acetato de amonio y Mehlich.

En cuanto a las relaciones entre el rendimiento relativo del peso seco de la planta y los valores de potasio intercambiable obtenidas en los suelos y subsuelos para las tres soluciones, en el Cuadro 8 se puede observar que los coeficientes de correlación lineal fueron bastante bajos y sólo fueron significativos en los subsuelos tomados en conjunto. En las Figuras 2, 3 y 4 se puede observar que, mientras en los suelos los rendimientos relativos no muestran u

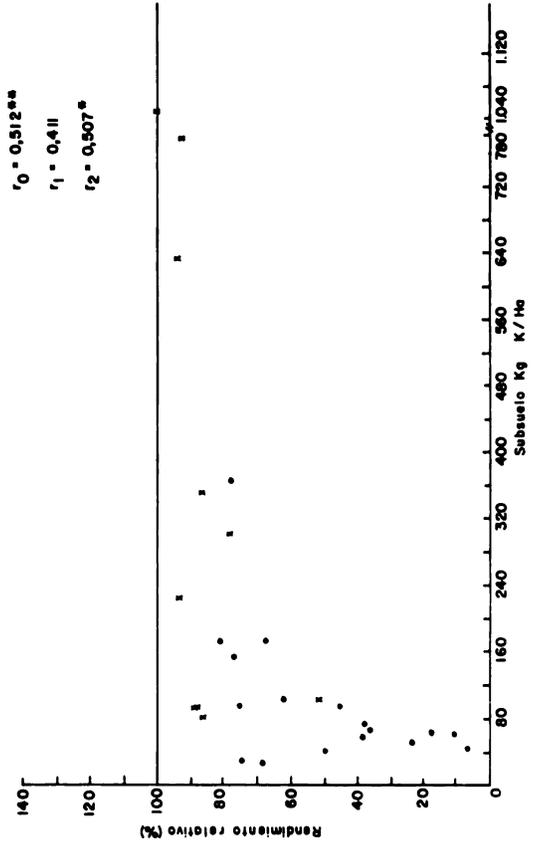
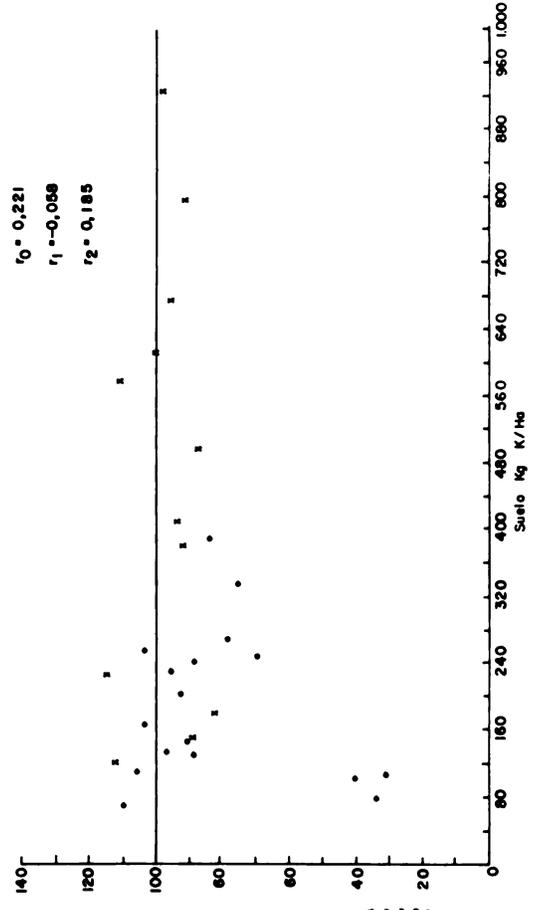
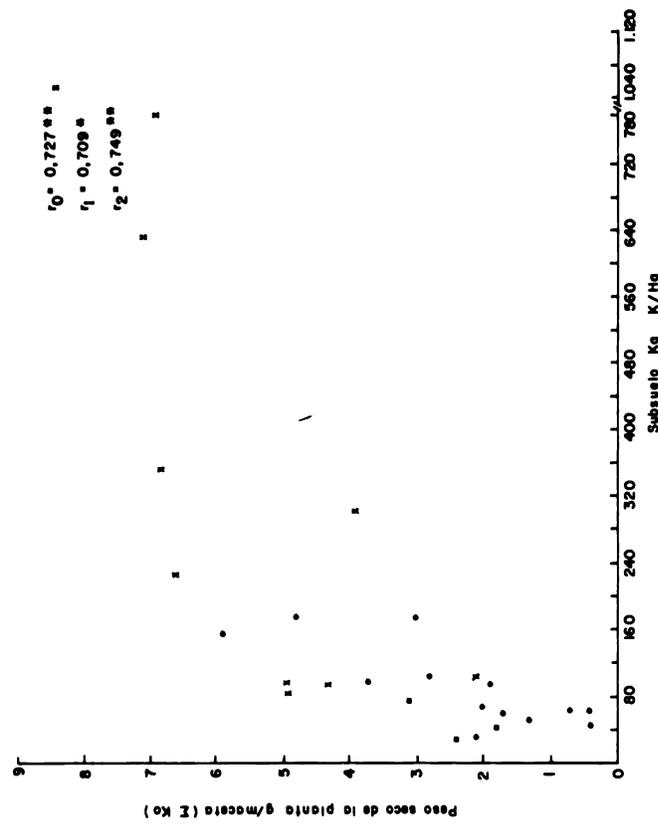
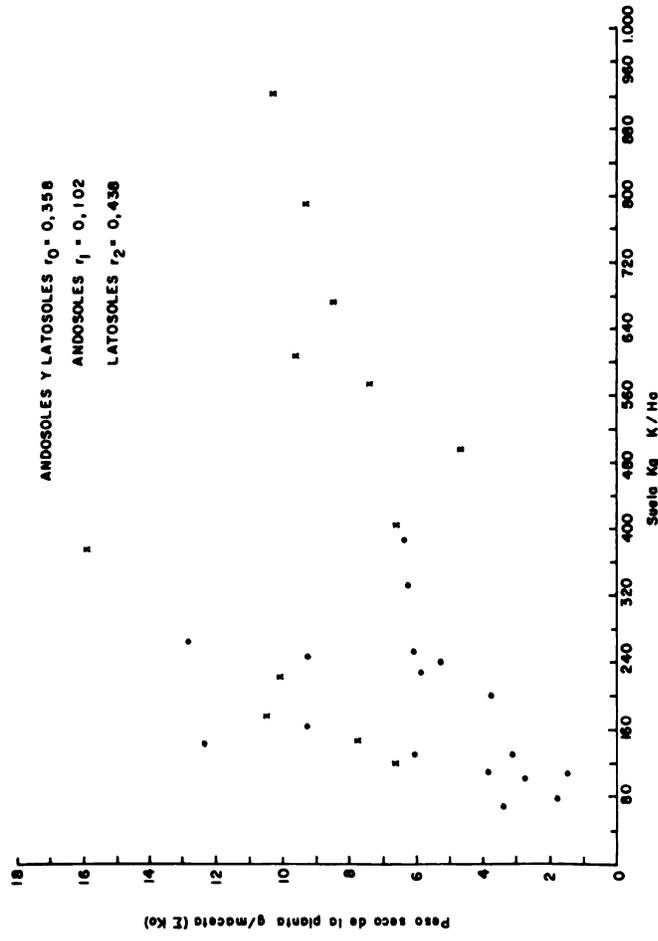
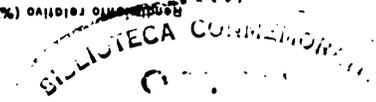
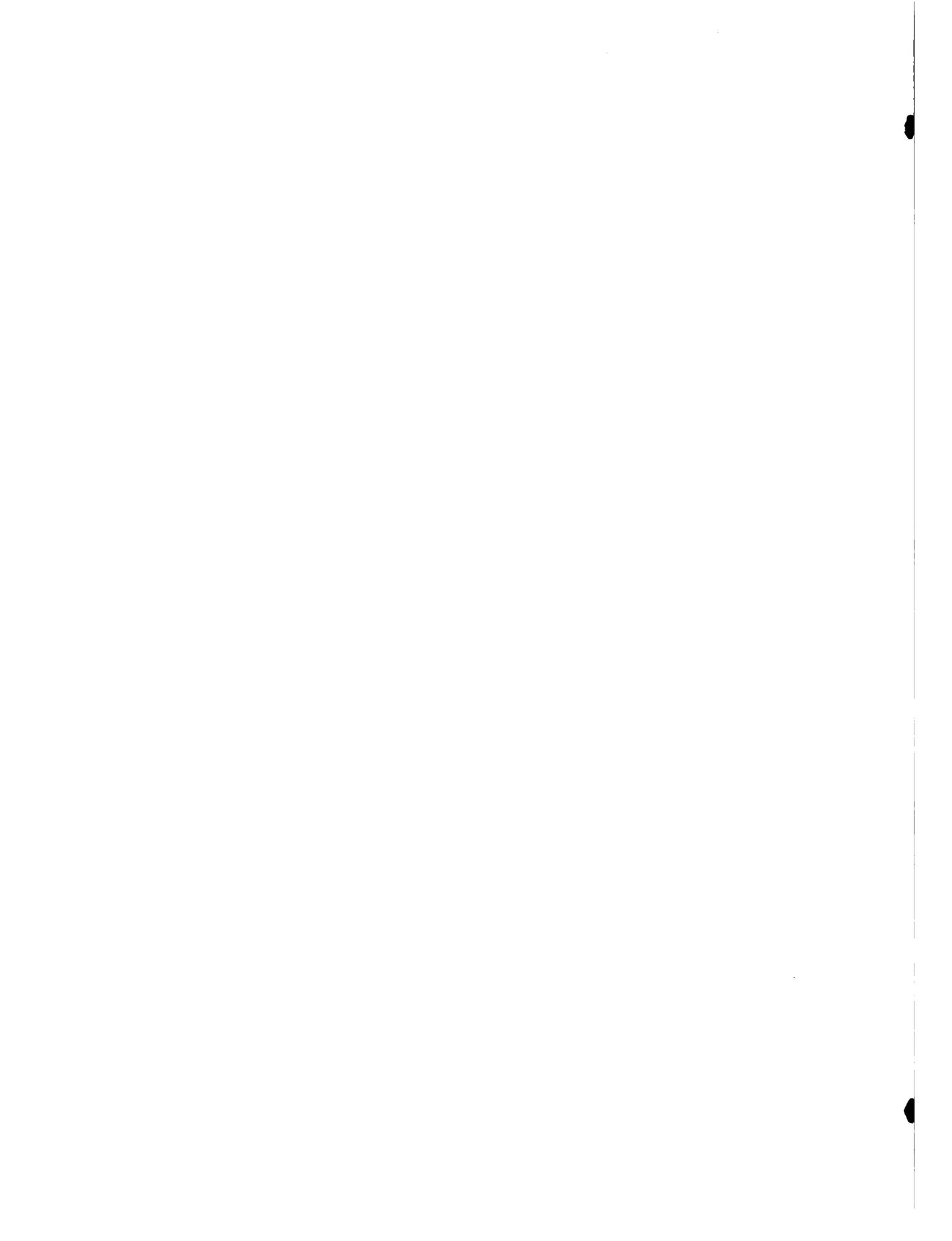


Fig. 2. Relaciones entre el peso seco de la planta y su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución de acetato de amonio en andosiles y latosiles.





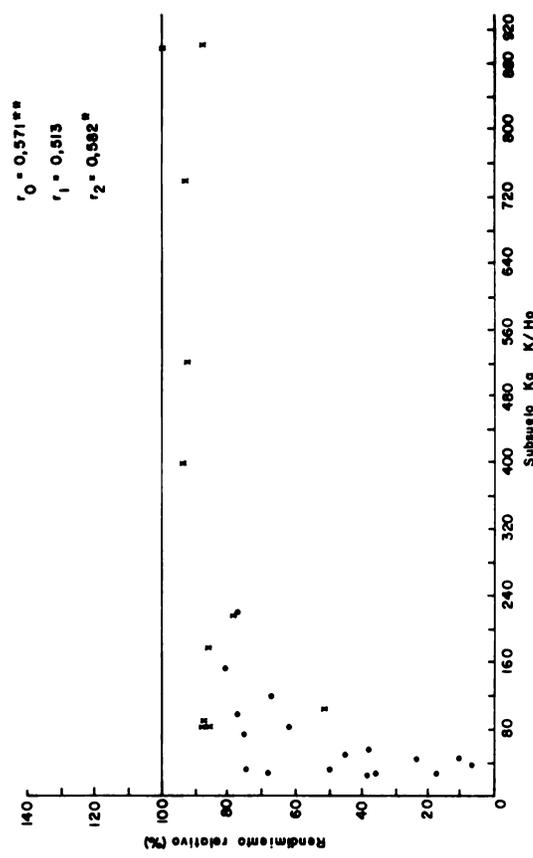
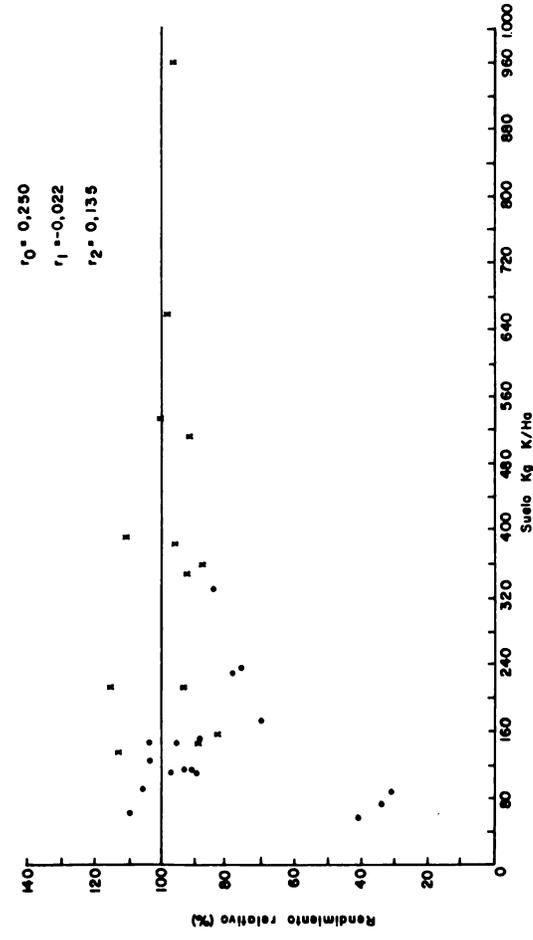
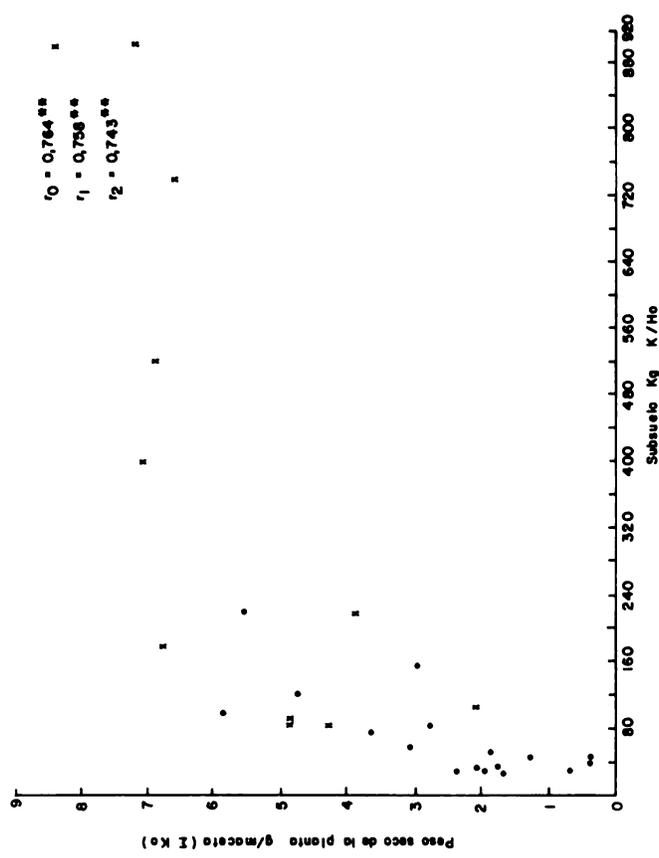
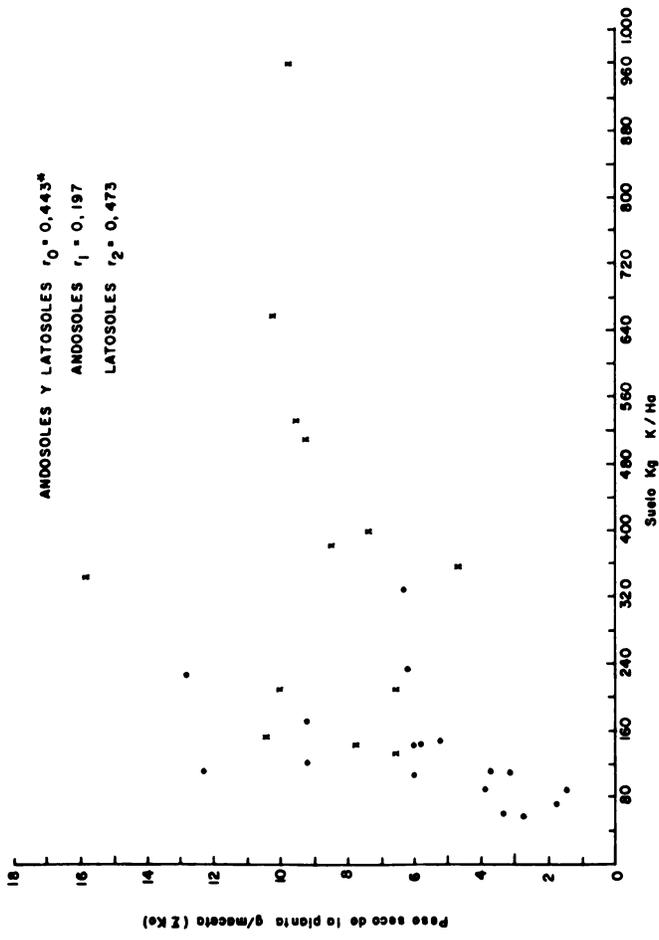


Fig. 3 Relaciones entre el peso seco de la planta y su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución Morgan en andsoles y latosoles.

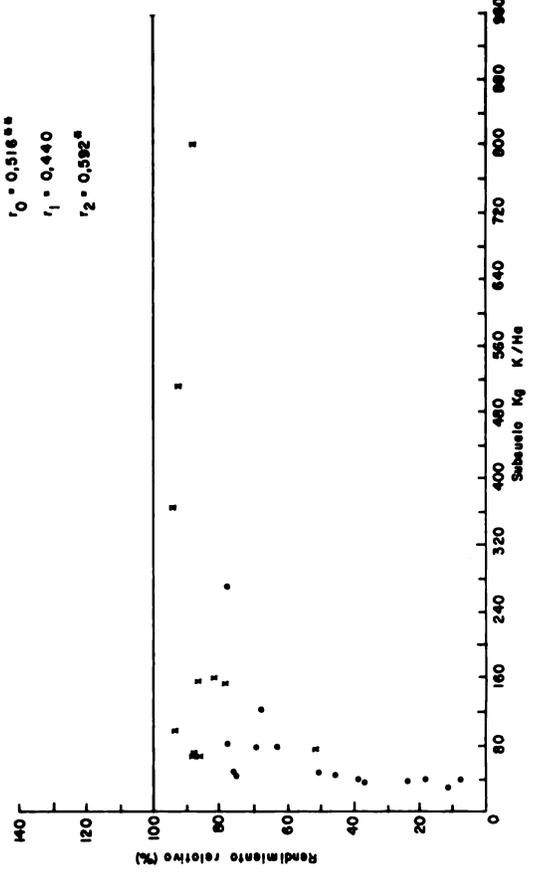
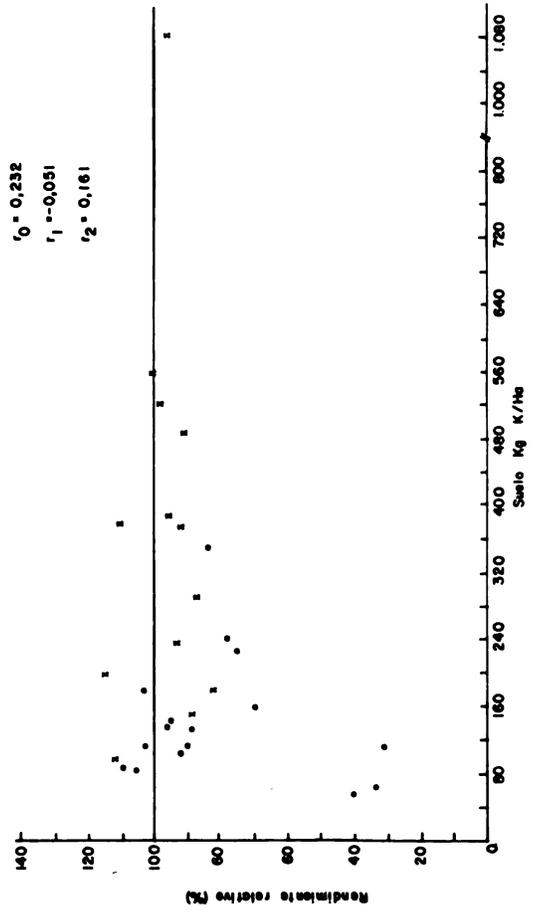
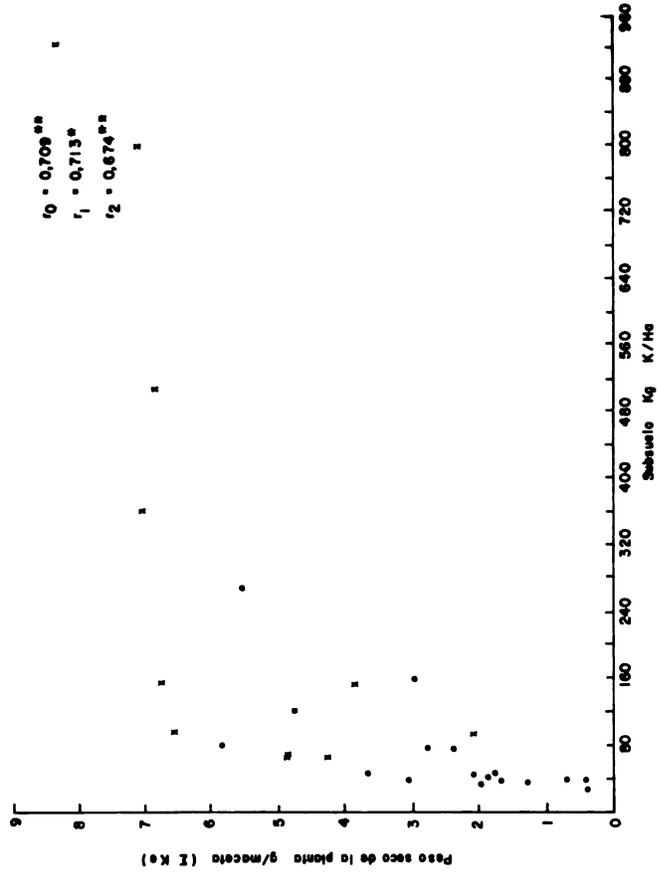
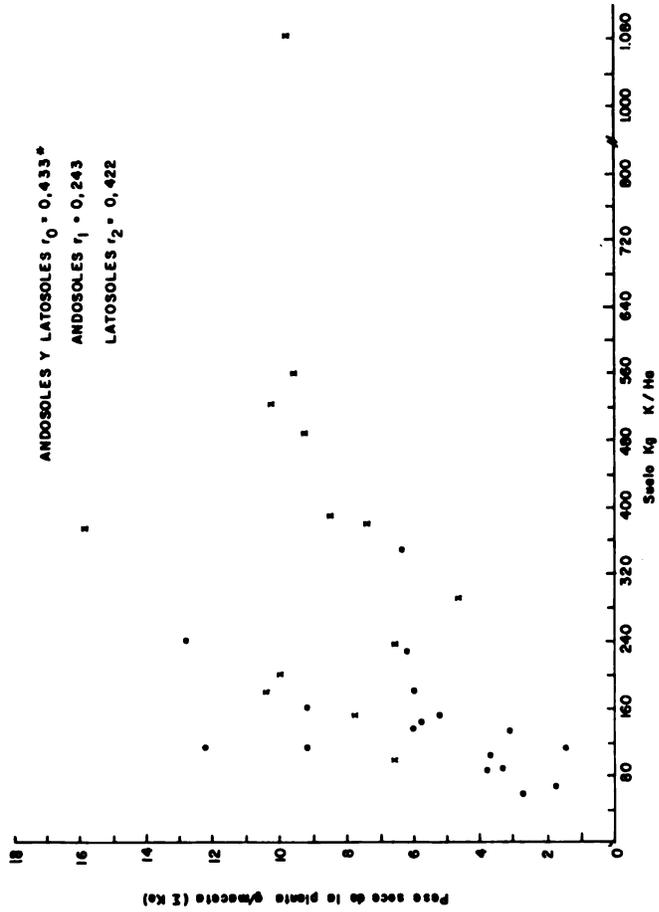


Fig. 4 Relaciones entre el peso seco de la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución Mehlich en andsoles* y latosiles*

na relación definida, en los subsuelos se aprecia una de tipo curvilíneo.

Las relaciones entre el contenido de potasio intercambiable en los suelos y el contenido total de potasio en la planta, se pueden apreciar claramente en las Figuras 5, 6 y 7, en que se observa que son de tipo lineal.

Al examinar la tercera columna del Cuadro 8, se observa que tanto en los suelos como en los subsuelos de los andosoles y de los latosoles, las correlaciones entre el contenido total de potasio en la planta (tratamiento) y el potasio intercambiable obtenido con cualquiera de las tres soluciones extractoras, fueron altamente significativas. En Costa Rica, Bravo (13) encontró una correlación significativa entre el contenido total de potasio en el pasto Pangola y el potasio intercambiable extraído con acetato de amonio en suelos de la Mesa Central. Esta misma relación fue también encontrada por Freitas, McClung y Pimentel (30), obteniendo un coeficiente de correlación lineal muy significativo ($r:0,850^{***}$) al relacionar el contenido total de potasio en las hojas inferiores con el extraído con acetato de amonio en suelos del Brasil.

En los suelos y subsuelos de latosoles y en los suelos de andosoles, se observa que de las tres soluciones extractoras de

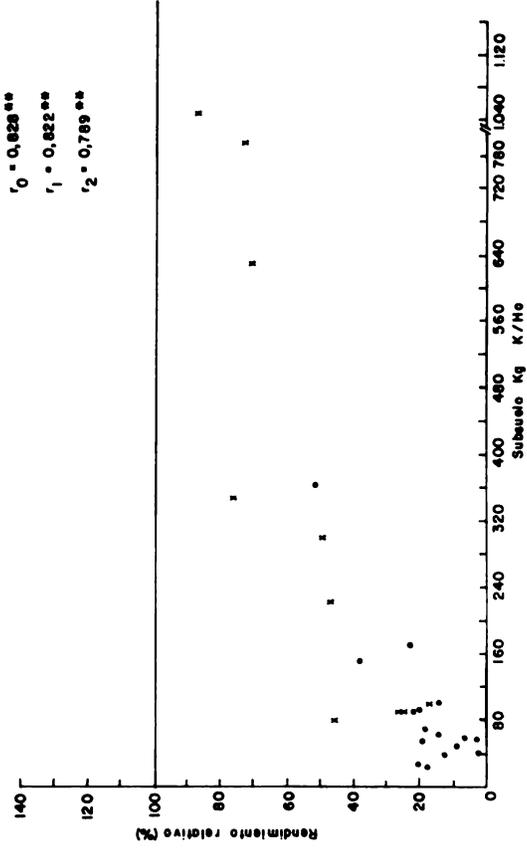
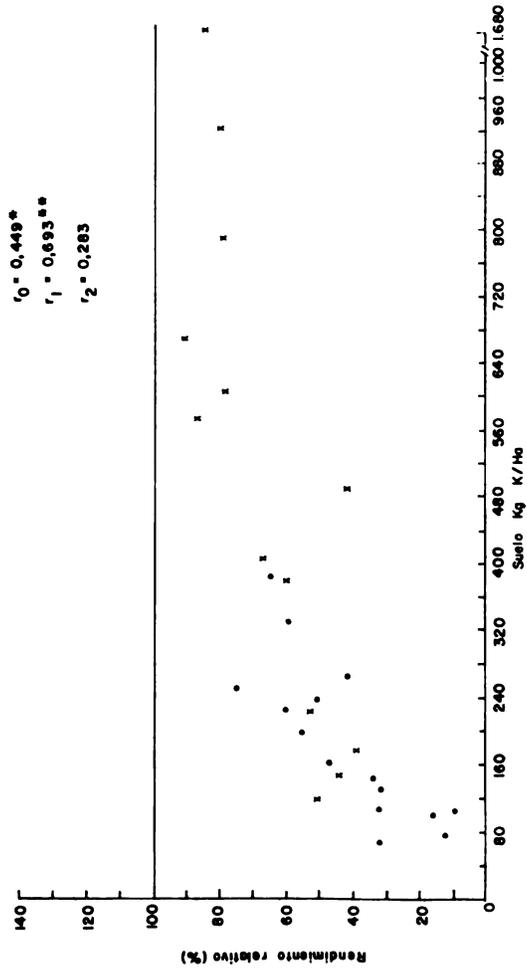
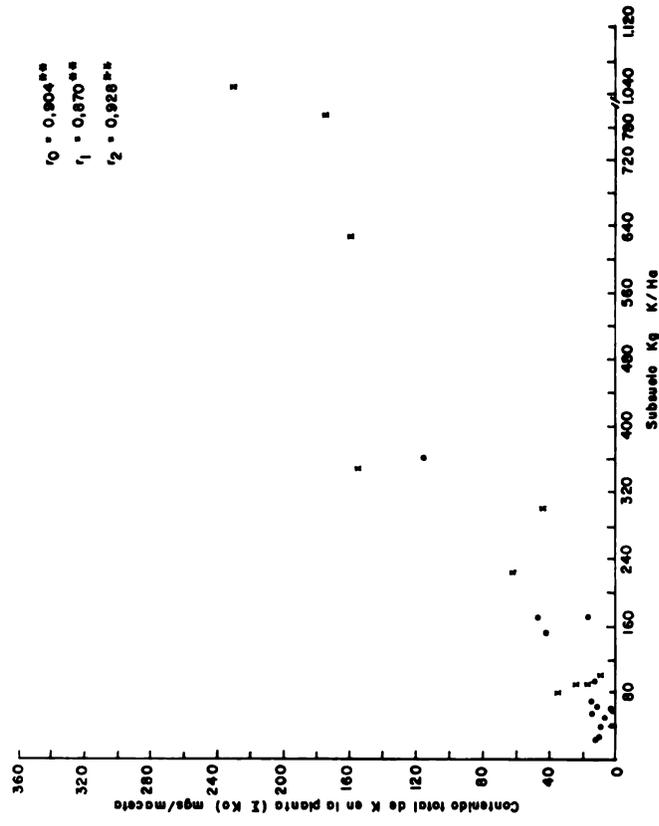
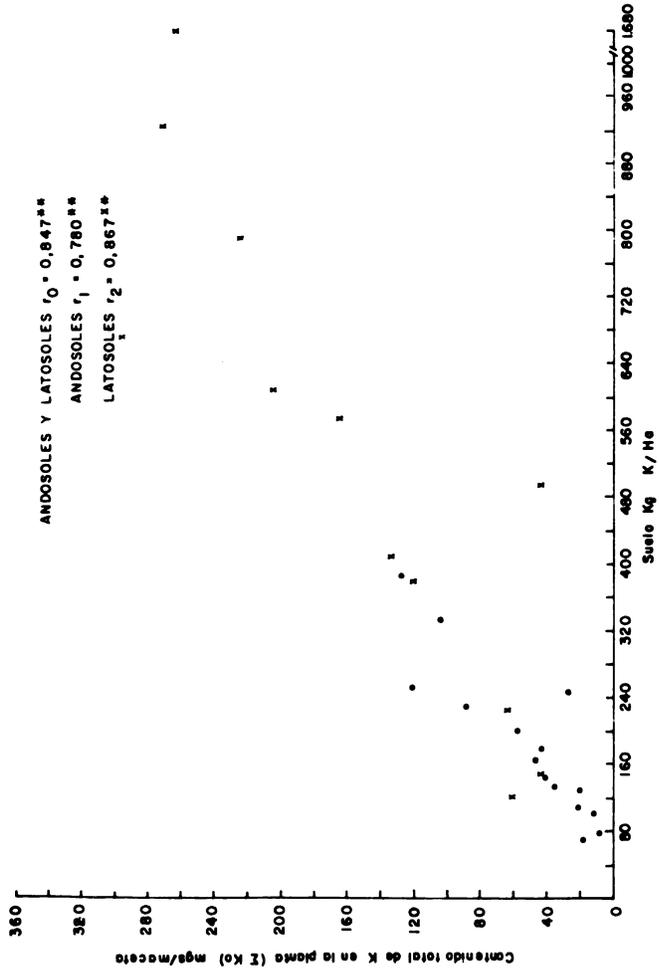


Fig. 5 Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta y su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución de acetato de amonio en andosiles* y latosiles*

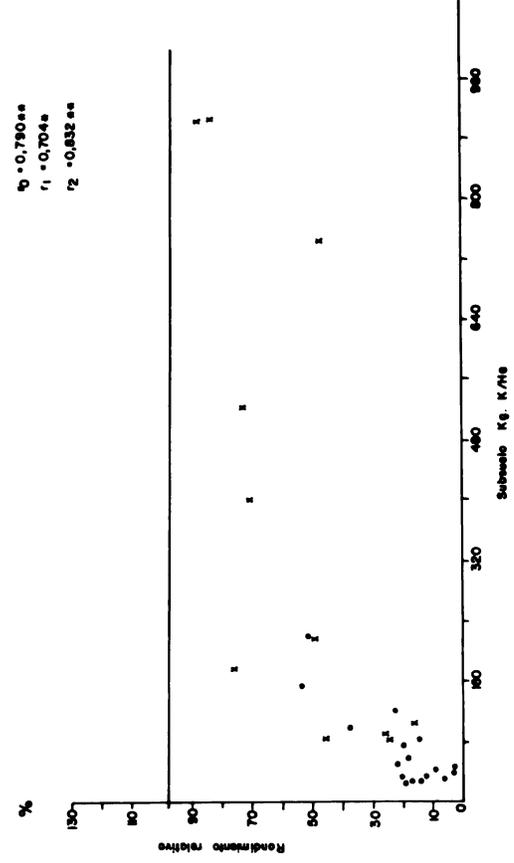
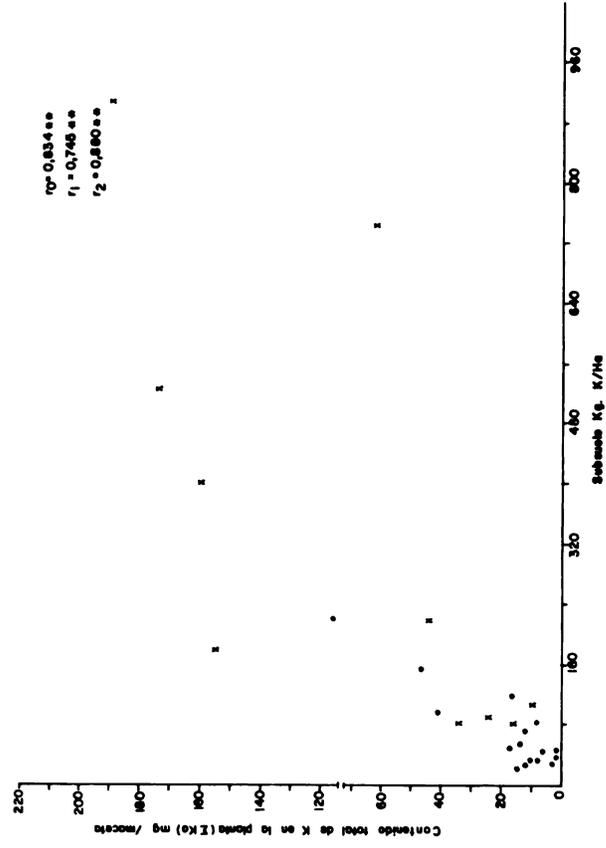
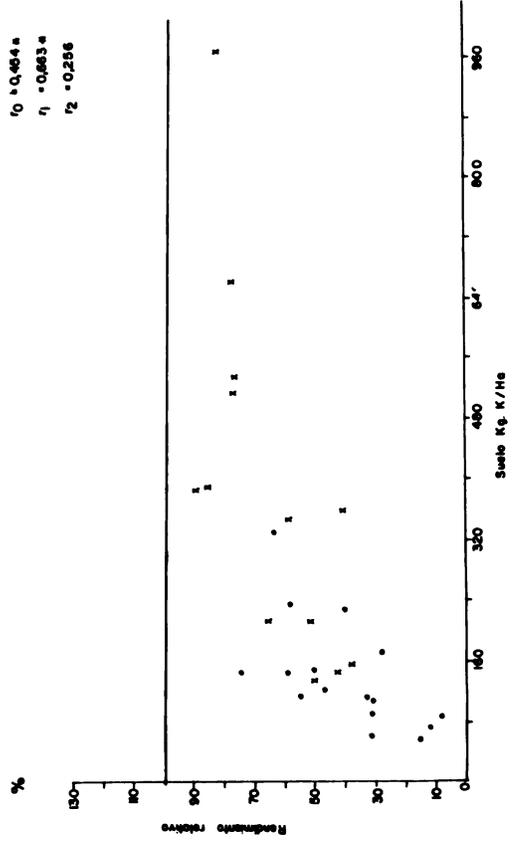
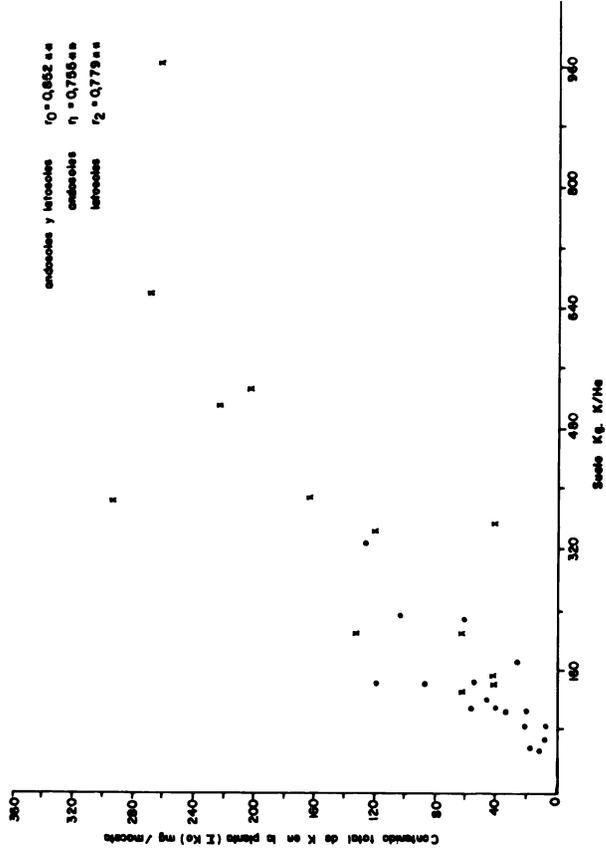
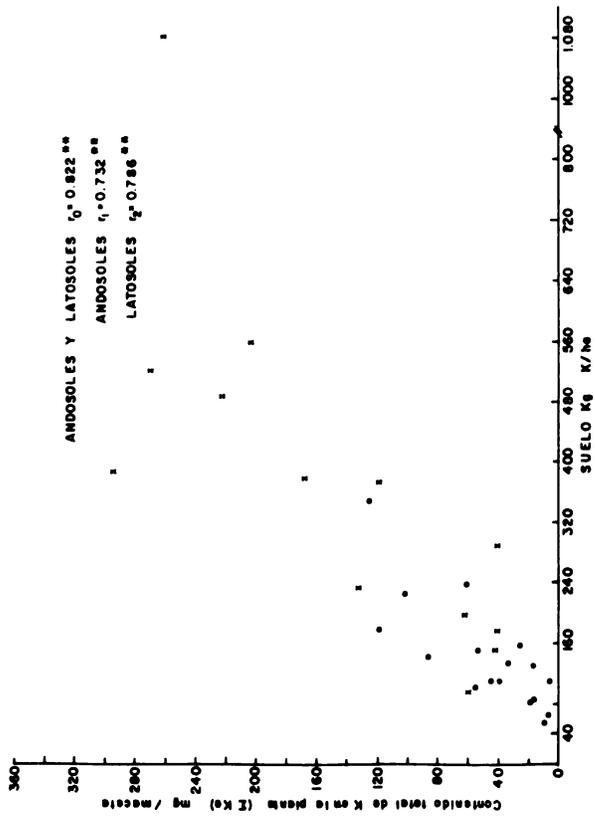
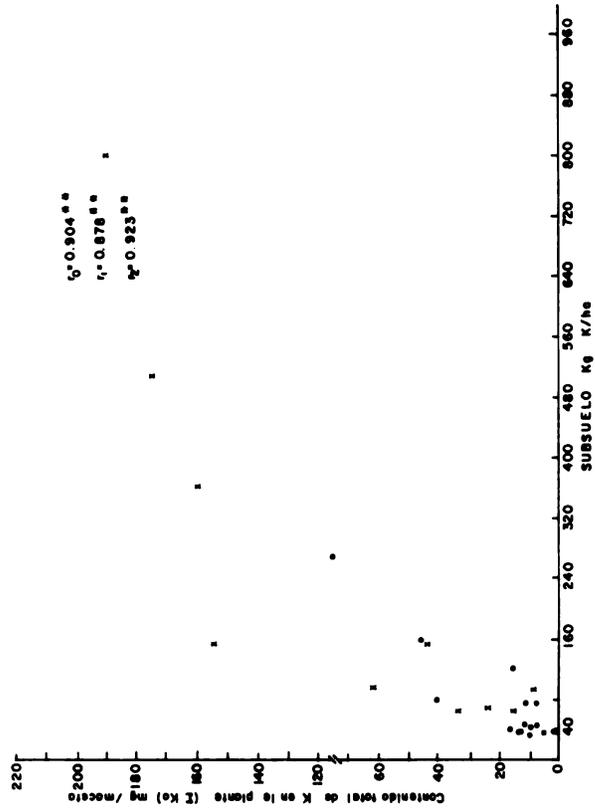


Fig. 6 Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución Morgan en amolcos(1) y litosolcos(2)



$r^2 = 0.483^*$
 $r = 0.699^*$
 $r^2 = 0.306$



$r^2 = 0.806^{**}$
 $r = 0.790^{**}$
 $r^2 = 0.821^*$

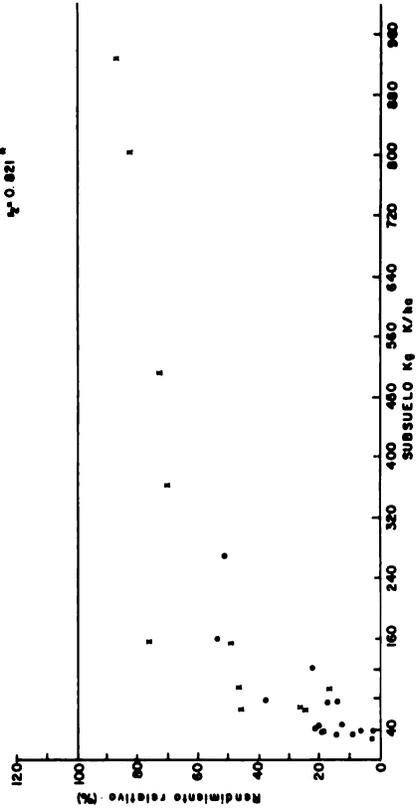
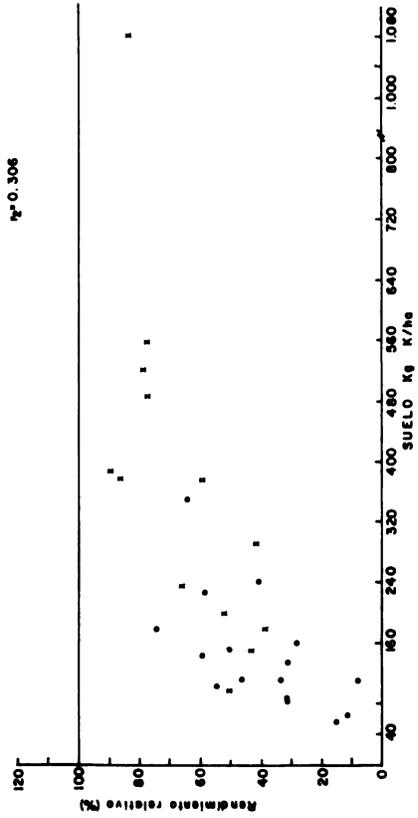


Fig. 7.- Rendimiento entre el contenido total de potasio en la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable estruido con la solución Mehlich en andosoles y latosoles.

potasio intercambiable, la que presentó los coeficientes de correlación lineal más altos fue el acetato de amonio (Cuadro 8), siendo éstos para los suelos tomados en conjunto $r_0:0,847^{***}$, para los suelos andosoles $r_1:0,780^{***}$ y para los suelos latosoles $r_2:0,867^{***}$; para los subsuelos tomados en conjunto $r_0:0,904^{***}$ y para los subsuelos latosoles $r_2:0,928^{***}$. Lo anterior no se observa en los subsuelos andosoles, en donde el coeficiente de correlación lineal más alto ($r_2:0,878^{***}$) fue obtenido con el potasio intercambiable extraído con la solución de Mehlich.

Los coeficientes de correlación lineal (Cuadro 8) de las relaciones entre el contenido total de potasio en la planta (tratamiento $\leq K_0$) y los valores de potasio intercambiable, obtenidos con las tres soluciones extractoras, fueron mayores en los subsuelos que en los suelos, excepto en los andosoles al utilizar la solución Morgan. Asimismo, al comparar (Cuadro 8) los coeficientes de correlación dentro de cada solución extractora, se observa que éstos fueron mayores en suelos y subsuelos latosoles que en los suelos y subsuelos andosoles respectivamente.

En cuanto a las relaciones entre el rendimiento relativo del contenido total de potasio en la planta y los valores de potasio intercambiable (Figuras 5, 6 y 7), se observan que las relaciones lineales no son muy claras. Asimismo, los coeficientes de correlación fueron menores que los encontrados con el contenido total de

potasio en la planta (tratamiento sin potasio K_0), pero fueron significativos en los suelos tomados en conjunto y altamente significativos para los subsuelos tomados en conjunto y para los subsuelos latosoles en las tres soluciones extractoras.

Las relaciones entre los porcentajes de potasio en la planta y los valores de potasio intercambiable en los suelos y subsuelos (Figuras 8, 9 y 10), aún cuando no son tan directas como sucede con el contenido total de potasio en la planta, presentan algunos coeficientes de correlación lineal significativos y altamente significativos (Cuadro 8). Tanto en los suelos como en los subsuelos de andosoles y suelos latosoles, las mejores correlaciones se obtuvieron con el potasio intercambiable extraído con la solución de acetato de amonio (Cuadro 8). Se encontraron coeficientes de correlación lineal altamente significativos ($r:0,808^{***}$) para esta relación de suelos del Brasil por Freitas, McClung y Pimentel (30).

Los coeficientes de correlación lineal fueron para los suelos en conjunto $r_0:0,750^{***}$ y para los subsuelos en conjunto $r:0,863^{***}$; en los suelos y subsuelos de andosoles, fueron $r_1:0,716^{**}$ y $r_1:0,866^{***}$ respectivamente y en los suelos y subsuelos de latosoles, fueron $r_2:0,716^{**}$ y $r_2:0,781$ respectivamente. Cabe anotar que en los subsuelos de latosoles, el coe

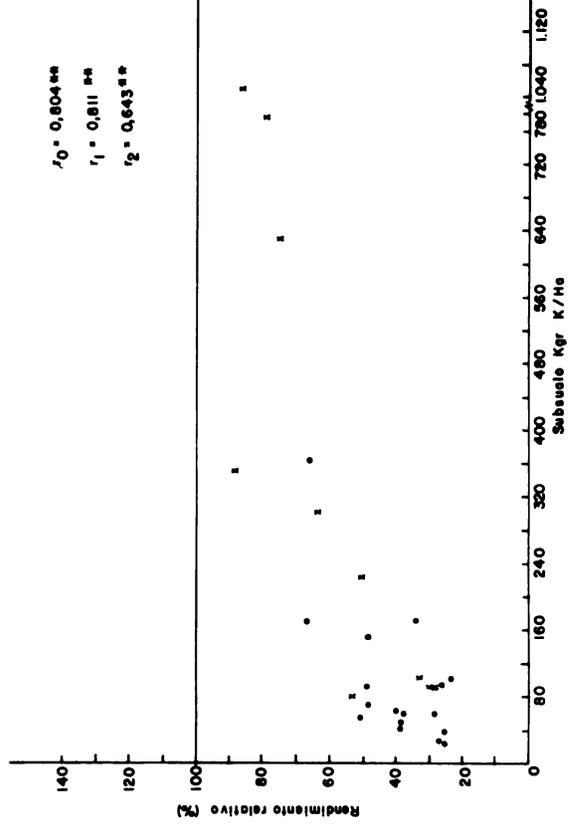
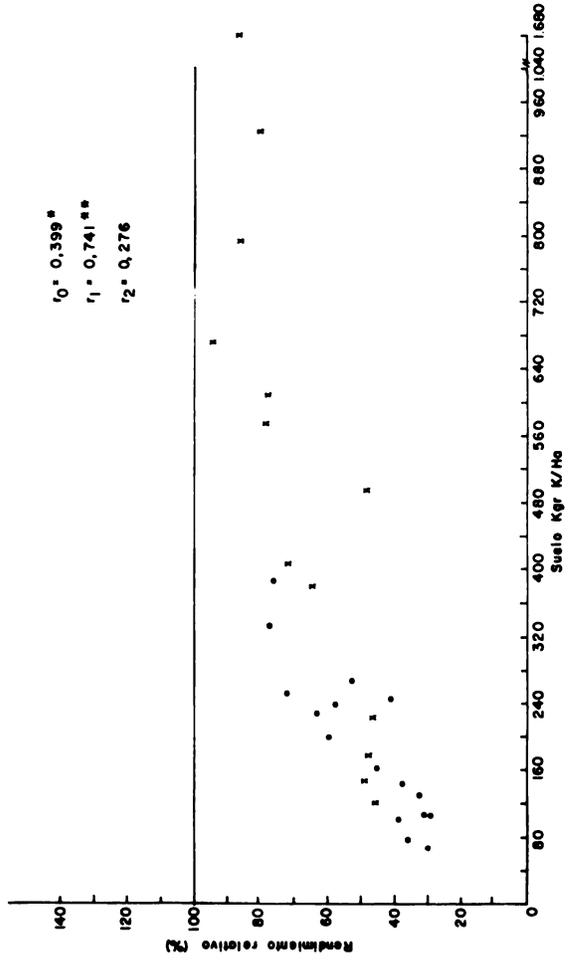
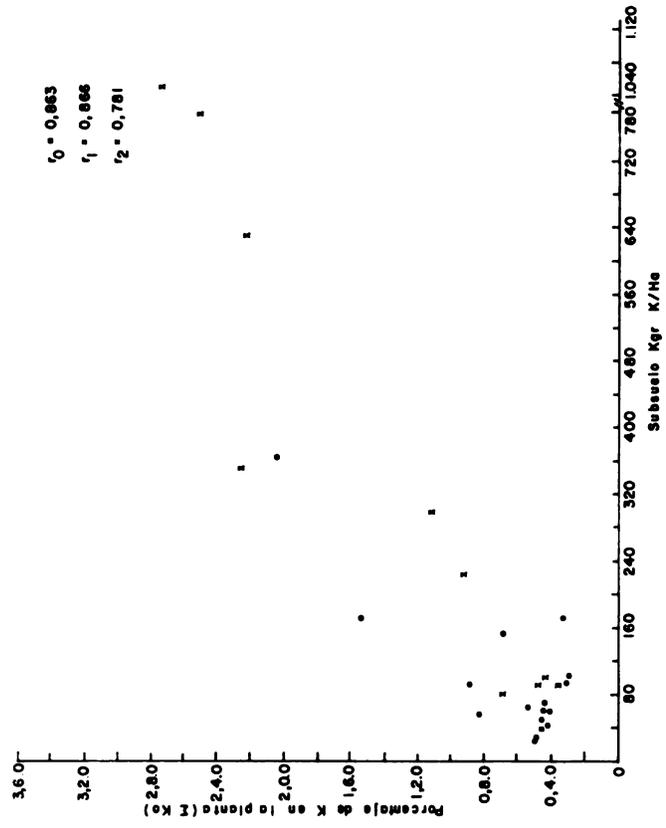
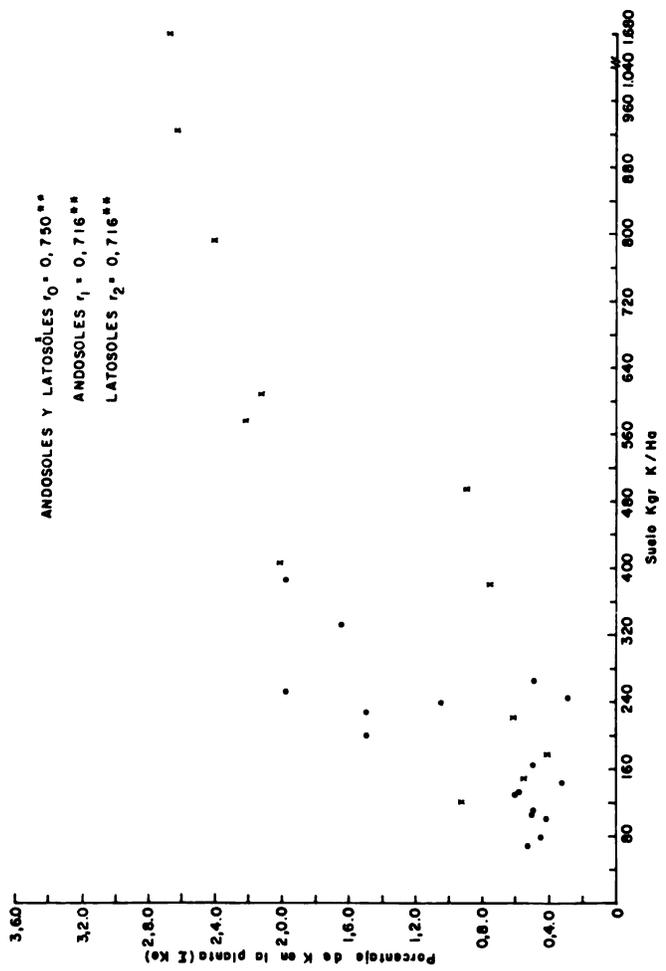


Fig. 8 Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución de acetato de amonio en andosoles¹ y latosoles²

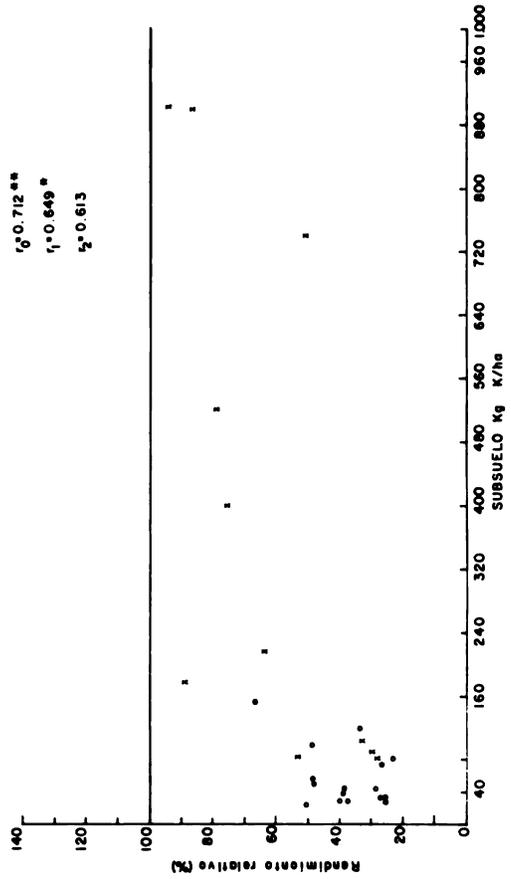
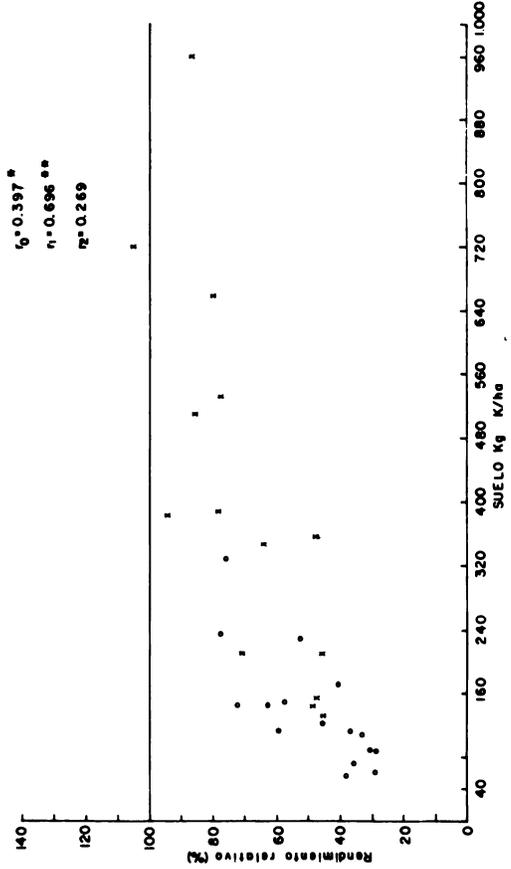
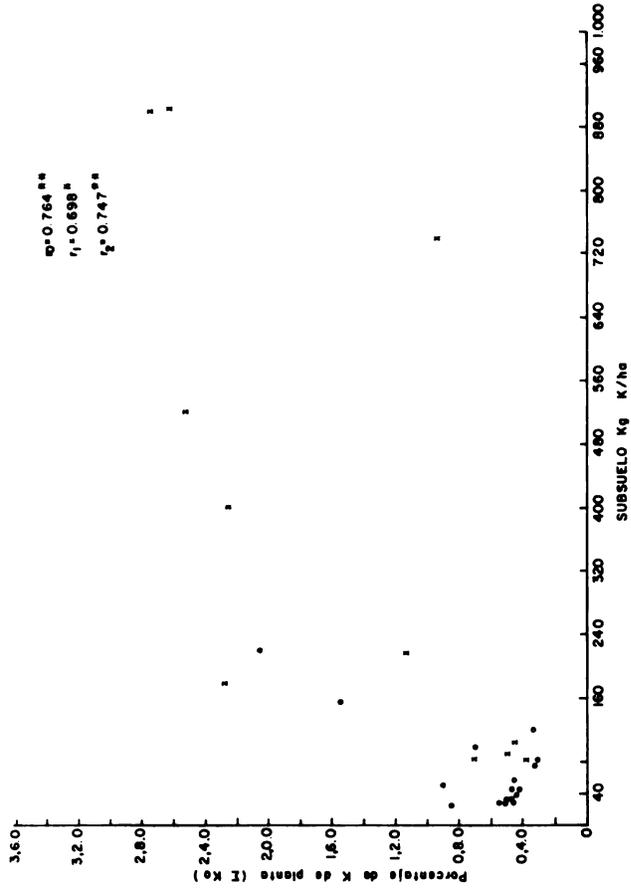
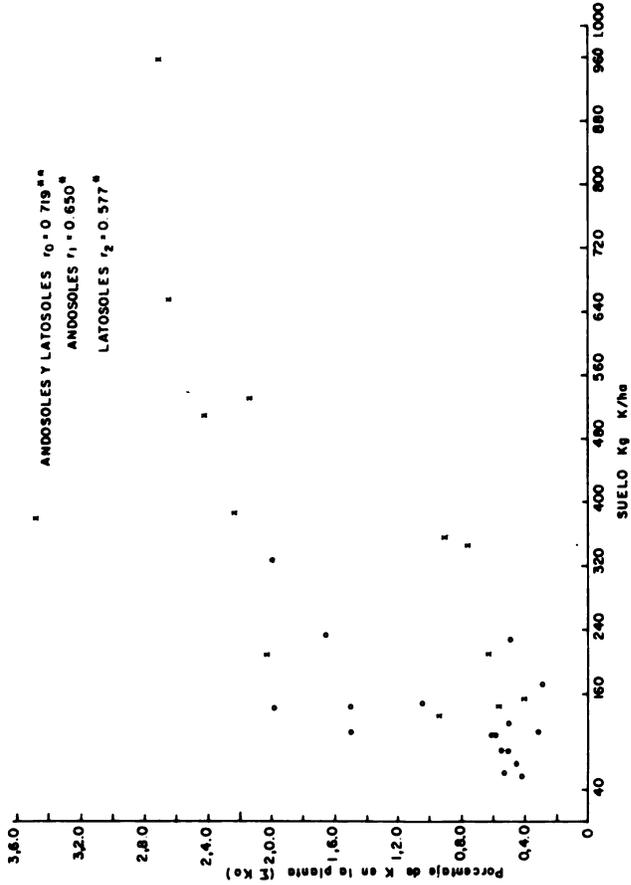


Fig. 9.- Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución Morgan en andosiles¹ y latosiles².

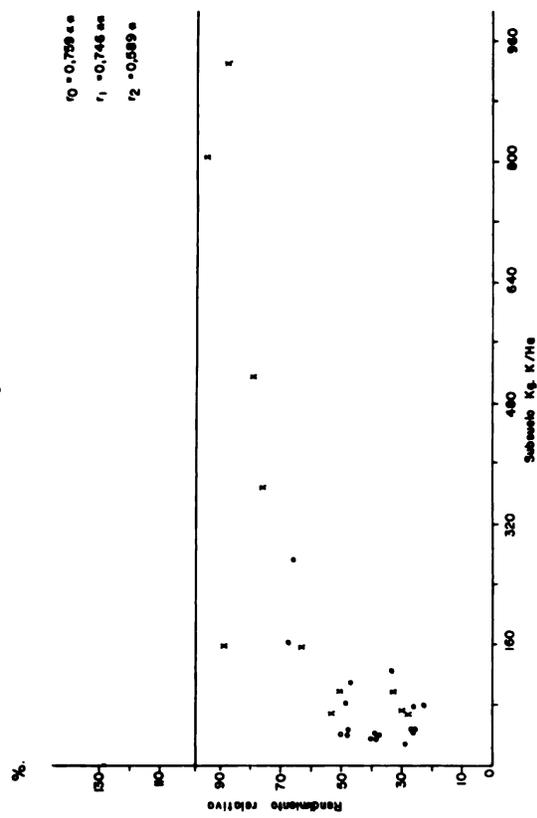
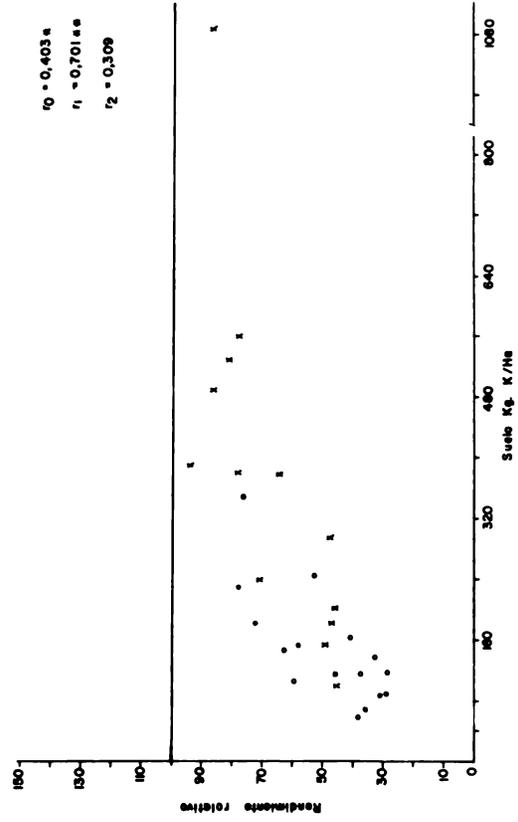
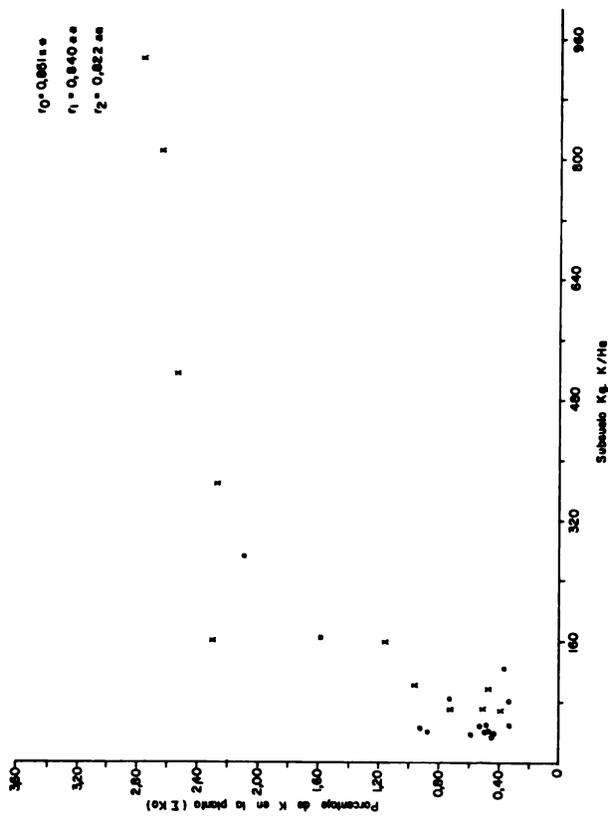
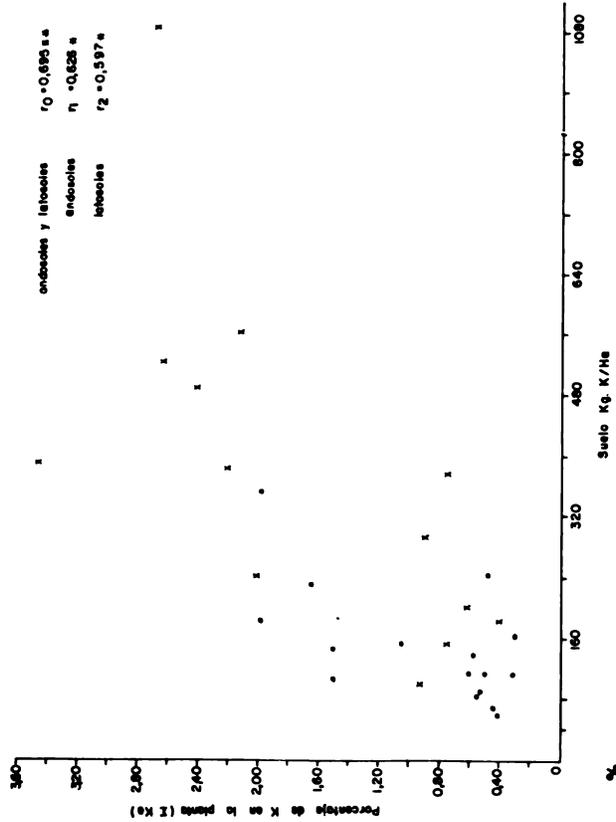


Fig. 10 Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta y su rendimiento relativo y el potasio intercambiable extraído con la solución de Mehlich en andosols(x) y latosols (o)

ficiente de correlación lineal más alto fue obtenido con el potasio intercambiable extraído con la solución de Mehlich (r_2 : 0,822***), pero en las tres soluciones fueron altamente significativas al 1%.

Al correlacionar el rendimiento relativo del porcentaje de potasio en la planta con los valores de potasio intercambiable extraída con las tres soluciones en los suelos y subsuelos, se observó que los valores de los coeficientes de correlación lineal siguen la misma tendencia encontrada en las anteriores relaciones al usar el rendimiento relativo, y se encontró que los valores en los subsuelos andosoles y en los subsuelos latosoles, así como en los subsuelos tomados en conjunto, fueron mayores que los respectivos valores en los suelos (Cuadro 8). Las Figuras 8, 9 y 10 nos muestran que estas relaciones no son exactamente de tipo lineal, sino más bien curvilíneas y por eso los coeficientes de correlación no son tan altos como los encontrados al usar el porcentaje de potasio en las plantas del tratamiento sin potasio.

Los resultados obtenidos en el laboratorio en cuanto al potasio intercambiable determinado con tres soluciones extractoras (Cuadro 4), al potasio total (Cuadro 10) y al potasio extraído con ácido nítrico en la primera extracción (Cuadro 11), fueron comparados entre sí. El Cuadro 9 presenta los coeficientes de

CUADRO 9. COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL (r) OBTENIDOS AL COMPARAR LOS DIFERENTES METODOS DE EXTRACCION DE POTASIO INTERCAMBIABLE Y EL POTASIO OBTENIDO CON ACIDO NITRICO (1a. EXTRACCION) EN SUELOS Y SUBSUELOS.

Soluciones extractoras	MUESTRAS	Morgan	Mehlich	NO ₃ H (1a. extracción)
NH ₄ Ac	Suelos (A & L) (a)	0,981***	0,975***	0,964***
	" andosoles	0,981***	0,975***	0,955***
	" latosoles	0,968***	0,917***	0,986***
	Subsuelos (A & L)	0,886***	0,960***	0,815***
	" andosoles	0,800*	0,941**	0,967***
	latosoles	0,940***	0,896***	0,271
Morgan	Suelos (A & L)		0,975***	0,974***
	" andosoles		0,975***	0,962***
	" latosoles		0,945***	0,943***
	Subsuelos (A & L)		0,872***	0,773***
	" andosoles		0,793*	0,883**
	latosoles		0,920***	0,208
Mehlich	Suelos (A & L)			0,946***
	" andosoles			0,941**
	" latosoles			0,910***
	Subsuelos (A & L)			0,817***
	" andosoles			0,966***
	latosoles			0,323

(a) Suelos en general (andosoles y latosoles)

Estos resultados se obtuvieron al comparar algunos resultados de los Cuadros 4 y 11.

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

***Significancia al 1%

CUADRO 10. K NO-INTERCAMBIABLE, POTASIO TOTAL EN 23 SUELOS Y 23 SUBSUELOS DE COSTA RICA.

MUESTRAS	S u e l o		S u b s u e l o	
	K no-inter cambiable	K total	K no-inter cambiable	K total
K g / h a (a)				
Aluviales:				
CR-1	5,646	6,000	8,748	9,000
CR-2	6,700	7,400	2,320	3,360
Margot	5,604	6,360	4,300	4,400
Andosoles:				
CR-6	32,081	32,200	18,669	18,760
CR-7	26,191	26,800	12,550	13,600
CR-8	16,116	17,040	10,536	10,760
CR-9	9,209	10,000	3,690	4,320
CR-10	6,360	8,040	2,450	3,920
CR-11	2,826	3,320	1,799	2,100
Birrisito	1,201	1,320	2,016	2,100
Latosoles:				
CR-3	3,478	3,880	878	1,000
CR-12	411	480	275	300
CR-15	471	600	1,073	1,100
CR-17	349	480	1,041	1,080
CR-19	750	800	786	800
CR=20	1,366	1,520	1,724	1,760
CR-21	1,453	1,600	1,065	1,100
CR-22	1,245	1,840	2,432	2,500
CR-23	2,453,6	2,560	1,740,5	1,800
CR-25	1,160,5	1,360	629	720
CR-27	1,588	1,840	784	840
CR-28	581	808	117	180
Colorado	1,310	1,520	1,034	1,080

(a) 1 ha = 2.000.000 kgs de suelo o subsuelo

CUADRO 11. POTASIO EXTRAIDO CON ACIDO NITRICO NORMAL EN CUATRO EXTRACCIONES SUCESIVAS, POTASIO ESCALONADO Y POTASIO DE TASA CONSTANTE EN ALGUNOS SUELOS Y SUBSUELOS DE COSTA RICA.

SUELOS Y SUBSUELOS	Extracciones sucesivas con HNO ₃				K total extraído con HNO ₃ K g s	K escalonado K / h a	K de tasa constante	Relación K escalonado K tasa constante	
	K g s K/ h a (a)								
	1	2	3	4					
Aluviales:									
CR-1	S	750	275	125	75	1.225	925	75	12,3
	Sub	550	250	125	75	1.000	700	75	9,3
CR-2	S	1.000	275	125	75	1.475	1.175	75	15,6
	Sub	250	272	150	75	1.750	1.450	75	19,3
Margot	S	981	216	119	66	1.382	1.118	66	16,9
	Sub	188	94	78	22	382	294	22	13,3
Andosoles:									
CR-6	S	600	125	75	75	875	575	75	7,6
	Sub	350	150	125	100	725	325	100	3,2
CR-7	S	975	225	100	75	1.375	1.075	75	14,3
	Sub	1.600	300	100	75	2.075	1.775	75	23,6
CR-8	S	1.300	275	150	100	1.825	1.425	100	14,2
	Sub	575	225	125	100	1.025	625	100	6,2
CR-9	S	1.100	275	125	100	1.600	1.200	100	12,0
	Sub	750	200	125	75	1.150	850	75	11,3
CR-10	S	1.875	400	150	125	2.550	2.050	125	16,4
	Sub	1.725	350	125	100	2.300	1.900	100	19,0
CR-11	S	575	125	75	50	825	625	50	12,5
	Sub	400	100	50	50	600	400	50	8,0
Birrisito	S	151	59	33	32	275	147	32	4,6
	Sub	112	64	33	33	242	110	33	3,3
Latosoles:									
CR-3	S	425	100	50	25	600	500	25	20,0
	Sub	150	50	25	25	250	150	25	6,0
CR-12	S	98	17	5	5	125	105	5	21,0
	Sub	33	9	3	2	47	39	2	19,5

Cuadro 11. Continuación...

Suelos y Subsuelos	Extracciones sucesivas con HNO ₃				K total extraído con HNO ₃ K g s	K escalonado K / h a	K de tasa constante	Relación K escalonado K tasa constante	
	K g s K / h a (a)								
	1	2	3	4					
CR-13	S	94	16	11	8	129	97	8	12,1
	Sub	16	6	6	5	33	13	5	2,6
CR-14	S	110	18	8	6	142	118	6	19,6
	Sub	23	9	6	4	42	26	4	6,5
CR-15	S	172	30	7	6	215	191	6	31,8
	Sub	48	7	5	4	64	48	4	12,0
CR-16	S	423	64	18	11	516	472	11	42,9
	Sub	131	21	8	8	168	136	8	17,0
CR-17	S	142	22	5	3	172	160	3	53,3
	Sub	38	10	4	3	55	43	3	14,3
CR-18	S	250	48	18	13	329	277	13	21,3
	Sub	40	18	15	15	88	28	15	1,8
CR-19	S	70	15	8	5	98	78	5	15,6
	Sub	18	8	5	5	36	16	5	3,2
CR-20	S	175	53	30	25	283	183	25	7,3
	Sub	80	38	30	30	178	58	30	1,9
CR-21	S	160	33	18	15	226	166	15	11,0
	Sub	50	20	18	18	106	34	18	1,8
CR-22	S	750	225	75	25	1.075	975	25	39,0
	Sub	1.525	375	100	75	2.075	1.775	75	23,6
CR-23	S	150	60	50	50	310	110	50	2,2
	Sub	100	60	50	50	260	60	50	1,2
CR-24	S	350	125	75	75	625	325	75	4,3
	Sub	325	100	75	75	575	275	75	3,6

Cuadro 11. Continuación....

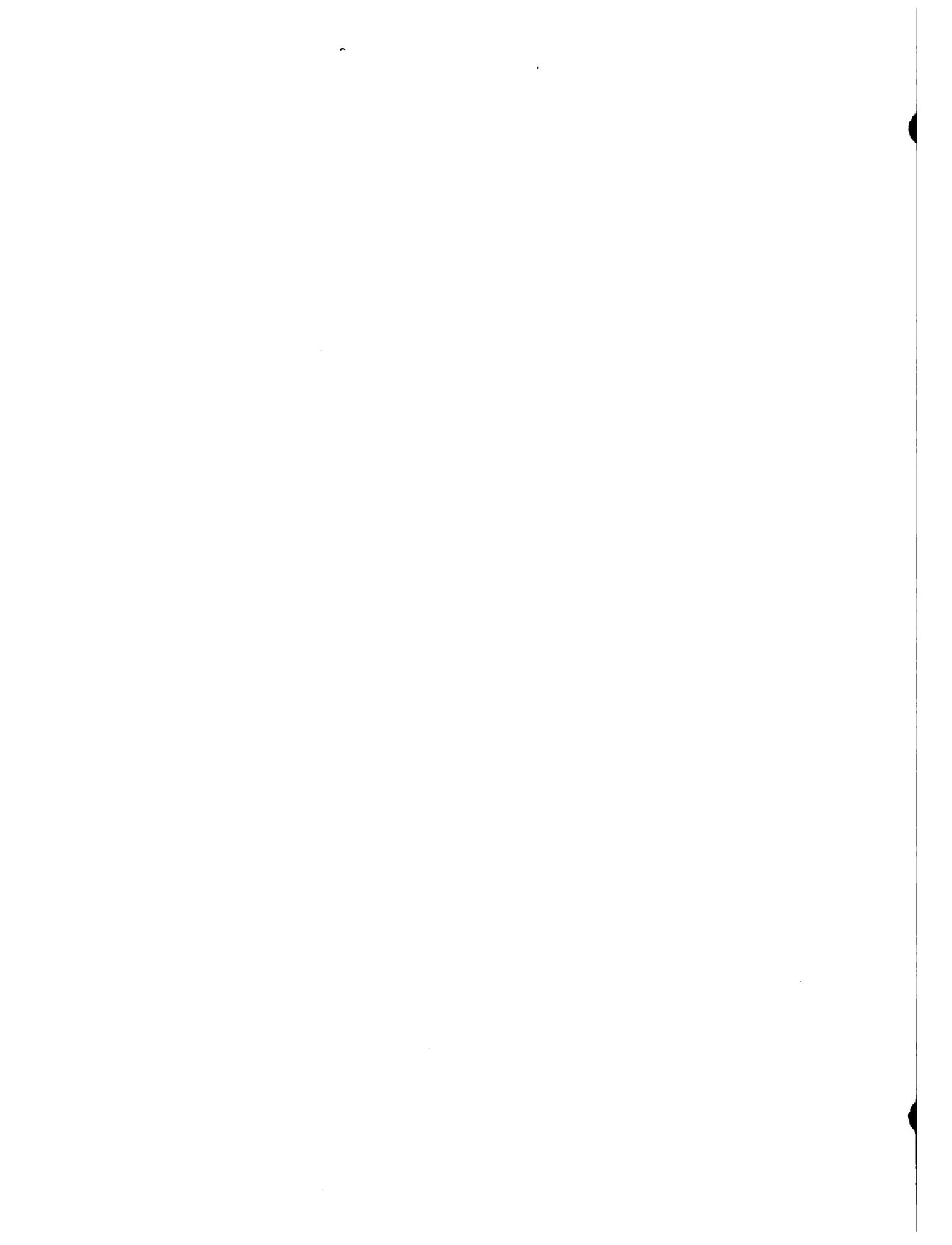
Suelos y Subsuelos	Extracciones sucesivas con HNO ₃				K total extraído con HNO ₃ K g s	K escalonado K / h a	K de tasa constante	Relación K escalonado K tasa constante	
	K / h a (a)								
	1	2	3	4					
CR-25	S	250	100	75	50	475	275	50	5,5
	Sub	200	150	100	75	525	225	75	3,0
CR-26	S	640	258	180	175	1.253	553	175	3,1
	Sub	450	330	283	250	1.313	313	250	1,2
CR-27	S	275	100	50	50	475	275	50	5,5
	Sub	100	75	50	50	275	75	50	1,5
CR-28	S	305	75	30	20	430	350	20	17,5
	Sub	78	38	20	15	151	91	15	6,0
Colorado	S	218	46	21	16	301	237	16	14,8
	Sub	50	19	13	13	95	43	13	3,3

(a) 1 ha = 2.000.000 Kgs de suelo o subsuelo.

correlación lineal de las relaciones entre esos valores con excepción del potasio total.

La Figura 11 nos muestra que las relaciones entre los valores de potasio intercambiable obtenidos con las soluciones extractoras de acetato de amonio, de Morgan y de Mehlich, son de tipo lineal. Asimismo, en el Cuadro 11 se observa que los coeficientes de correlación lineal para los suelos en conjunto, los subsuelos en conjunto, los suelos de andosoles y los suelos y subsuelos de latosoles, fueron altamente significativos al 1% en las relaciones de los diferentes valores obtenidos al compararse entre sí. También se observa en el Cuadro 9 que los coeficientes de correlación para los subsuelos de andosoles fueron altamente significativos sólo al compararse los valores de potasio intercambiable obtenidos con las soluciones de acetato de amonio y de Mehlich.

En la Figura 12 se observa que las relaciones entre el potasio extraído con ácido nítrico 1 N en la primera extracción, presenta relaciones de tipo lineal con los diferentes valores de potasio intercambiable tanto en los suelos como en los subsuelos. Los coeficientes de correlación lineal (Cuadro 9), tanto en los suelos como en los subsuelos en conjunto, en los suelos de andosoles y latosoles, y en los subsuelos de andosoles, son altamente significativos. Esta relación ha sido encontrada tam



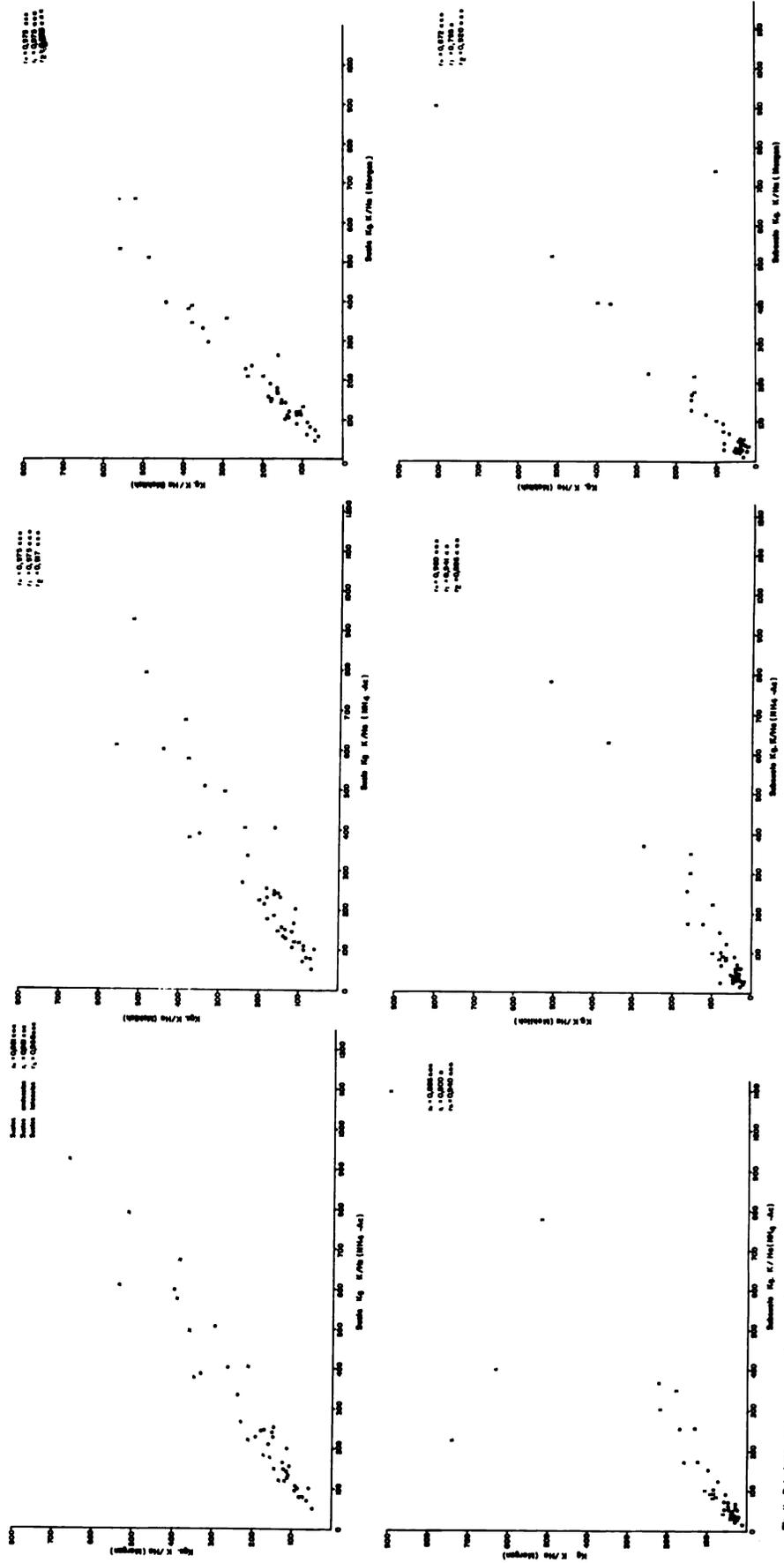
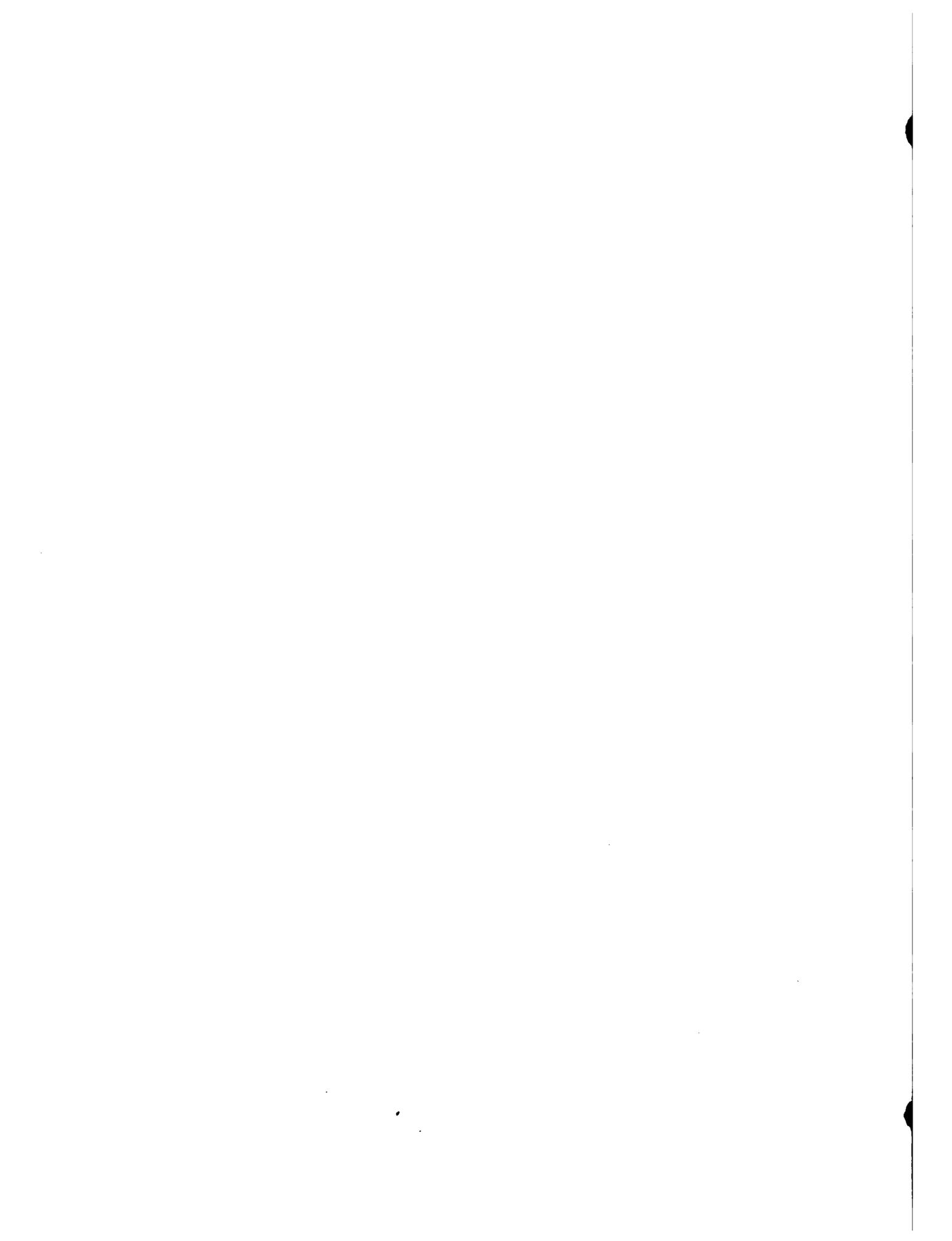


Fig. 4. Relaciones entre los valores de potasio intercambiable obtenido en las reducciones de cenizas de cenizas, Muestras y Muestras en muestras (1964-65) Muestras (°)



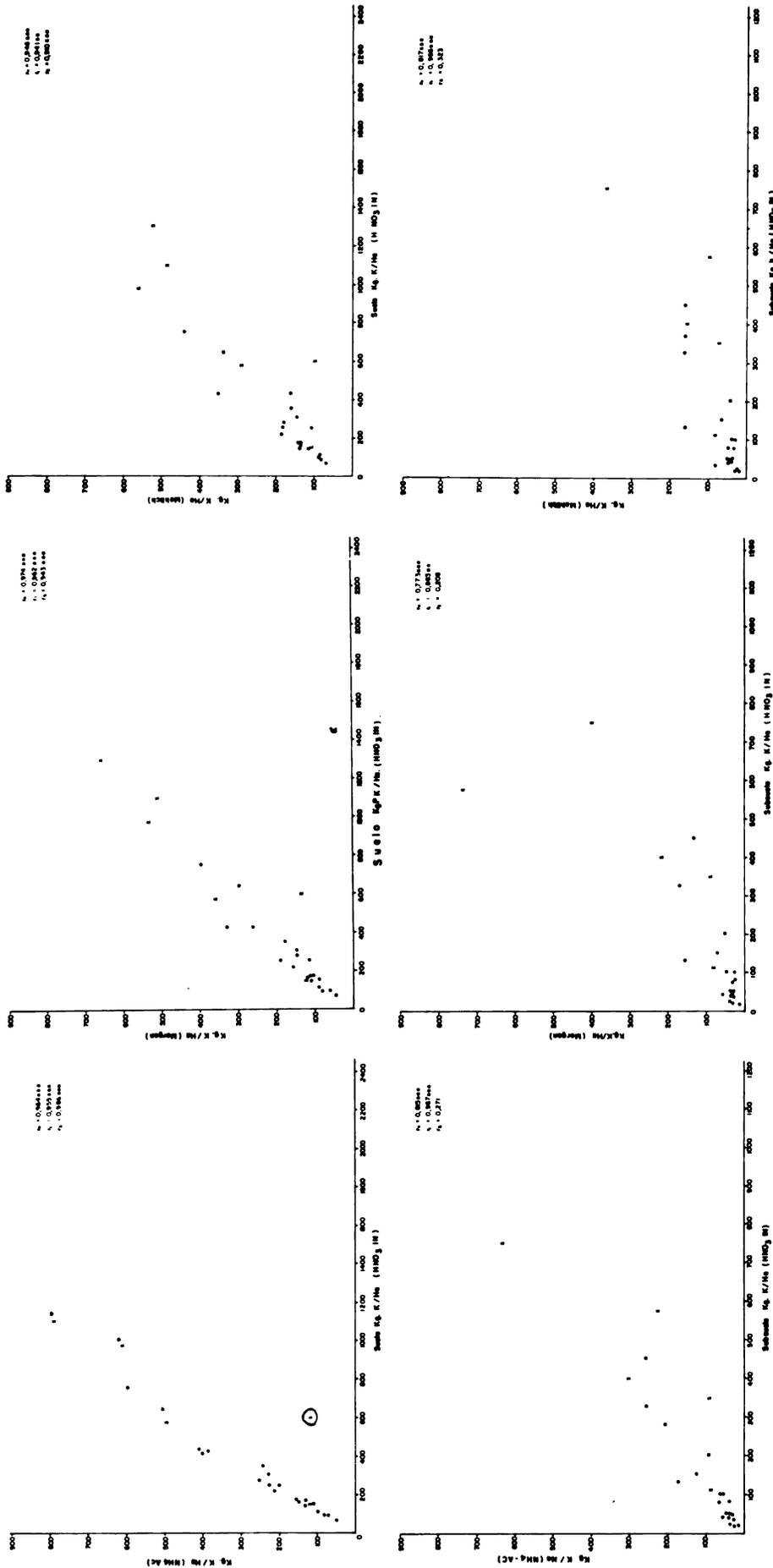


Fig. 12 Relaciones entre los valores de potasio obtenidos con la técnica de ácidos nítricos (18 extracciones) y los valores de potasio intercambiable obtenidos con las soluciones de acetato de amonio, Morgan y Marsh en arrozales (17) y (18) (a-f)



bién por Pratt (78), al comparar el potasio obtenido con ácido nítrico 1 N en la primera extracción con el potasio intercambiable obtenido con la solución de acetato de amonio en suelos de Iowa poco meteorizados, y se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0,873. Esas buenas relaciones observadas en la Figura 12 y los altos coeficientes obtenidos, son explicables si se tiene en cuenta que gran parte del potasio obtenido en la primera extracción con la solución de ácido nítrico 1 N incluye gran parte del potasio intercambiable.

Las Figuras 13 y 14 muestran las relaciones entre los valores de potasio intercambiable obtenidos con las soluciones de acetato de amonio, de Morgan y de Mehlich y los valores de potasio total en los suelos y subsuelos. Se observa que estas relaciones no son de tipo lineal en general, sino que son más bien de tipo parabólico. Esta relación de tipo no lineal entre estos valores, se observa mejor en los suelos y subsuelos andosoles que en los latosoles.

B. El Potasio Total

El Cuadro 10 contiene los valores de potasio total encontrados en algunos suelos y subsuelos de suelos aluviales, andosoles y latosoles de Costa Rica. Se observa que los mayores valores de potasio total, tanto en los suelos como en los



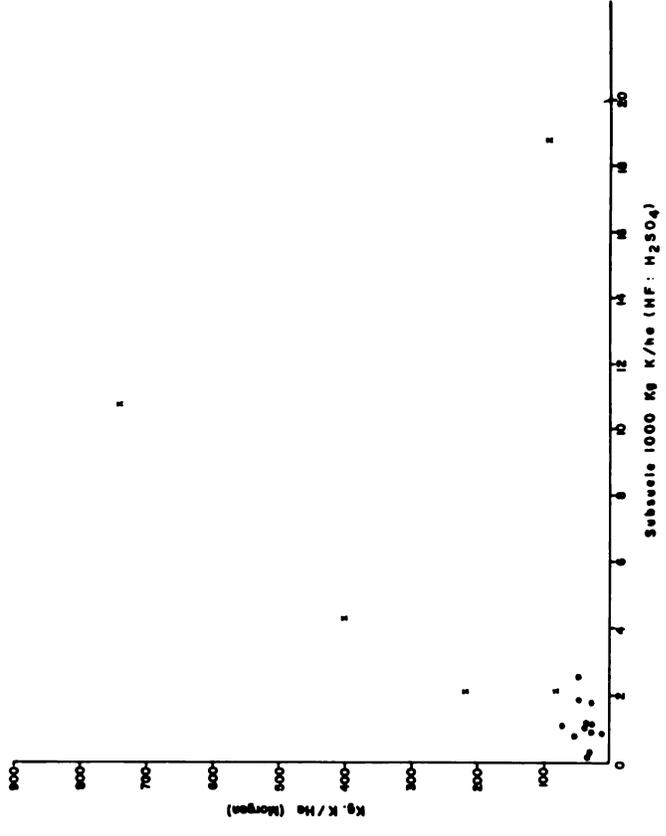
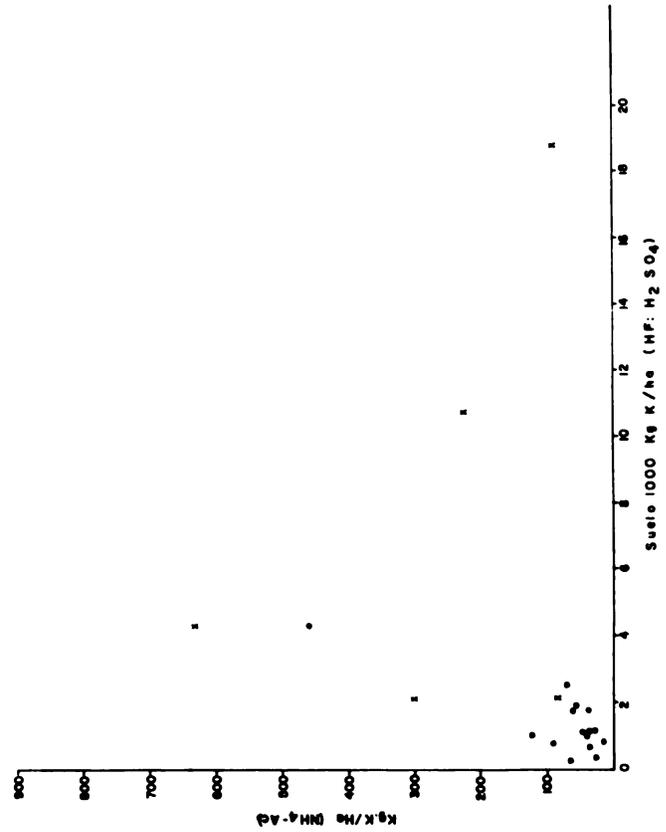
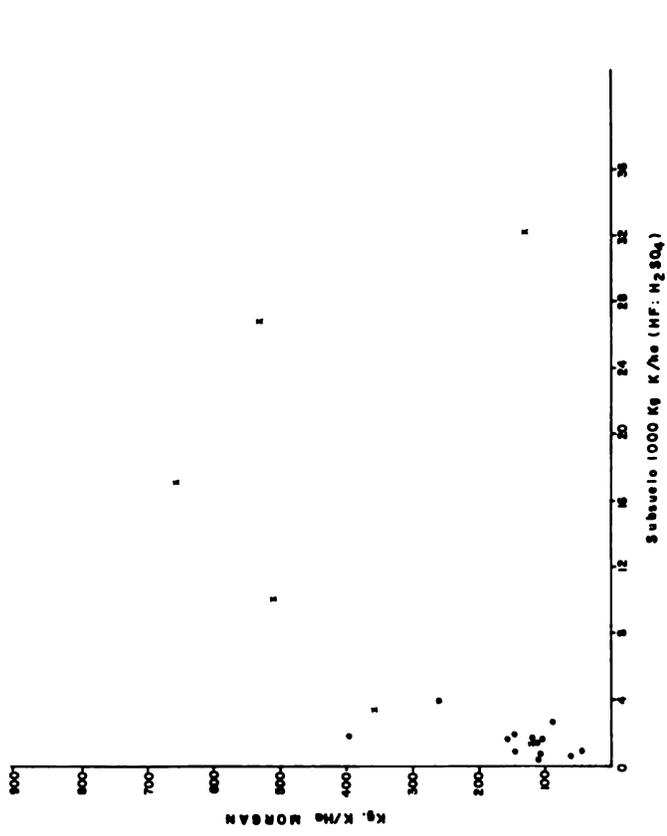
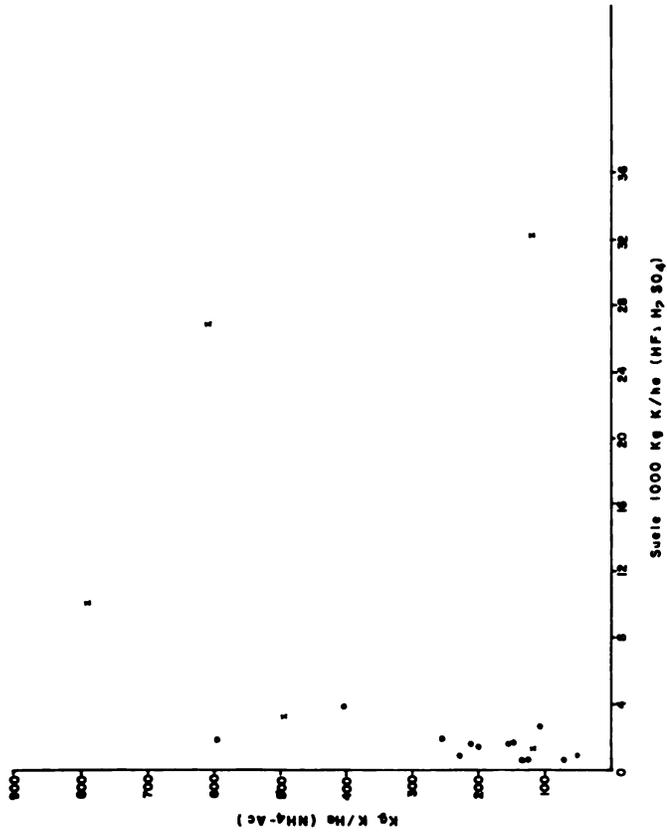


Fig. 13 Relaciones entre el potasio total y los valores de potasio intercambiable obtenidos con las soluciones acetato de amonio y Morgan en endosoles (x) y latosoles (+)



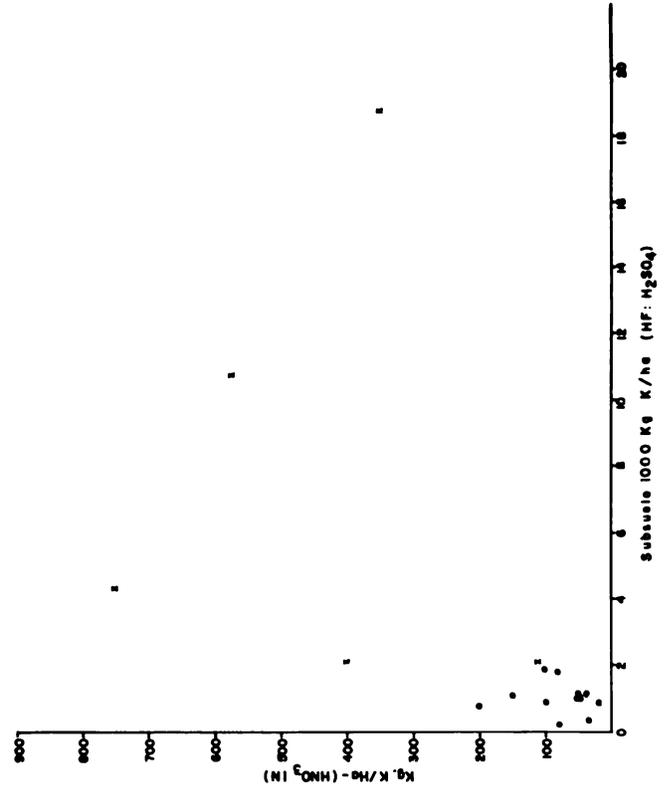
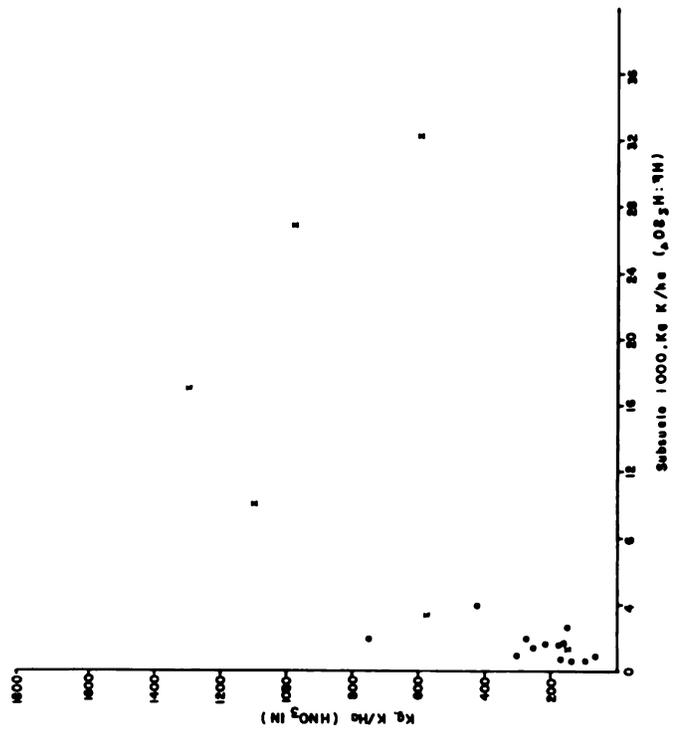
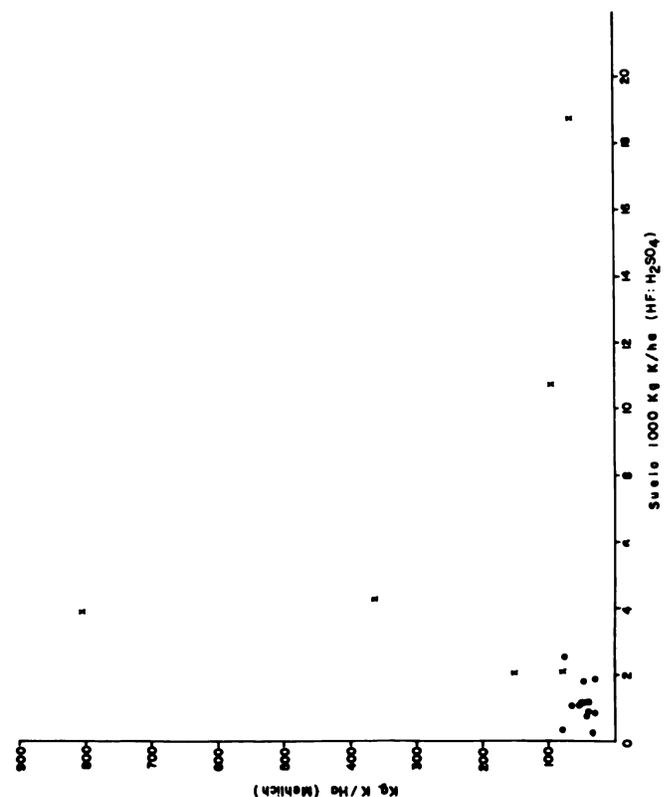
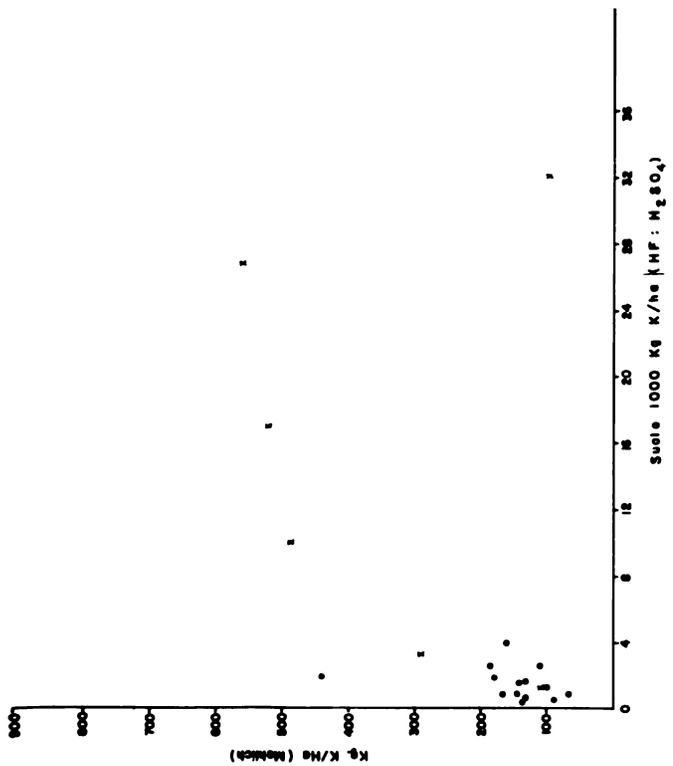


Fig. 14 Relaciones entre el potasio total y los valores de potasio Mehlich con las soluciones Mehlich y ácido nítrico (HNO₃ IN) y los valores de potasio Mehlich y ácido nítrico (HNO₃ IN) en (HNO₃ IN) y Mehlich (M).



subsuelos, se presentaron en los andosoles, mientras que los valores más bajos se encontraron en los suelos y subsuelos la tosoles.

Las diferencias entre los valores encontrados en los andoso - les y latosoles, son perfectamente explicables si se tiene en cuenta que la meteorización de los minerales potásicos en los suelos y subsuelos así como la lixiviación del potasio, han sido más intensas en los latosoles que en los andosoles. En el caso de los suelos y subsuelos de latosoles del área de San Isidro del General hacia Buenos Aires y Terraba, hay que anotar que el material parental de los suelos está formado por sedimentos aluvionales de origen volcánico compuestos por sedimentos aluvionales de origen volcánico, compuestos por diorita, andesita y basalto (24) y el suelo está en un estado de meteorización bastante profundo. Todo esto lo afirma Wiklander (116), cuando anota que el contenido total de potasio en el suelo depende de la composición del material parental, la lixiviación y el tipo y grado de meteorización.

Al observar los valores de potasio total en los suelos y subsuelos CR-12, CR-20 y CR-22 (Cuadro 10), se puede apreciar que estos son mayores en el suelo y subsuelo CR-20 que en el suelo y subsuelo CR-12, y mayores aún en el suelo y subsuelo CR-22, lo cual nos indica que el grado de riqueza del mineral

potásico aumenta hacia el material menos meteorizado, en este caso el suelo y subsuelo CR-22, ya que mientras el suelo CR-12 se ha formado de materiales coluviales procedentes de la cordillera de Talamanca, el suelo CR-22 contiene materiales menos meteorizados.

El hecho de que algunos latosoles muestren cierto contenido total de potasio en sus suelos y subsuelos, puede deberse a que están formados a partir de materiales volcánicos arrastrados por los ríos (39) y que poseen cierta riqueza en minerales potásicos. Lo anterior explica en parte los valores más altos que ocurren en los suelos latosoles CR-3 y CR-23, ya que estos suelos están formados a partir de materiales volcánicos en diferentes estados de meteorización. Por otra parte, las muestras CR-3 y CR-23, recolectadas respectivamente a 5 kms. de Alajuela y a 5 kms al oeste de Palmares, seguramente poseen cierta contaminación de cenizas volcánicas provenientes del Irazú en 1963 (90).

En general, los valores más altos de potasio total se encontraron en los andosoles, tanto en los suelos como en los subsuelos (Cuadro 10). La riqueza de minerales potásicos poco meteorizados se hace evidente si se tiene en cuenta que en esta zona los suelos están desarrollados sobre materiales volcánicos provenientes de erupciones de los volcanes Irazú y Poás (108).

Los mayores contenidos de potasio en los suelos CR-6 y CR-7 se deben posiblemente a las recientes deposiciones de materiales volcánicos procedentes del volcán Irazú en 1963 y que según Sáenz (90), fueron de carácter ácido. Esta influencia de la contaminación de materiales volcánicos depositados en 1963 se observa un poco menos en las muestras CR-8 y CR-9 y se puede notar cierta relación directa entre el contenido de potasio total de estos suelos y la intensidad de la contaminación de los materiales volcánicos procedentes del volcán Irazú.

En cuanto a los suelos CR-10 y CR-11, éstos corresponden a andosoles cuyos materiales volcánicos son viejos (108) y ya han sufrido cierta meteorización. Debido a lo anterior, se encuentra que los contenidos de potasio total en estos dos suelos fueron menores que en los otros suelos, a excepción del suelo Birrisito, el cual es un suelo volcánico viejo con algunas propiedades de latosol (25).

Al comparar las cantidades de potasio total en los suelos y subsuelos andosoles (Cuadro 10), se observa que los subsuelos, a excepción del Birrisito, son menores en sus contenidos que los suelos. Lo anterior se explica si se tiene en cuenta que en muchas muestras de andosoles, el horizonte considerado como subsuelo por lo general está compuesto de un material mucho más viejo que el llamado suelo y que se ha depositado primero,

por lo tanto, los minerales potásicos de estos subsuelos han estado sometidos por más tiempo a la meteorización y lixiviación y de ahí que el contenido de potasio total en los subsuelos sea menor que en los suelos.

La diferencia entre los valores tiende a disminuir cuando la meteorización es mayor sobre el material depositado y considerado como suelo; así la diferencia entre los valores de potasio total entre el suelo y el subsuelo CR-6 es mayor que la diferencia entre los valores de K total encontrados en el suelo y subsuelo CR-9 y encontrados en el suelo y subsuelo CR-11. Aún más, es posible que el suelo volcánico ya viejo sea de un menor contenido de potasio total que el subsuelo como se presenta en el suelo Birrisito, y en este caso posiblemente se debe a una mayor meteorización y lixivación que el subsuelo.

En los suelos y subsuelos aluviales (Cuadro 10), se encontraron también valores de potasio medianos a altos, en relación con los andosoles. Estos contenidos medianos a altos indican que el material de que se forman estos suelos es rico en minerales potásicos. En el caso de los suelos CR-1 y CR-2, los materiales a partir del cual se formaron, son de origen volcánico y fueron arrastrados por los ríos y depositados en los sitios de donde provienen las muestras CR-1 y CR-2 (108).

Aún cuando esos materiales son de origen volcánico debido a una mayor meteorización, sus cantidades de minerales potásicos son menores y por lo tanto, los suelos formados a partir de esos materiales aluviales son de un contenido menor de potasio total que los suelos volcánicos.

Las cantidades de potasio total para los suelos aluviales variaron de 6000 a 7400 Kg/ha, y para los subsuelos de 3360 a 9000 Kgs/ha (Cuadro 10). Estos valores concuerdan con los encontrados por Martini (60) en dos suelos aluviales de Panamá.

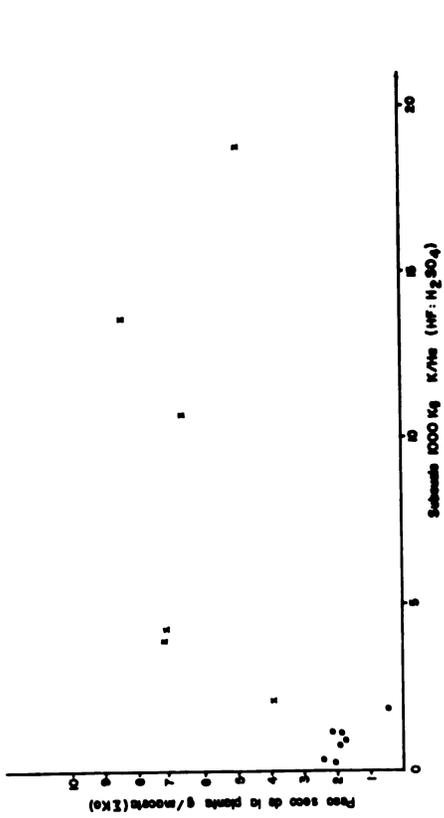
En los suelos de andosoles, las cantidades de potasio total variaron de 1320 a 32200 Kg/ha y en los subsuelos de 2100 a 18.760 Kgs/ha. En el Cuadro 9 se observa que estos contenidos de potasio total fluctúan mucho en los suelos y subsuelos de andosoles, pero los valores concuerdan con los obtenidos por Martini (60) en dos suelos volcánicos de Panamá y con los obtenidos por Moss y Coulter (71) en Trinidad.

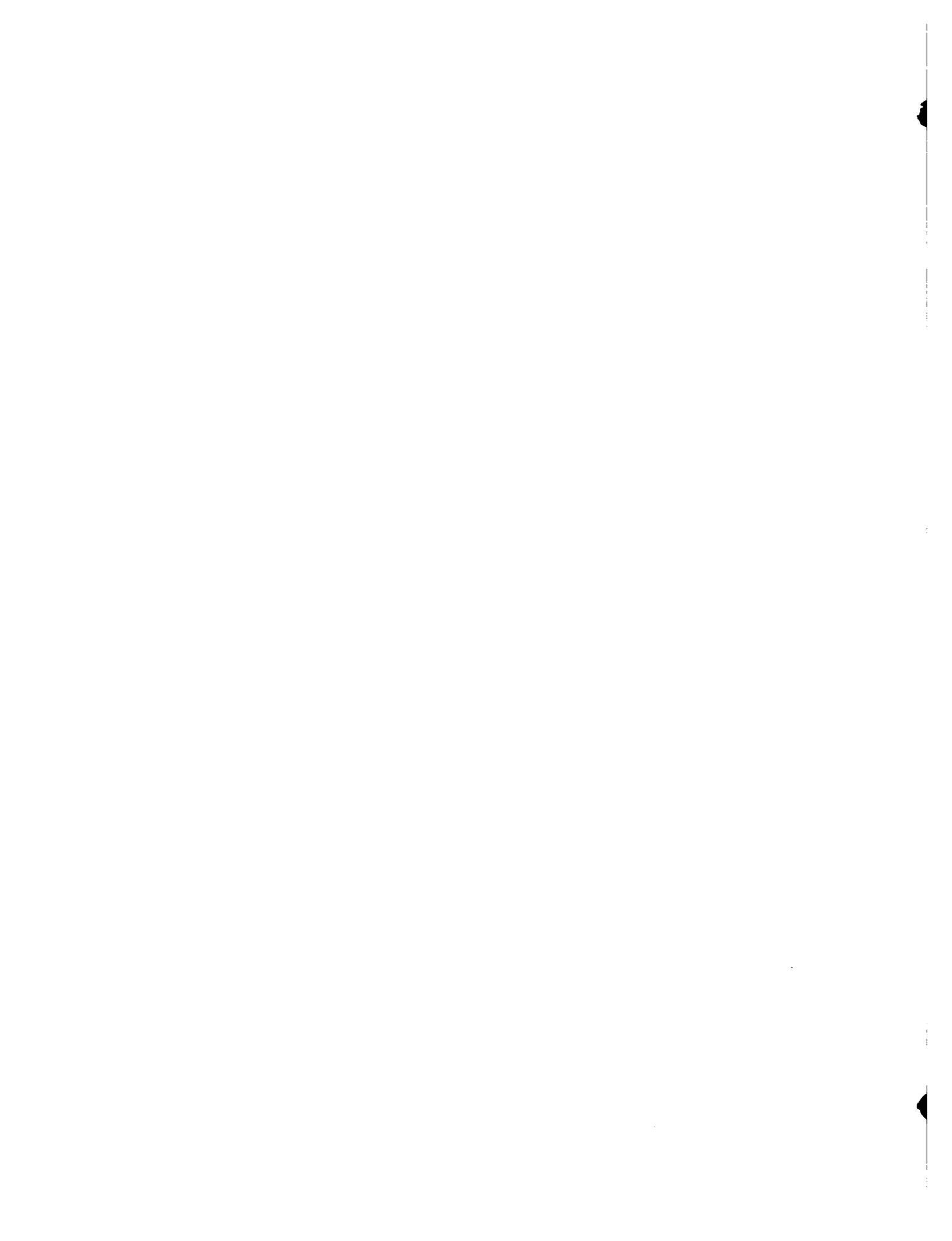
En los latosoles, las cantidades de potasio total variaron de 480 a 3.880 Kg/ha y en los subsuelos de 180 a 2.500 Kg/ha. Estos valores aún cuando son parecidos a los encontrados por Martini (60) en Panamá y por Moss y Coulter (71) en algunos latosoles de Trinidad, fueron en general menores y bastante bajos en algunos casos.

En los latosoles (Cuadro 10) CR-12, CR-15, CR-19, CR-20, CR-21 y CR-22 del área de San Isidro del General, se observan que los contenidos guardan cierta relación con la altitud de los sitios de muestreo, pero esta relación es más bien debida al grado de meteorización de los minerales potásicos de los suelos como ya se ha discutido.

En las Figuras 15, 16 y 17, se observa que el contenido de potasio total en el suelo y subsuelo no parece guardar una relación directa con los valores de peso seco de la planta, contenido total de potasio, porcentaje de potasio en la planta y los respectivos rendimientos relativos. Se observa también que las relaciones de tipo no lineal son más notorias en los suelos y subsuelos de andosoles al comparar los valores nombrados anteriormente. Al comparar las Figuras 15, 16 y 17 con las Figuras 13 y 14, de las relaciones entre el potasio intercambiable y el potasio total en los suelos y subsuelos, se observa cierta similitud en el tipo de curva, por lo cual se puede esperar que el contenido de potasio total en el suelo presente relaciones de tipo no lineal con el potasio intercambiable y con el contenido total de potasio en la planta, sobre todo en los suelos y subsuelos de andosoles, en donde los contenidos de potasio total son bastante altos en algunos casos.

En la Figura 14 se observa que la relación entre el potasio





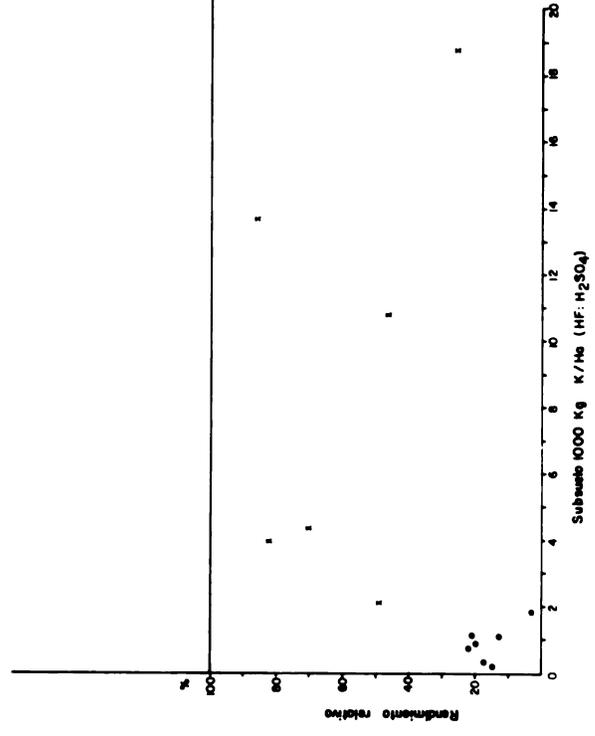
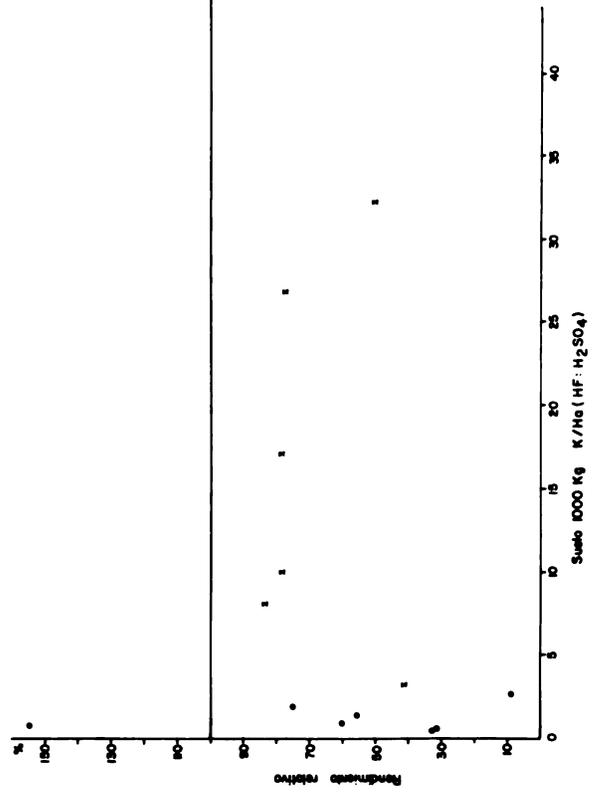
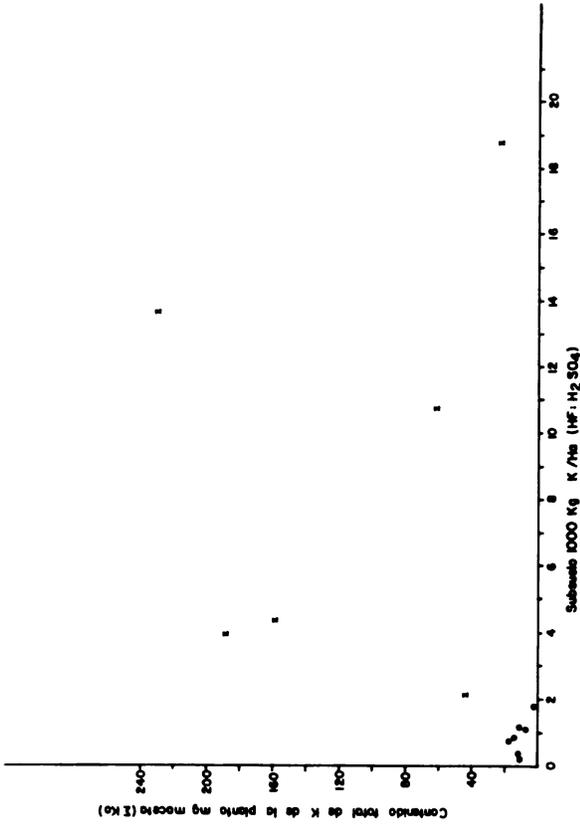
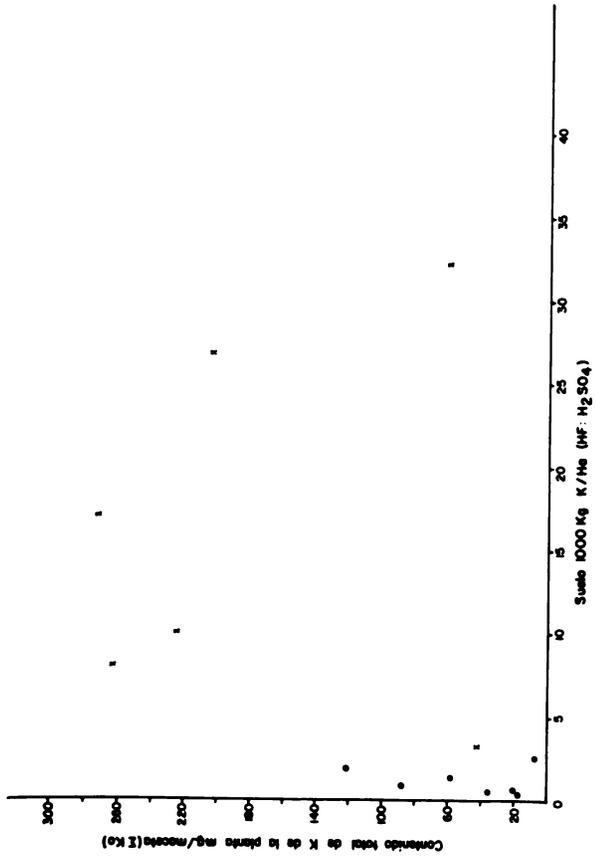
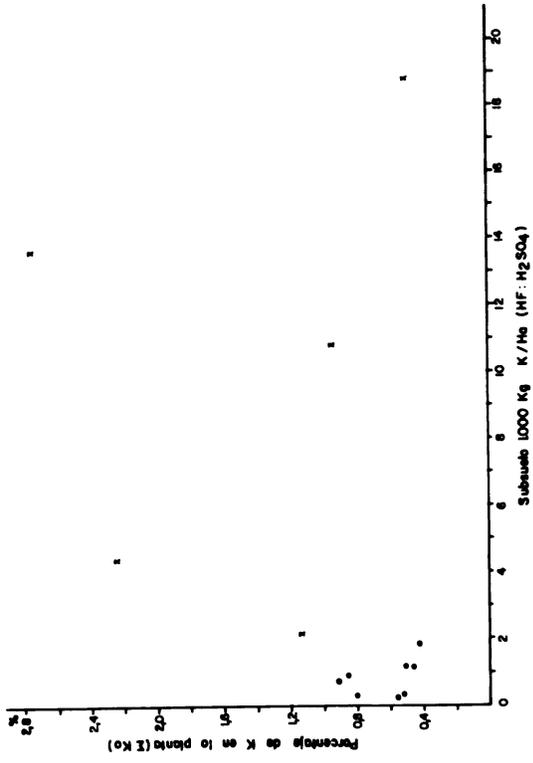
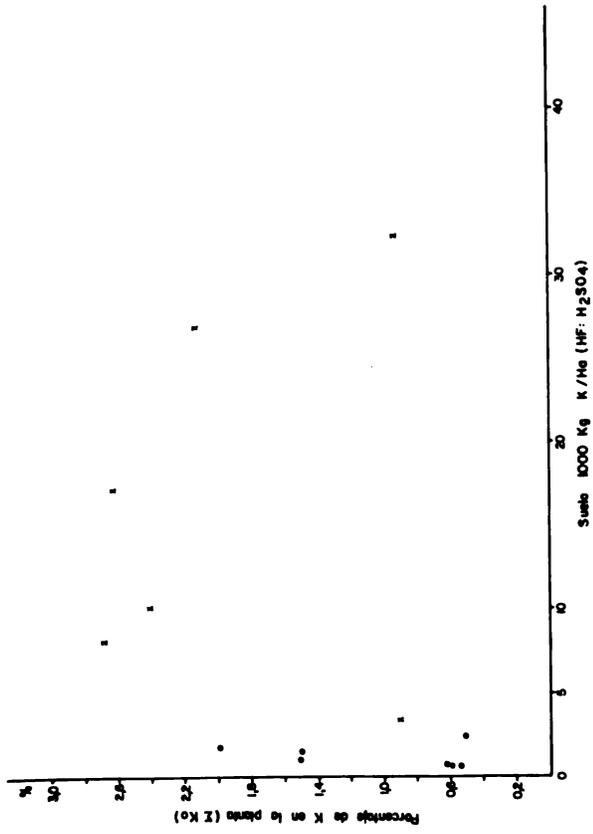
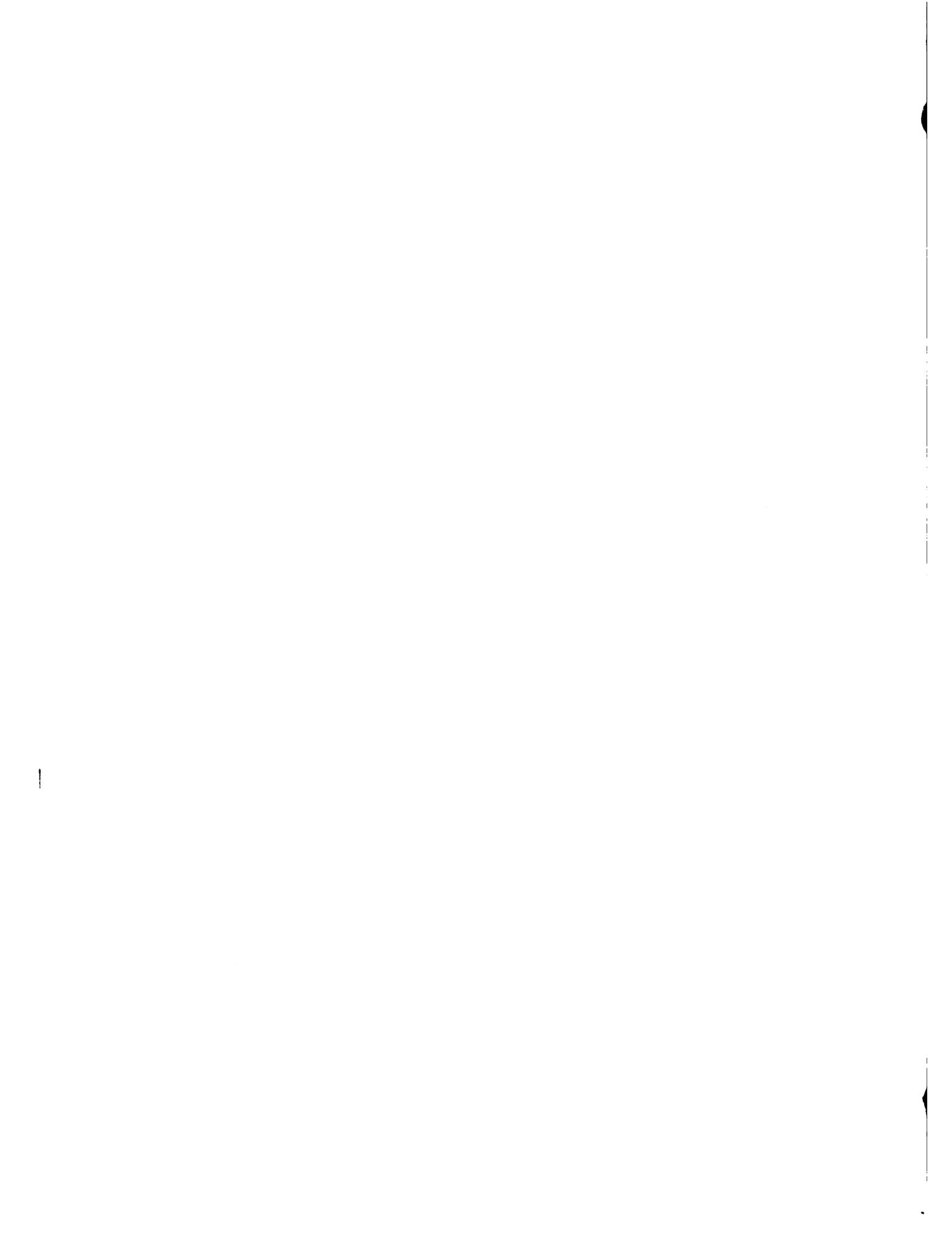


Fig. 16 Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta, rendimiento relativo y el contenido de potasio total en andosoles (x) y lotesoles (o)







total del suelo y el potasio obtenido con ácido nítrico 1 N en la primera extracción, es de tipo no lineal. Esto puede observarse en las Figuras 13 y 14, especialmente en los suelos y subsuelos andosoles. Esta relación, al comparar los dos valores, es de esperarse si se tiene en cuenta las relaciones directas entre los valores de potasio intercambiable y los valores del potasio obtenido con ácido nítrico 1 N en la primera extracción.

C. Potasio no-intercambiable calculado

En el Cuadro 10 se presentan los datos sobre potasio no-intercambiable calculado de algunos suelos y subsuelos de Costa Rica. Este potasio no-intercambiable calculado, se obtuvo al restarle al potasio total del suelo, el potasio intercambiable obtenido con acetato de amonio (93, 100). Debido a que la mayor parte del potasio total del suelo y subsuelo está formado por el potasio no-intercambiable, se observará en el Cuadro 10 que estos dos valores poseen la misma tendencia en los suelos y subsuelos estudiados.

En los suelos aluviales, los valores de potasio no-intercambiable (Cuadro 10) varían de 5.604 a 6.700 Kg/ha y en los subsuelos de 2.320 a 8.748 Kg/ha. En los suelos andosoles los valores varían de 1.201 a 32.081 Kg/ha y en los subsuelos de 1.799 a 18.669 Kg/ha. Se observa que a excepción del suelo Birrisito

en los suelos andosoles hay un mayor contenido de potasio no-intercambiable que en los subsuelos. Esto indica que la cantidad de minerales potásicos en los suelos es mayor que en los subsuelos y puede deberse según se discutió anteriormente a una mayor meteorización de los minerales potásicos en el subsuelo que en el suelo.

En relación con los latosoles, los valores de potasio no-intercambiable calculado tanto en los suelos como en los subsuelos, son menores comparados con los suelos y subsuelos de aluviales y de andosoles. Esta diferencia se debe a no dudar, a un menor contenido de minerales potásicos en los suelos y subsuelos de latosoles, causado por una intensa meteorización de esos minerales. Las cantidades de potasio no-intercambiable calculado en los suelos de latosoles, varió de 349 a 3.478 Kg/ha en los subsuelos de 117 a 2.433 Kg/ha.

Al comparar los suelos de latosoles con sus correspondientes subsuelos, se observa que sólo algunos suelos poseen un mayor contenido de potasio no-intercambiable calculado que los subsuelos. En el Cuadro 10 se observa que en los latosoles del área de San Isidro del General, CR-15, CR-17, CR-19, CR-20 y CR-22, las cantidades de potasio no intercambiable son menores en los suelos que en los subsuelos, en tanto que lo contrario sucede en los suelos y subsuelos de latosoles CR-3,

CR-23, CR-25, CR-27 y CR-28 del área de Alajuela, Palmares y Puntarenas. Estas diferencias de valores de potasio no-intercambiable calculado entre los suelos y subsuelos de las áreas de Alajuela, Palmares y Puntarenas, puede ser debida en parte a las contaminaciones del suelo por materiales de tipo volcánico como ya se ha mencionado anteriormente al discutir el contenido de potasio total en estos suelos.

D. Potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico normal.

El Cuadro 11 presenta los valores de potasio extraído con ácido nítrico normal en algunos suelos y subsuelos de Costa Rica, como son: los valores de K en cada una de las cuatro extracciones sucesivas, los valores del total de potasio extraído en las cuatro extracciones, los valores del potasio escalonado, los valores del potasio de tasa constante y los valores de la relación entre el potasio escalonado y el potasio de tasa constante. En las Figuras 28 y 29 se puede apreciar asímismo las magnitudes de los valores de potasio obtenido en cada extracción sucesiva, así como la magnitud del potasio de tasa constante en cada suelo y subsuelo aluvial, andosol y latosol.

Los resultados obtenidos en los suelos estudiados (Cuadro 11 y Figura 28), muestran que las cantidades de potasio obtenidas

con ácido nítrico normal disminuyeron rápidamente en cada una de las cuatro extracciones sucesivas. Esta disminución fue mayor en las dos primeras extracciones que en las dos últimas, en donde las magnitudes son casi parecidas.

Resultados similares fueron encontrados por Haylock (42) quien denominó al valor casi constante de las dos últimas extracciones sucesivas como "potasio de tasa constante". Asimismo, este mismo autor denominó al potasio que disminuye en cada extracción sucesiva como "potasio escalonado". También Martini (60) considera este potasio extraído con ácido nítrico normal como potasio no-intercambiable diferenciado en dos formas de naturalezas químicas y mineralógicas características. Los resultados obtenidos aquí han sido encontrados por diversos investigadores tales como Haylock (42), Martini (60) en suelos de Panamá; Moss y Coulter (71) en Trinidad, y Stanton y Orchard (100) en Natal, Africa.

Este potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico normal comprende tanto al potasio estructural como al potasio fijado en el suelo. Al referirse al potasio escalonado y al potasio de tasa constante, el primero abarca al potasio fijado y al potasio estructural situado en las partes meteorizadas del mineral potásico, en tanto que el segundo comprende el potasio estructural situado en la parte del mineral no meteorizado.

Se observa en estos resultados (Cuadro 11, Figura 28), que mientras en los suelos aluviales el valor del potasio obtenido en la tercera extracción sucesiva fue mayor que el obtenido en la cuarta extracción, en los andosoles esta diferencia no fue tan notoria y en los latosoles no se observó, excepto para algunos pocos en donde ésta no alcanzó a ser significativa. La misma relación se observó en los subsuelos aluviales, andosoles y latosoles (Cuadro 11, Figura 28). Esta relación se encuentra también en los resultados obtenidos por Martini (60) para un grupo de suelos de Panamá.

Los valores totales de potasio extraído con ácido nítrico en las cuatro extracciones sucesivas en los suelos y subsuelos de aluviales y de andosoles, fueron mayores que en los suelos y subsuelos de latosoles (Cuadro 11, Figuras 28 y 29). Lo anterior es explicable si se tiene en cuenta que los suelos de andosoles y de suelos aluviales, el contenido de mineral potásico es generalmente mayor que en los latosoles, como se desprende de la observación de los contenidos de potasio total; además, el mineral potásico en los suelos y subsuelos aluviales y andosoles, posiblemente no haya sufrido una meteorización tan intensa como en los suelos y subsuelos latosoles. A este respecto, Martini (60) observó que la cantidad de potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico es función de: 1) la clase y cantidad del mineral potásico en el

suelo; 2) el área de la superficie de la partícula de mineral potásico; 3) la composición de la superficie de la partícula, y 4) el método experimental usado.

El Cuadro 11 muestra que los valores de potasio escalonado en los suelos y subsuelos aluviales y andosoles fueron mayores que en los latosoles. Lo anterior puede explicarse si se tiene en cuenta que los valores de potasio obtenido en la primera extracción (Figuras 28 y 29) fueron mayores en los suelos y subsuelos aluviales y andosoles que en los suelos y subsuelos latosoles. Además, en la primera extracción se obtiene la mayor parte del potasio escalonado. Resultados similares han sido encontrados por Martini (60) en suelos de Panamá.

En general, se puede anotar que los valores de potasio escalonado para los suelos y subsuelos de suelos aluviales y andosoles, con excepción del suelo y subsuelo Birrisito, fueron altos, en tanto que para los suelos y subsuelos de latosoles, a excepción del suelo y subsuelo CR-22, fueron de medianos a bajos. Es de anotar que también dentro de cada grupo de suelos y subsuelos se encontraron diferencias (Cuadro 11, Figuras 28 y 29) entre los contenidos de potasio escalonado.

En el suelo de suelos aluviales, las cantidades de potasio escalonado no presentaron extrema variación, siendo éstas de

925 a 1.175 Kg/ha, pero en los subsuelos se encontró que ésta varió de 294 a 1.450 Kg/ha. Las cantidades de potasio escalonado encontradas en los suelos y subsuelos aluviales (Cuadro 11), indican posiblemente cierta riqueza de partículas de minerales potásicos, tanto primarios como secundarios, capaces de liberar potasio no-intercambiable en grandes cantidades. Como ya se ha anotado, estos suelos aluviales son suelos arcillosos formados por materiales volcánicos arrastrados y depositados por los ríos (108).

En los andosoles, las cantidades de potasio escalonado variaron de 147 a 2.050 Kg/ha y en los subsuelos de 110 a 1.900 Kg/ha (Cuadro 11). En los resultados obtenidos (Figuras 28 y 29) se observó que tanto en los suelos como en los subsuelos, las cantidades de potasio escalonado fueron muy variables, haciendo suponer que en general, esta variación es debida tanto a la cantidad de mineral potásico como el grado de meteorización de esos minerales.

Al comparar los valores de potasio escalonado (Figura 28), se encuentra que CR-6 y CR-7 presentaron contenidos menores que CR-8, CR-9 y CR-10. Como ya se ha anotado, los dos primeros suelos poseen mayores cantidades de minerales potásicos menos meteorizados que los tres últimos, ya que sus materiales provienen de deposiciones de materiales volcánicos más recien

tes. A este respecto, Moss y Coulter (71) encontraron en un grupo de suelos volcánicos de Trinidad, que los contenidos bajos de potasio escalonado se presentaron en los suelos más jóvenes. En cuanto a la serie Birrisito, el valor bastante bajo de su potasio escalonado puede ser debido a una extrema meteorización de sus minerales potásicos, pues éste es considerado como un suelo volcánico bastante viejo (25).

En los subsuelos se observa que la variación tiene casi igual tendencia, pero no tan marcada como en los suelos (Figura 29). En el Cuadro 10 se puede apreciar que a excepción del suelo CR-7, los andosoles presentaron mayores contenidos de potasio escalonado que los subsuelos.

En los latosoles, los contenidos de potasio escalonado en general fueron bajos y variaron de 78 a 975 Kg/ha. En los sub - suelos, estos valores fueron más bajos, a excepción del sub - suelo CR-22 (1.775 Kg/ha) y variaron de 13 a 1.775 Kg/ha.

En los resultados obtenidos (Cuadro 11 y Figura 28), se observó que los latosoles del área de San Isidro del General, CR-12, CR-13, CR-14 y CR-15, presentaron menores contenidos de potasio escalonado que los de la Meseta Central de Costa Ri - ca y los del área de Puntarenas, CR-24, CR-25, CR-26, CR-27 y CR-28. Esta diferencia, puede ser debida posiblemente a las

diferentes condiciones de meteorización a que están sometidos estos dos grupos de suelos, y también a que los latosoles del área de la Meseta Central de Costa Rica y el área de Puntarenas, han sido por lo menos ligeramente contaminados con materiales recientes procedentes del volcán Irazú (90). Esta diferencia entre éstos dos grupos de latosoles, se observa también entre los subsuelos de ambos grupos.

En los valores de potasio de tasa constante encontrados en algunos suelos y subsuelos de Costa Rica (Cuadro 11, Figuras 28 y 29), se observan que éstos no fueron muy característicos para cada grupo de suelo y subsuelo. Los altos valores de potasio de tasa constante obtenidos en algunos latosoles de Costa Rica, como los encontrados en algunos suelos y subsuelos de la Meseta Central y Puntarenas, indican que este potasio depende mucho de la clase y contenido del mineral potásico del suelo. Esta observación se fundamenta en el hecho de que estos latosoles de la Meseta Central poseen una contaminación de materiales procedentes del volcán Irazú y del mismo tipo del cual están formados algunos suelos andosoles de contenidos de potasio de tasa constante bastante altos.

Al comparar los valores de potasio de tasa constante (Cuadro 11) con los valores de potasio total en los suelos y subsuelos estudiados (Cuadro 10), se observa que hay cierta rela -

ción entre los dos valores. Lo anterior es explicable si se tiene en cuenta que el potasio total del suelo es dependiente de la clase y cantidad de mineral potásico en el suelo. A este respecto, Martini (60) anota que el potasio de tasa constante también depende de la clase de mineral potásico que predomina en el suelo.

Martini (60) indica que la relación entre esos valores mencionados es pequeña debido a que el potasio extraído con ácido nítrico depende del grado de meteorización del mineral potásico, en tanto que el valor del potasio total no. Esta relación pobre es también observada en los resultados obtenidos en los suelos y subsuelos aluviales, andosoles y latosoles.

En general, los valores de K de tasa constante encontrados fueron mayores en los suelos aluviales y andosoles que en los suelos latosoles, a excepción de los suelos latosoles CR-24 y CR-26 (Cuadro 11, Figura 28). Lo anterior se observó también para los respectivos subsuelos de suelos aluviales y andosoles, respecto a los subsuelos de latosoles, a excepción de los subsuelos CR-23, CR-24, CR-25 y CR-26 (Cuadro 11, Figura 29), en los cuales se obtuvieron cantidades de potasio de tasa constante relativamente iguales a las obtenidas en algunos subsuelos de andosoles.

En los suelos aluviales, las cantidades de potasio de tasa constante variaron de 66 a 75 Kg/ha y en los subsuelos de 22 a 75 Kg/ha, con un valor promedio para los suelos y subsuelos de 72 y 57,3 Kg/ha respectivamente. Estos valores obtenidos están dentro de los límites encontrados por Martini (60) para dos suelos aluviales de Panamá.

En los suelos de andosoles, las cantidades de potasio de tasa constante variaron de 32 a 125 Kg/ha y en los subsuelos de 33 a 100 Kg/ha (Cuadro 11, Figuras 28 y 29). Se observó que en general, los valores en los suelos no fueron muy diferentes a los valores encontrados en los subsuelos. Excluyendo al suelo y subsuelo Birrisito, el valor promedio del potasio de tasa constante para los suelos fue de 87,5 Kg/ha y para los subsuelos, de 83,3 Kg/ha. Mientras que en los suelos se observó que el valor del potasio de tasa constante es proporcional al valor del potasio escalonado, en los subsuelos no se encontró esta relación.

La variación de los valores de potasio de tasa constante en los suelos andosoles posiblemente se debe a la variación en la clase y cantidad de mineral potásico en el suelo. Hay que anotar que mientras los suelos CR-6 y CR-7 contienen materiales volcánicos frescos o recientes, procedentes del Irazú en su última erupción de 1963 (90), en los suelos CR-8 y CR-9

el contenido de estos materiales frescos es menor, ya que poseen materiales también procedentes del Irazú, pero un poco más viejos. Asimismo, el suelo CR-11, a pesar de contener materiales volcánicos procedentes del volcán Poás, éstos son de erupciones más antiguas y han sufrido una mayor meteorización que los materiales volcánicos encontrados en los suelos anteriores. A este respecto, es necesario anotar que se ha encontrado que las cenizas provenientes del volcán Irazú en general contienen 1,45% de potasio, en tanto que las procedentes del Poás contienen 0,48% de potasio (90).

En los suelos latosoles, las cantidades de potasio de tasa constante variaron de 3 a 175 Kg/ha y en los subsuelos de 2 a 250 Kg/ha (Cuadro 11, Figuras 28 y 29). En este grupo de suelos se observó que a excepción de los suelos CR-22 y CR-26, los valores de potasio de tasa constante en los suelos no fueron muy diferentes de los encontrados en los respectivos subsuelos.

Los valores de potasio de tasa constante para los suelos latosoles, a excepción de los suelos CR-23, CR-24, CR-25, CR-26 y CR-27, fueron más bajos que los encontrados en los suelos andosoles y aluviales. Lo anterior se observó también para los subsuelos.

Los valores altos de potasio de tasa constante encontrados

en los suelos y subsuelos latosoles CR-23, CR-24, CR-25, CR-26 y CR-27 suponen un contenido y clase de minerales potásicos distintos a los presentes en los suelos y subsuelos del área de San Isidro del General.

Martini (60), trabajando con varios suelos de Panamá, encontró que la proporción entre el potasio escalonado y el potasio de tasa constante tuvo la tendencia a ser menor para los suelos más meteorizados. En los resultados obtenidos en el presente estudio con los suelos de Costa Rica, se observó mas bien lo contrario, tanto en los suelos andosoles como en los latosoles.

Al comparar los valores de esa proporción, se encontró que en los suelos CR-6, CR-7, CR-8, CR-9 y CR-10, el valor tiende a ser mayor para el suelo CR-10 más meteorizado y menor para el suelo CR-6, menos meteorizado (Cuadro 11). Lo mismo se puede observar al comparar las proporciones obtenidas en los suelos latosoles CR-12, CR-14, CR-15, CR-17 y CR-18, del área de San Isidro del General, con respecto a los latosoles del área de la Meseta Central y del área de Puntarenas, CR-23, CR-24, CR-25, CR-26, CR-27 y CR-28. Como se ha anotado anteriormente, las condiciones de meteorización en los suelos del área de San Isidro del General, parecen ser más avanzadas que las de la Meseta Central; asimismo, los suelos del área de San Isidro del General parecen haber sufrido una meteorización mayor

que los suelos de latosoles de la Meseta Central.

Al comparar los contenidos de potasio total en los andosoles (Cuadro 10) con los valores de las proporciones entre el potasio escalonado y el potasio de tasa constante (Cuadro 11), se observó en los suelos CR-6, CR-7, CR-9 y CR-10 que a mayor contenido de potasio total, menor es el valor de la proporción. Esto hace suponer que la proporción del potasio escalonado al potasio de tasa constante está más en función de la clase y contenido de mineral potásico del suelo y de su estado de alteración, y depende menos del estado de meteorización del suelo en sí. Esto podría explicar también por qué en algunos latosoles esta proporción fue mayor en los suelos que en los subsuelos.

Los resultados encontrados en el estudio del potasio extraído con ácido nítrico 1 N en algunos suelos y subsuelos de Costa Rica están de acuerdo con los encontrados por Martini (60) en suelos de Panamá en cuanto indican que en general los valores de potasio escalonado, de potasio de tasa constante y del potasio total extraído en extracciones sucesivas, fueron mayores para los suelos aluviales y volcánicos que para los latosoles. Aquí cabe anotar que tanto los suelos aluviales como los latosoles del área de la Meseta Central y del área de Puntarenas, tienen contaminaciones de materiales volcánicos pro-

cedentes del Irazú y Poás y además están formados a partir de materiales volcánicos depositados en erupciones anteriores por los volcanes Poás, Barba e Irazú. Debido a lo anterior, esos suelos latosoles no siguen las tendencias anotadas por Martini (60) y las observadas en otros suelos latosoles.

Al cerrar esta discusión, cabe anotar que tanto el contenido de potasio total en el suelo como el valor del potasio escalonado y el del potasio de tasa constante, puede dar una indicación no sólo del contenido de potasio del suelo y de su capacidad para liberarlo, sino también del estado de meteorización de los minerales potásicos y del suelo mismo.

E. Capacidad de abastecimiento y fijación de potasio, y el efecto residual del abonamiento potásico

La capacidad de abastecimiento de potasio de un suelo ha sido definida como la cualidad del suelo para suministrar potasio a las plantas a partir de las formas intercambiables y no intercambiables (102). Por otra parte, se ha encontrado que el potasio en el suelo, obtenido con ácido nítrico normal ha presentado buenos resultados como un índice de la capacidad de abastecimiento de potasio a la planta de un suelo (78). Teniendo en cuenta lo anterior, se presentarán y discutirán a continuación los resultados de las relaciones obtenidas entre las pruebas de

invernadero y las obtenidas en el estudio del potasio obtenido con ácido nítrico normal en algunos suelos y subsuelos de Costa Rica (Cuadro 11).

En el Cuadro 12 se presentan los coeficientes de correlación lineal obtenidos al comparar los valores de peso seco de la planta, del contenido total de potasio, del porcentaje de potasio en la planta y de los respectivos rendimientos relativos con los valores de potasio obtenidos con ácido nítrico normal en la primera extracción y con los valores de potasio obtenidos en las cuatro extracciones sucesivas. Las relaciones se pueden apreciar también en las Figuras 18, 19, 20, 21, 22 y 23.

Las relaciones entre el peso seco de la planta de tratamiento $\leq K_0$ y los valores de potasio en el suelo extraído con ácido nítrico normal, tanto en la primera como en las cuatro extracciones, no presentaron correlaciones lineales significativas (Cuadro 12), ni en los suelos y subsuelos de andosoles ni en los suelos y subsuelos de latosoles. Las relaciones presentaron coeficientes de correlación lineal altos y significativos en los suelos y subsuelos tomados en conjunto. También se encontró que las relaciones entre los rendimientos relativos y los valores de potasio en los suelos y subsuelos extraídos con ácido nítrico, fueron muy pequeños (Figuras 18 y 21).

En el Cuadro 12 se observa que los coeficientes de correlación

CUADRO 12. COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL (r) ENTRE VALORES DE POTASIO EXTRAICO CON ACIDO NITRICO 1 NORMAL EN SUELOS Y SUBSUELOS Y LOS VALORES DE PESO SECO, CONTENIDO TOTAL DE POTASIO Y CONCENTRACION DE POTASIO EN LAS PLANTAS.

Solución extractora	MUESTRAS	Peso seco		Contenido total		% K en planta	
		≤ K ₀ (b)	R.R.(c)	≤ K ₀	R.R.	≤ K ₀	R.R.
HNO ₃ (d)	Suelos (A & L) (a)	0,844***	0,197	0,899***	0,275	0,797***	0,215
	" andosoles	0,769	-0,145	0,863*	0,833*	0,873*	0,831*
	" latosoles	0,625	0,079	0,899***	0,058	0,902**	0,179
	Subsuelos (A & L)	0,869***	0,602*	0,911*	0,880***	0,893***	0,837***
	" andosoles	0,788	0,491	0,402	0,894*	0,893	0,857*
	" latosoles	-0,016	-0,187	0,900***	0,340	0,592	0,692
HNO ₃ (e)	Suelos (A & L)	0,836***	0,178	0,879*	0,256	0,805***	0,197
	" andosoles	0,787	-0,150	0,818*	0,850*	0,890*	0,851*
	" latosoles	0,409	-0,071	0,927***	0,052	0,916**	0,049
	Subsuelos (A & L)	0,886***	0,599*	0,896*	0,861***	0,866***	0,822***
	" andosoles	0,819*	0,534	0,067	0,865*	0,867*	0,818*
	" latosoles	-0,281	-0,430	0,005	0,005	0,305	0,463

(a) Suelos en general (andosoles y latosoles)

(b) Peso seco para el tratamiento ≤ K₀

(c) Peso seco expresado como rendimiento relativo

(d) Potasio extraído en la primera extracción

(e) Potasio extraído en 4 extracciones sucesivas

Estos resultados se obtuvieron al comparar algunos resultados del Cuadro 1 con algunos resultados de los Cuadros 5, 6 y 7.

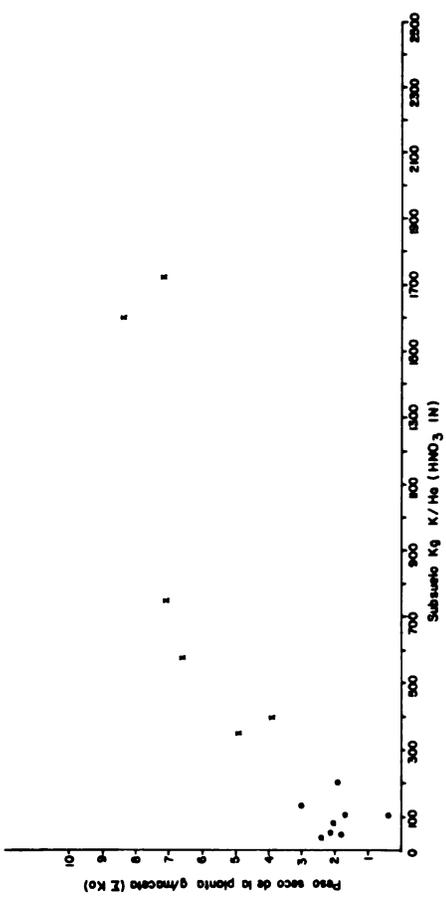
*** Significancia al 0.001

** Significancia al 0.01

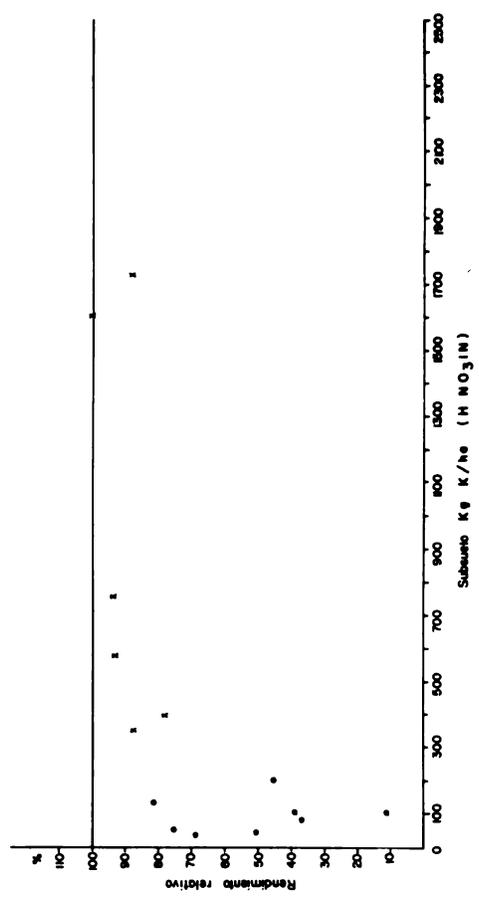
* Significancia al 0.05



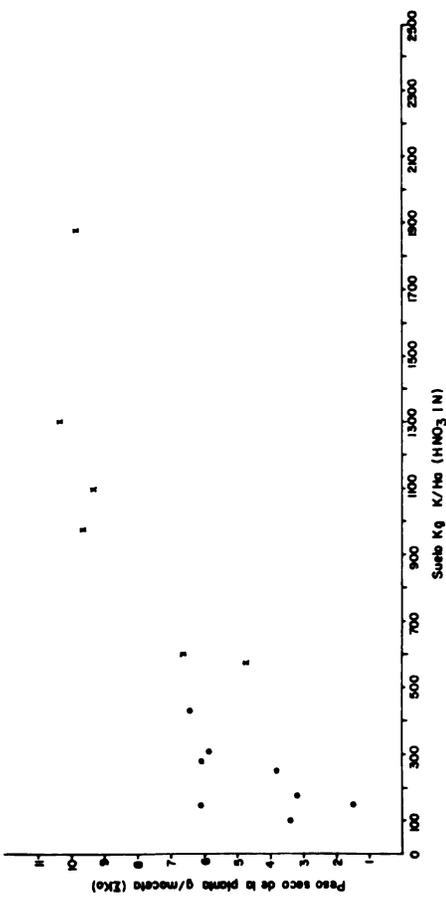
$r_s = 0,89988$
 $r_1 = 0,788$
 $r_2 = -0,016$



$r_s = 0,6022$
 $r_1 = 0,499$
 $r_2 = -0,167$



suelo
 $r_s = 0,84811$
 suelo andosoles $r_1 = 0,769$
 suelo 1:10:80:1 $r_2 = 0,625$



$r_s = 0,197$
 $r_1 = -0,145$
 $r_2 = 0,079$

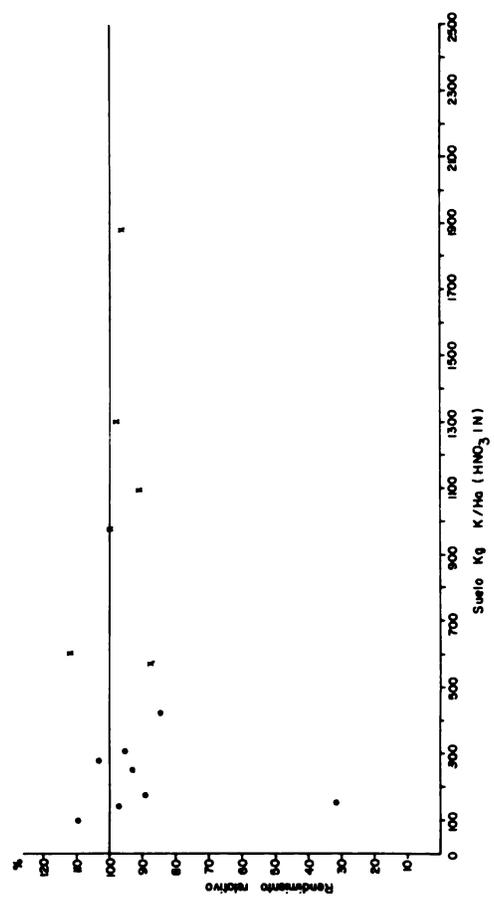
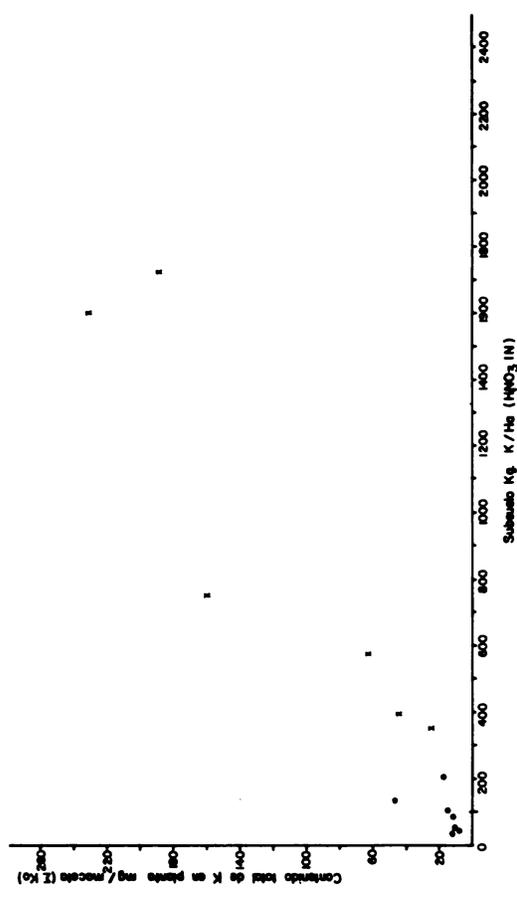
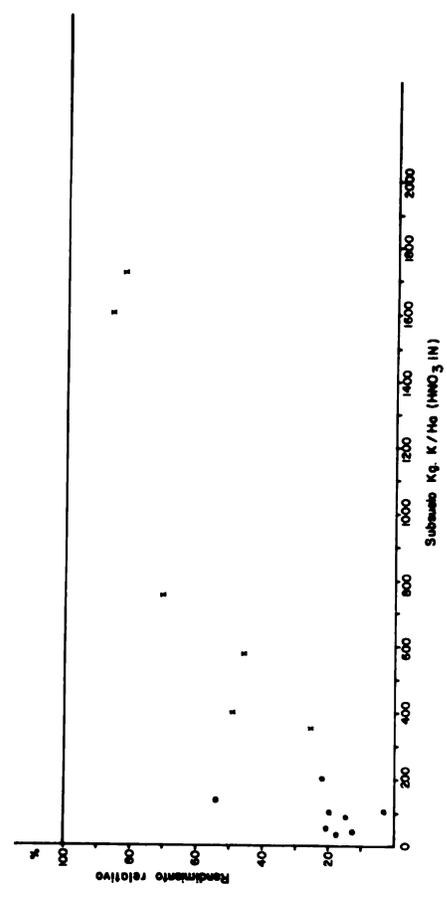


Fig. 18 Relaciones entre el peso seco de la planta, rendimiento relativo y el potasio extraído con ácido nítrico IN (Extracción en andosoles(1) y Intosoles 6)

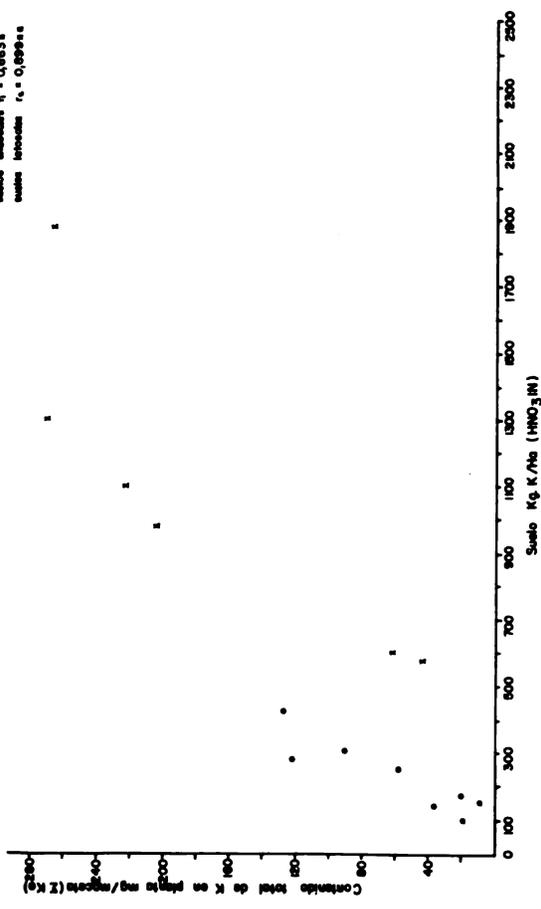
$r = 0,949$ sig
 $n = 0,911$
 $n = 0,402$



$r = 0,880$ sig
 $n = 0,894$
 $n = 0,340$



sustrato $r = 0,899$ sig
 sustrato andiosoles $r = 0,833$ sig
 sustrato latosoles $r = 0,899$ sig



$r = 0,275$
 $n = 0,833$ sig
 $r = 0,798$

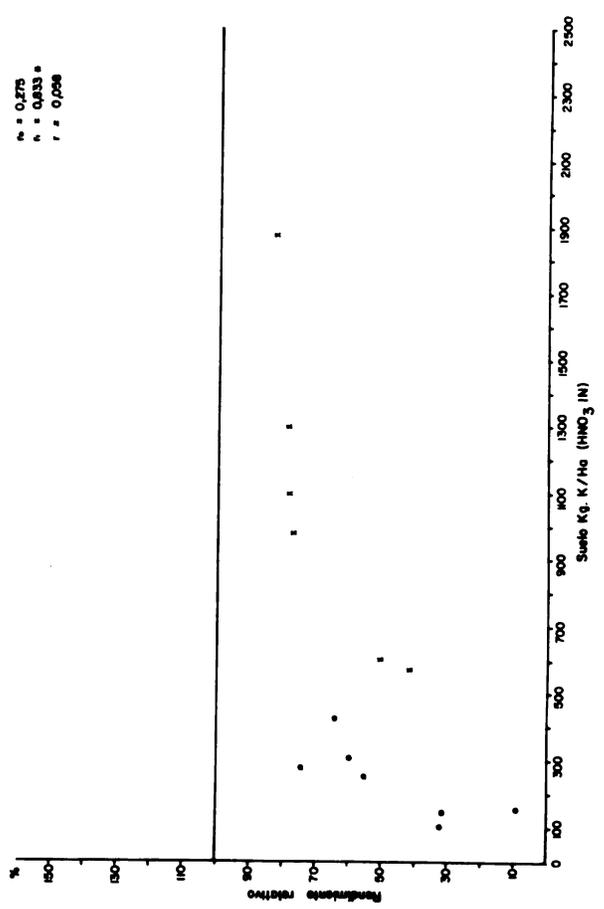
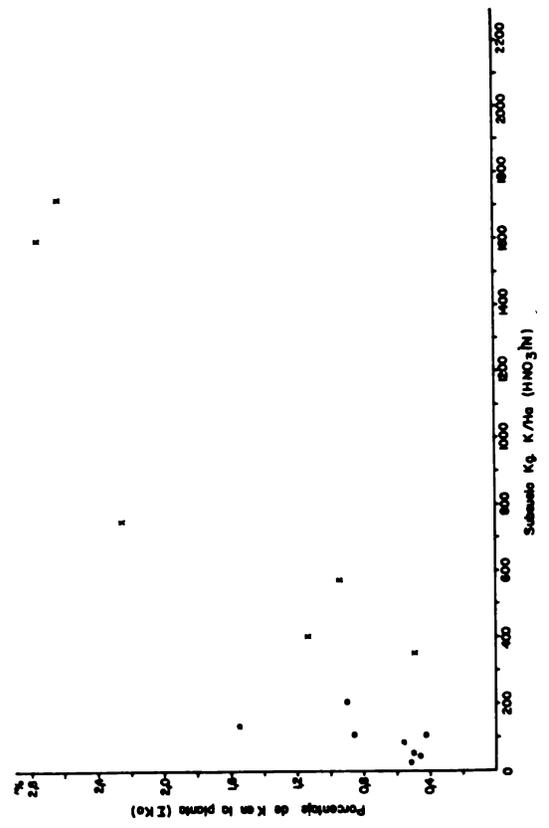
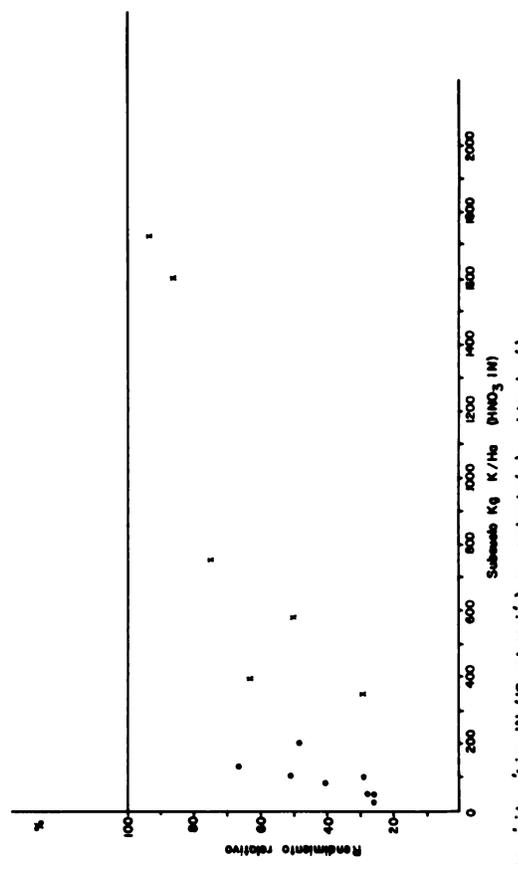


Fig. 19 Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta, rendimiento relativo y el potasio extraído con ácido nítrico IN (19 extracción) en andiosoles (x) y latosoles (•)

$r_1 = 0,993$
 $r_2 = 0,993$
 $r_3 = 0,992$

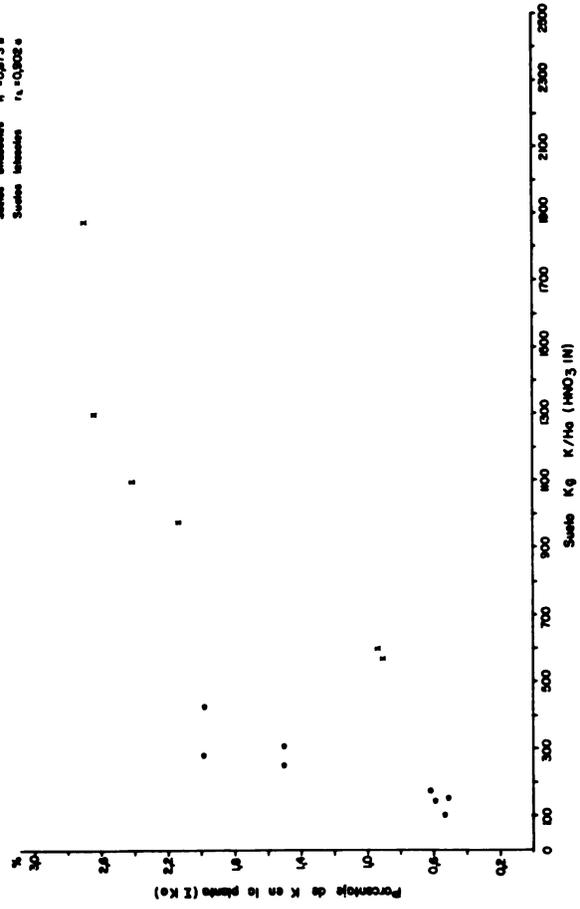


$r_1 = 0,987$
 $r_2 = 0,987$
 $r_3 = 0,982$



Suelos
 Suelos estruados
 Suelos labrados

$r_1 = 0,977$
 $r_2 = 0,973$
 $r_3 = 0,968$



$r_1 = 0,925$
 $r_2 = 0,931$
 $r_3 = 0,779$

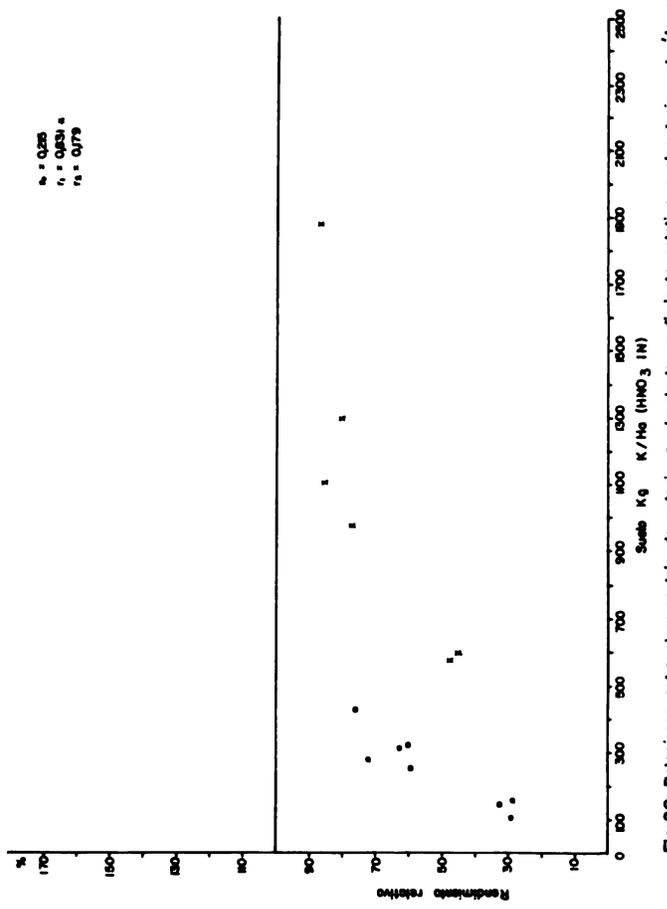


Fig.20 Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, rendimiento relativo y el potasio extraído con ácido nítrico 1N (18 extracción) en endocoles (x) y labrados (y)



$r_1 = 0,888$ ***
 $r_2 = 0,819$ *
 $r_3 = -0,281$

suelo
 $r_1 = 0,836$ ***
 suelo endosado
 $r_2 = 0,787$ **
 suelo lavado
 $r_3 = 0,409$

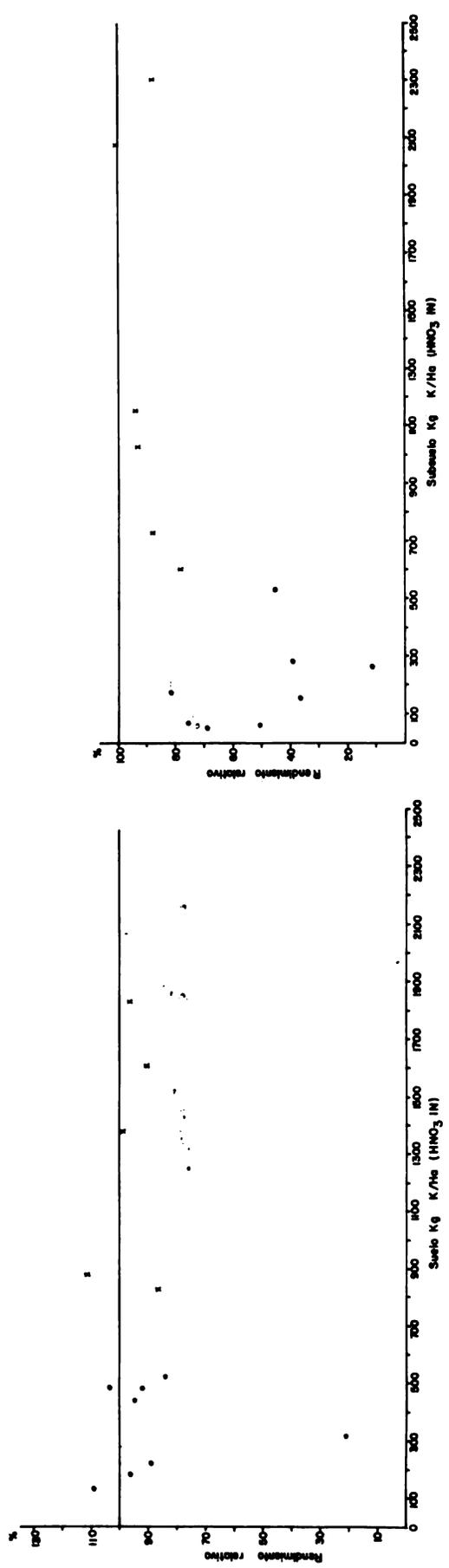
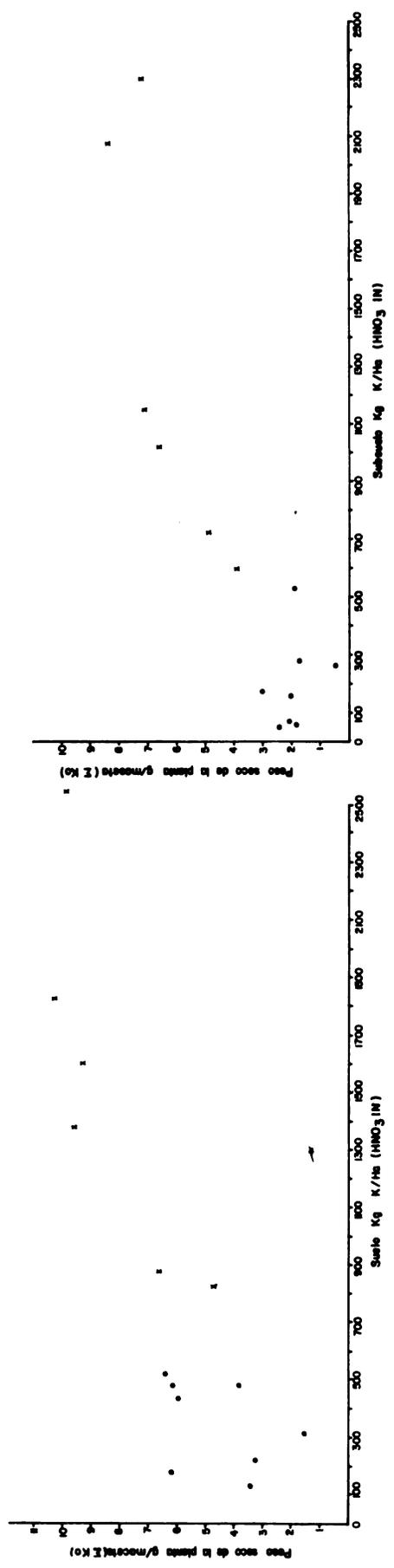


Fig. 2) Relaciones entre el peso seco de la planta, rendimiento relativo y el potato obtenido en cuatro extracciones sucesivas con ácido nítrico IN en endosados (x) y lavados (•)

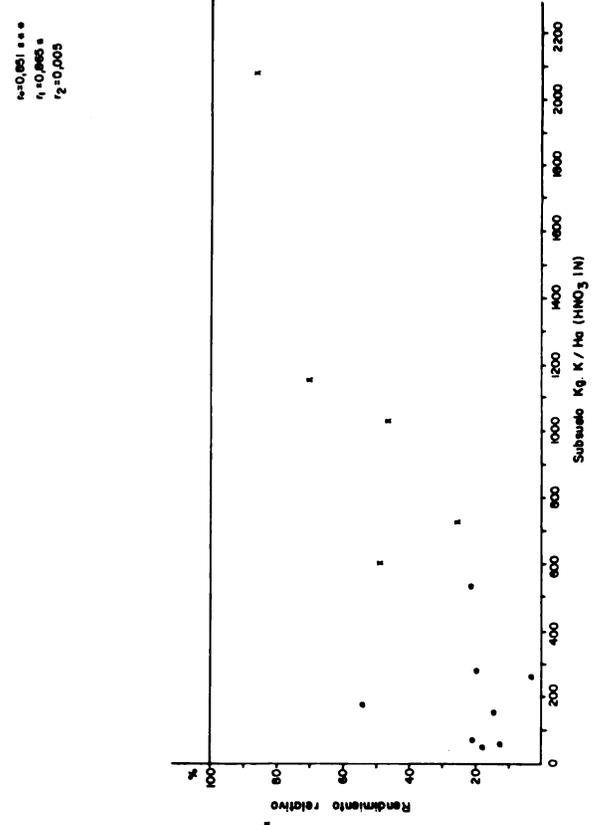
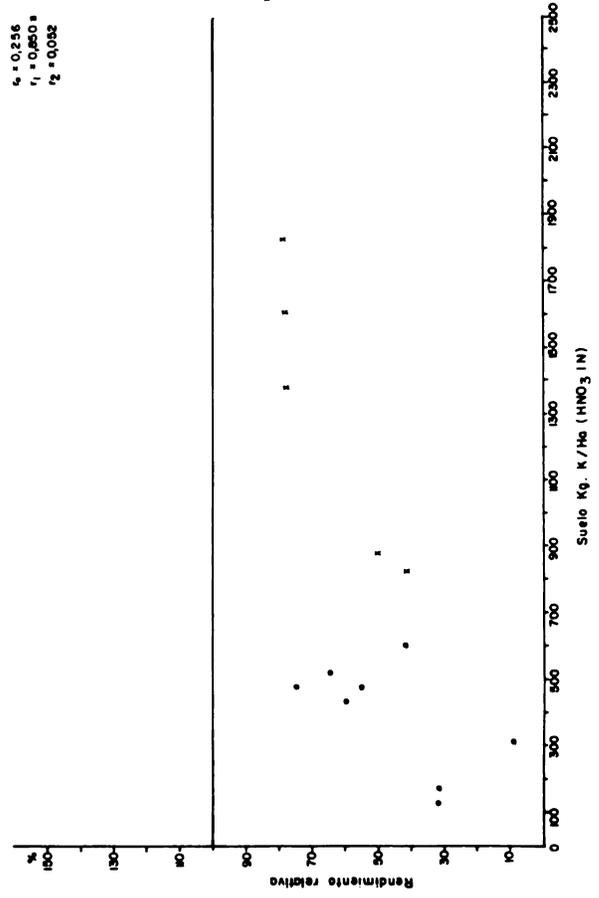
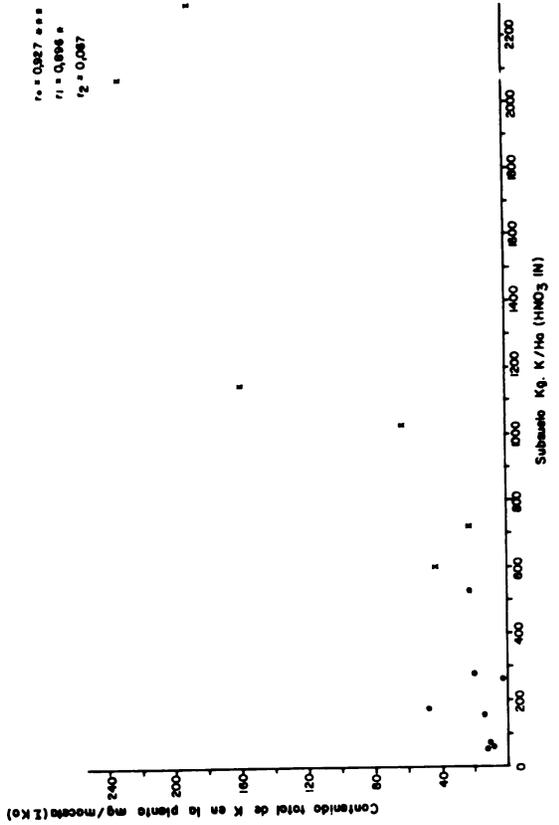
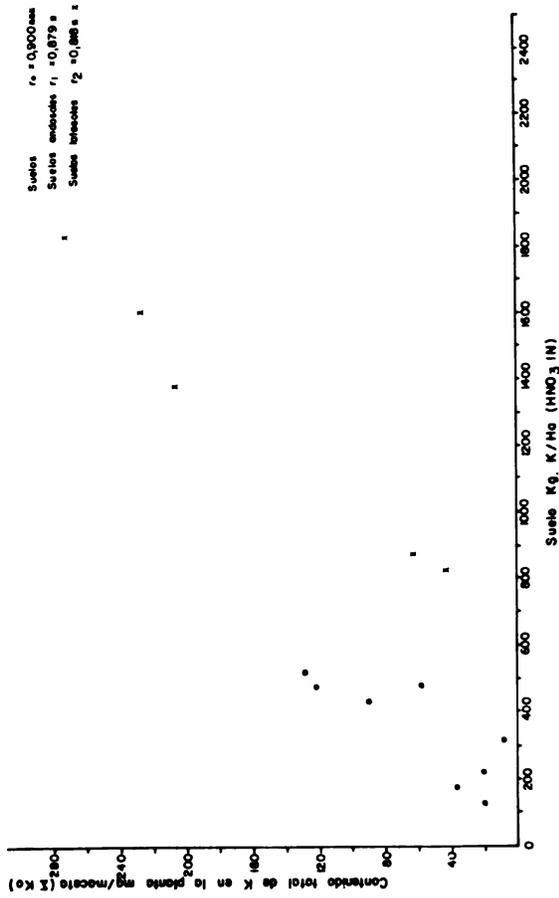
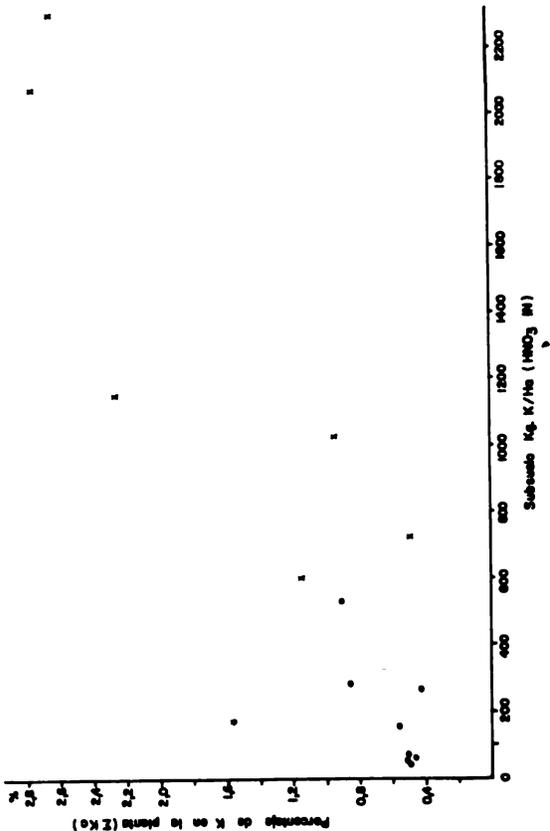
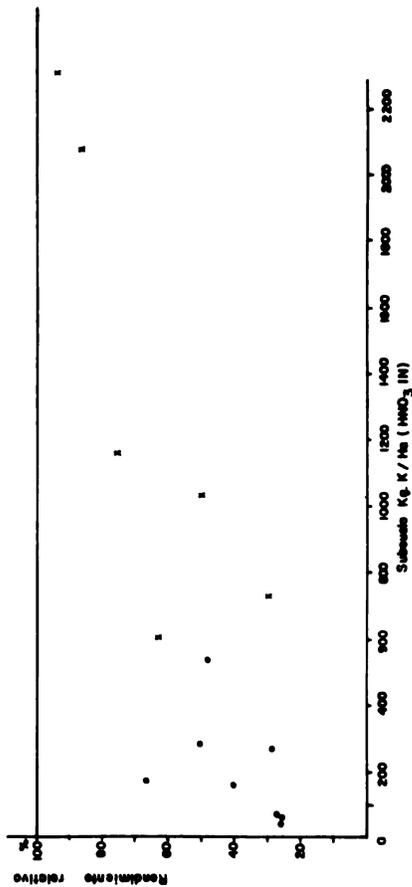


Fig. 22.- Relaciones entre el contenido total de potasio en la planta, su rendimiento relativo y el potasio obtenido en 4 extracciones sucesivas con ácido nítrico IN en andados (x) y limados (o)

$r = 0,988$
 $s = 0,007$
 $n = 0,320$

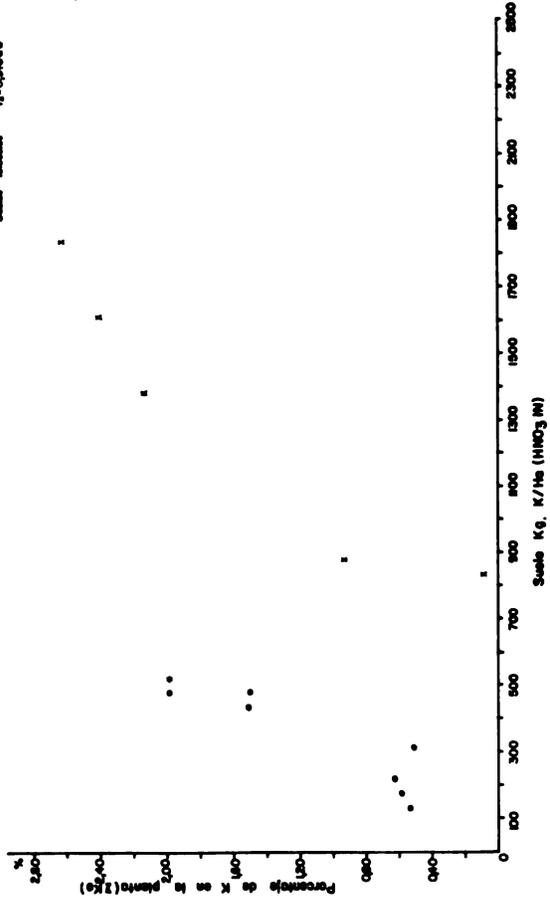


$r = 0,922$
 $s = 0,008$
 $n = 0,408$



Sueldo
 Sueldo adicional
 Sueldo total

$r = 0,920$
 $s = 0,007$
 $n = 0,308$



$r = 0,977$
 $s = 0,005$
 $n = 0,048$

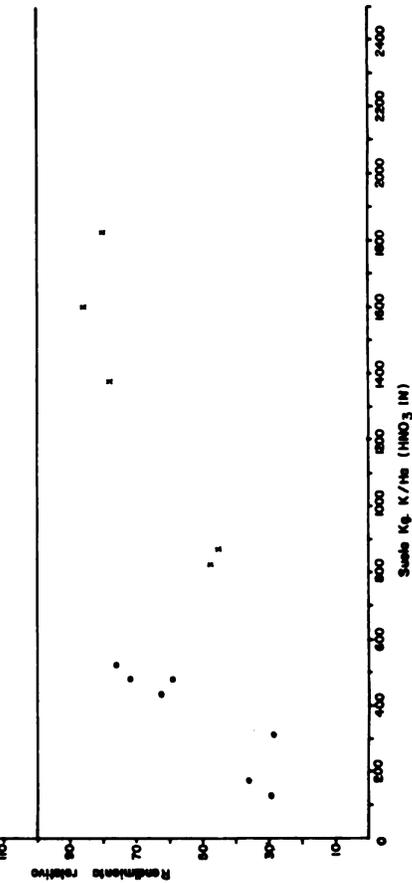


Fig. 23 Relaciones entre el porcentaje de potasio en la planta, rendimiento relativo y el potasio obtenido en cuatro estratificaciones sucesivas con ácido nítrico IN en andosoles (1.) y lebeceles (2.)



ción lineal al comparar el contenido total de potasio en la planta con los valores de potasio en el suelo y subsuelo extraído con ácido nítrico normal, tanto en la primera extracción como en el total de las cuatro extracciones sucesivas, fueron altamente significativas para los suelos de andosoles y latosoles juntos, para los subsuelos de andosoles y de latosoles juntos y para los suelos de latosoles en la primera extracción. Los coeficientes de correlación lineal fueron significativos al 5% para los suelos y subsuelos andosoles en la primera extracción y también en los suelos andosoles, suelos latosoles y subsuelos andosoles para el potasio extraído en cuatro extracciones sucesivas.

En las Figuras 19 y 22 se observa que las relaciones entre el contenido total de potasio en la planta y el potasio extraído en los suelos y subsuelos, tanto en la primera extracción como en cuatro extracciones sucesivas, son de tipo lineal. En cambio, las relaciones entre los rendimientos relativos del contenido total de potasio en las plantas y los valores de potasio extraído con ácido nítrico son de tipo no-lineal. Los resultados encontrados en las relaciones del contenido total de potasio en la planta y el potasio del suelo extraído con ácido nítrico normal en la primera extracción, concuerdan con los encontrados por Bravo (13) en un grupo de suelos aluviales, andosoles y latosoles de la Meseta Central de Costa Rica

y con los encontrados por Marín, McClung y Luenga (59) en un grupo de suelos de Colombia.

El porcentaje de potasio en las plantas de tratamiento $\leq K_0$ y los rendimientos relativos al compararse con los valores de potasio extraído con ácido nítrico normal presentaron iguales relaciones a las observadas con el contenido de potasio total en la planta, tanto para el potasio extraído en la primera extracción con el extraído en cuatro extracciones sucesivas (Figuras 20 y 23). En el Cuadro 12 se observa que los coefi - cientes de correlación lineal altamente significativos se obtuvieron tanto en los suelos como en los subsuelos tomados en conjunto y en los suelos latosoles. Asimismo, se obtuvieron coeficientes de correlación lineal significativos en los sue - los y subsuelos andosoles para el potasio extraído tanto en la primera como en las cuatro extracciones sucesivas.

Con el fin de observar mejor la relación entre el potasio ex - traído por la planta y el potasio del suelo y subsuelo extraído con ácido nítrico, se compararon los valores de potasio obtenidos por la planta en una segunda cosecha sucesiva con el potasio obtenido en la segunda extracción sucesiva (Cuadros 13 y 14, Figura 24). Asimismo, se compararon los valores de pota - sio obtenidos por las plantas en una tercera cosecha sucesiva con el potasio del suelo y del subsuelo en la tercera extrac

CUADRO 13. PESO SECO DE LA PLANTA DE TOMATE Y PORCIENTO DE POTASIO EN LA PLANTA, CORRESPONDIENTES A TRES COSECHAS SUCEASIVAS EN EXPERIMENTOS DE INVERNADERO Y BAJO EL TRATAMIENTO $\leq K_0$.

Suelos y Subsuelos	1a. Cosecha		2a. Cosecha		3a. Cosecha		
	Peso seco de planta g/maceta	% de K en planta	Peso seco de planta g/maceta	% de K en planta	Peso seco de planta g/maceta	% de K en planta	
Andosoles: CR-6	S	6,6	0,93	1,5	0,55	2,7	1,40
	Sub	4,9	0,49	2,6	0,37	3,1	0,80
CR-7	S	9,6	2,13	5,4	0,81	3,9	0,88
	Sub	8,4	2,75	12,3	2,18	5,7	1,20
CR-8	S	10,3	2,63	8,0	0,86	4,3	0,68
	Sub	6,6	0,94	5,9	0,66	1,7	0,77
CR-9	S	9,3	2,41	11,9	0,70	2,5	0,73
	Sub	7,1	2,25	9,6	0,73	2,9	1,00
CR-10	S	9,8	2,69	13,1	2,28	3,8	1,07
	Sub	7,2	2,63	9,3	2,15	4,8	2,42
CR-11	S	4,7	0,90	7,2	0,85	3,5	1,16
	Sub	3,9	1,13	5,5	0,78	3,9	0,82
CR-12	S	3,4	0,53	3,2	0,48	1,8	0,96
	Sub	2,4	0,51	3,4	0,34	0,4	0,22
CR-15	S	3,2	0,61	4,8	0,38	4,8	1,08
	Sub	2,1	0,50	1,0	0,25	0,1	0,21
CR-16	S	6,4	1,98	4,6	0,33	1,3	0,95
	Sub	3,0	1,55	1,5	0,64	0,8	0,86
CR-17	S	6,1	0,58	3,1	0,31	1,6	0,83
	Sub	1,8	0,46	4,8	0,29	0,9	0,91
CR-23	S	1,5	0,50	8,0	0,31	0,4	0,22
	Sub	0,4	0,42	1,5	0,36	2,2	0,73
CR-25	S	3,8	1,50	10,3	0,40	0,6	0,23
	Sub	1,9	0,90	5,4	0,43	0,6	0,23
CR-27	S	6,1	1,98	8,3	0,36	0,7	0,23
	Sub	1,7	0,85	3,6;	0,35	0,7	0,25
CR-28	S	5,9	1,50	6,8	0,42	3,5	0,80
	Sub	2,0	0,55	3,4	0,33	0,5	0,27

CUADRO 14. POTASIO INTERCAMBIABLE DE LOS SUELOS Y SUBSUELOS ANTES Y DESPUES DE CADA COSECHA SUCESIVA?
 CONTENIDO TOTAL DE POTASIO EN LAS PLANTAS Y POTASIO LIBERADO (O FIJADO) EN CADA COSECHA
 BAJO EL TRATAMIENTO $\leq K_0$ (EXPERIMENTO EN INVERNADERO)

SUELOS Y SUBSUELOS	Potasio interc. antes 1a cosecha (a)		K liberado o fijado de 1a. cosecha (a)		Contenido total de K en planta cosecha (b)		K interc. después de 1a. cosecha		K liberado o fijado		Contenido total de K en planta
	interc. total de K	en planta	interc. después de 1a.	en planta	total de K	en planta	después de 1a.	cosecha	o fijado		
m g / m a c e t a											
Andosoles:											
CR-6	S	59,5	61,3	28,0	29,8	8,25	8,75	8,75	-11,0	37,8	
	Sub	45,5	24,2	31,5	10,2	9,8	13,65	13,65	- 8,05	24,8	
CR-7	S	304,5	204,4	94,5	-5,6	44,12	40,25	40,25	-10,13	34,59	
	Sub	525,0	231,0	525,0	231,0	269,06	74,55	74,55	-181,39	68,4	
CR-8	S	462,0	270,9	157,5	-33,6	68,8	58,8	58,8	-39,9	29,54	
	Sub	112,0	62,0	49,0	-1,0	38,94	18,2	18,2	8,14	13,17	
CR-9	S	395,5	224,1	129,5	-41,9	83,54	23,45	23,45	-22,51	18,42	
	Sub	315,0	159,7	119,0	-36,3	70,08	20,65	20,65	-28,27	29,0	
CR-10	S	840,0	263,6	455,0	-121,4	299,66	113,75	113,75	-41,59	40,84	
	Sub	735,0	189,3	455,0	-90,7	199,95	20,65	20,65	-234,4	116,4	
CR-11	S	247,0	42,3	185,5	-19,2	61,2	50,05	50,05	-74,25	40,67	
	Sub	150,5	44,1	129,5	23,1	43,01	29,4	29,4	-57,09	32,17	
Latosoles:											
CR-12	S	34,5	18,2	42,0	25,77	15,52	14,7	14,7	-11,78	17,32	
	Sub	12,5	112,3	21,0	20,80	11,8	16,8	16,8	7,6	0,88	
CR-15	S	64,5	19,56	84,0	39,06	18,57	26,25	26,25	-39,18	51,84	
	Sub	13,5	10,6	63,0	60,10	2,5	19,25	19,25	-41,25	0,21	
CR-16	S	193,35	127,2	42,0	-24,15	15,18	17,5	17,5	-9,32	12,35	
	Sub	85,75	46,5	52,5	13,25	9,67	33,6	33,6	-9,23	6,94	

Cuadro 14. Continuación...

Suelos y Subsuelos	Potasio interc. antes de 1a. cosecha		K liberado o fijado		Contenido total de K en planta cosecha		K interc. después de 1a cosecha		K liberado o fijado		Contenido total de K en planta
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	
m g / m a c e t a											
CR-17 S	65,5	35,38	42,0	11,88	9,67	14,35	-17,98	13,39			
Sub	19,5	8,37	21,0	9,87	13,92	8,05	0,97	8,21			
CR-23 S	53,2	7,56	38,5	-7,14	24,96	16,8	3,26	0,9			
Sub	29,75	1,69	17,50	-10,56	5,43	12,25	0,18	16,21			
CR-25 S	99,75	57,0	56,0	13,25	41,2	15,75	0,95	1,42			
Sub	45,5	17,1	35,0	6,6	23,65	26,25	14,90	1,41			
CR-27 S	126,0	121,09	38,5	33,59	30,38	13,65	5,53	1,66			
Sub	28,0	14,45	21,0	7,45	12,67	24,5	16,17	1,78			
CR-28 S	113,5	88,5	56,0	31,0	28,9	24,5	-2,6	28,0			
Sub	31,5	11,0	17,5	-3,0	11,46	8,75	2,71	1,37			

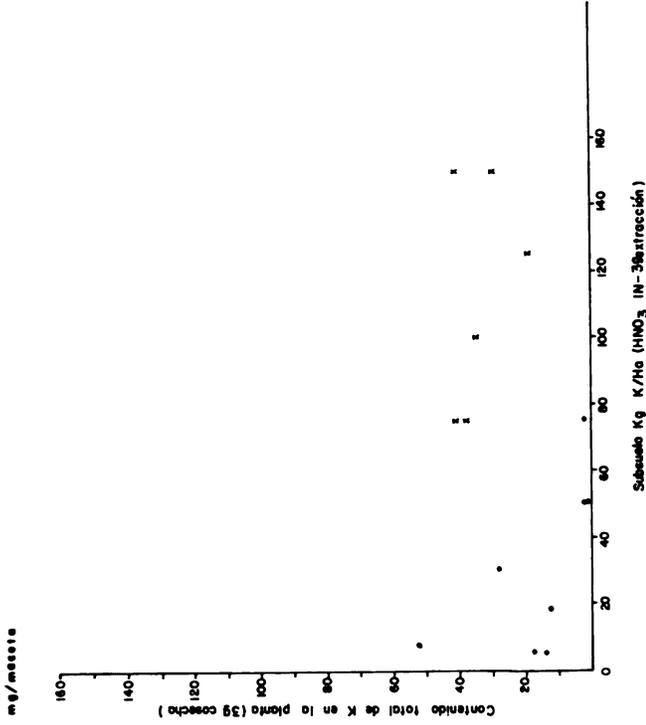
(a) Extracción con acetato de amonio 1 N pH 7

(b) Potasio liberado (+) o fijado (-) = (K cambiante en el suelo después del cultivo + K en la planta - K cambiante en el suelo antes del cultivo)



Coefficientes de correlación
 Lineal para suelos
 Suelos $r_1 = 0,823$
 Suelos andosoles $r_2 = 0,847$
 Suelos latosoles $r_3 = 0,860$

$r_1 = 0,230$
 $r_2 = -0,341$
 $r_3 = -0,851$



$r_1 = 0,826$
 $r_2 = 0,820$
 $r_3 = 0,703$

$r_1 = 0,557$
 $r_2 = 0,094$
 $r_3 = 0,037$

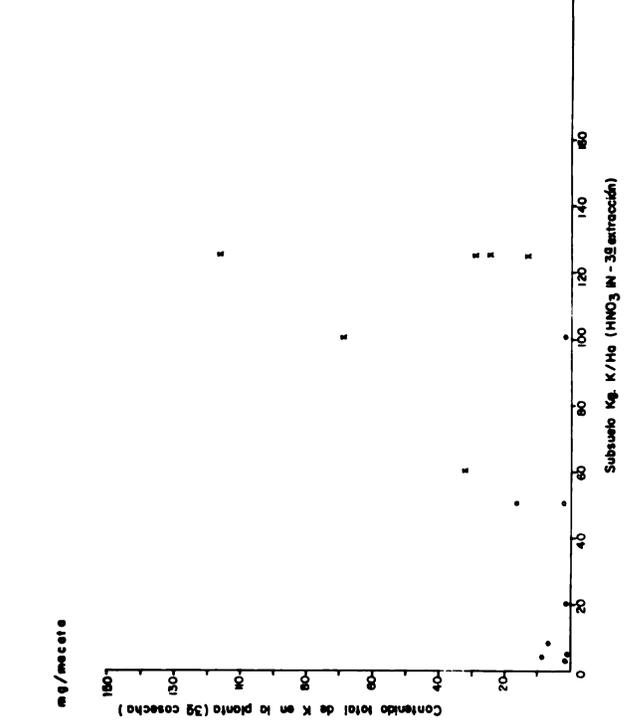


Fig. 2.4 Relaciones entre el contenido total de potasio en las plantas de la 28 y 29 cosechas sucesivas y el potasio obtenido en la 28 y 29 extracción sucesiva con ácido nítrico IN en andosoles(y latosoles.)



ción sucesiva y también se comparó el potasio extraído por la planta en las tres cosechas sucesivas con los valores del total de potasio obtenido en las tres extracciones sucesivas del ácido nítrico normal (Figura 25).

En el Cuadro 15 se presentan los coeficientes de correlación lineal de las anteriores relaciones. Se observó que estos coeficientes fueron más altos en las comparaciones de la segunda cosecha sucesiva que en las de la tercera cosecha sucesiva, pero fueron las más altas en las comparaciones del potasio extraído por la planta en las tres cosechas sucesivas con el potasio obtenido con el ácido nítrico en tres extracciones sucesivas, siendo los coeficientes altamente significativos al 1% para los suelos y subsuelos en general, para los suelos y subsuelos andosoles y para los suelos latosoles.

Al comparar las relaciones lineales y los coeficientes obtenidos en anteriores relaciones de potasio en la planta y potasio del suelo extraído por métodos de laboratorio, se encontró que los más altos coeficientes de correlación lineal obtenidos fueron los correspondientes a las relaciones entre el potasio extraído por la planta en tres cosechas sucesivas y el potasio del suelo obtenido con ácido nítrico normal en tres extracciones sucesivas. A esto hay que hacer una excepción para los coeficientes obtenidos en los subsuelos latosoles, en



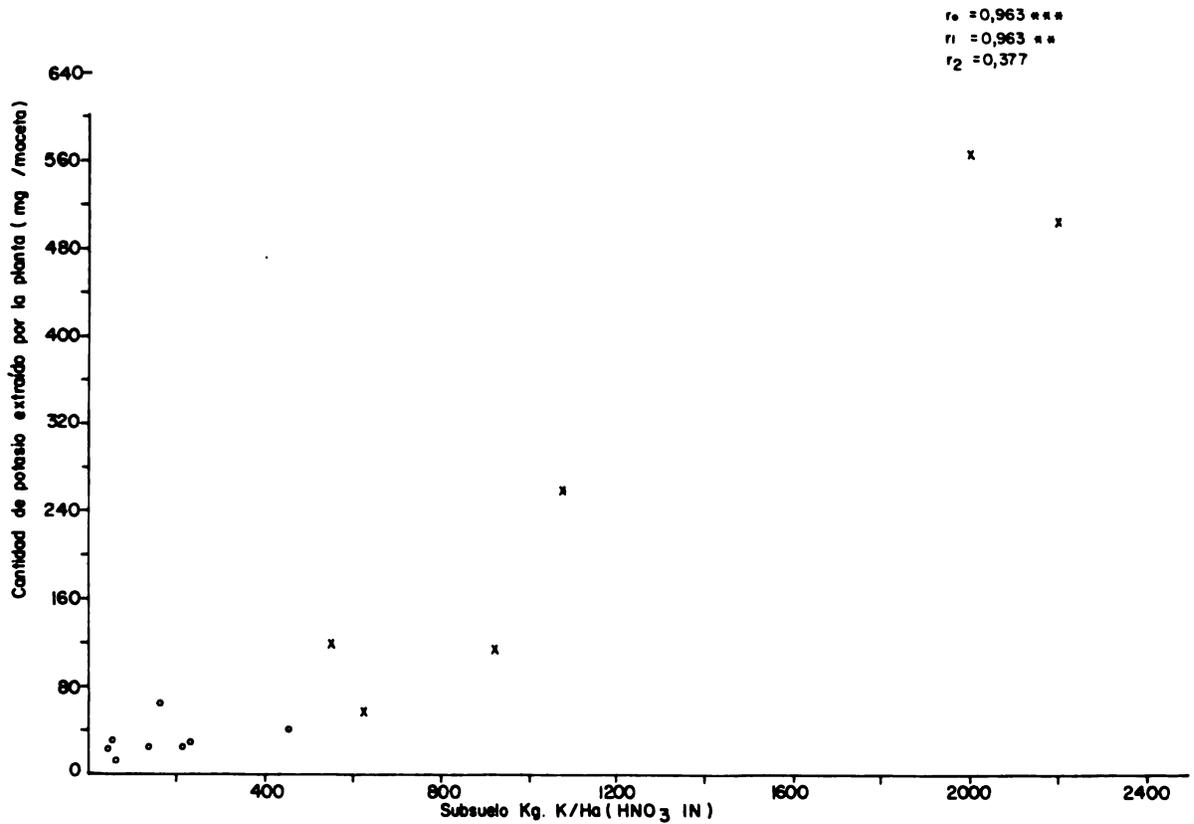
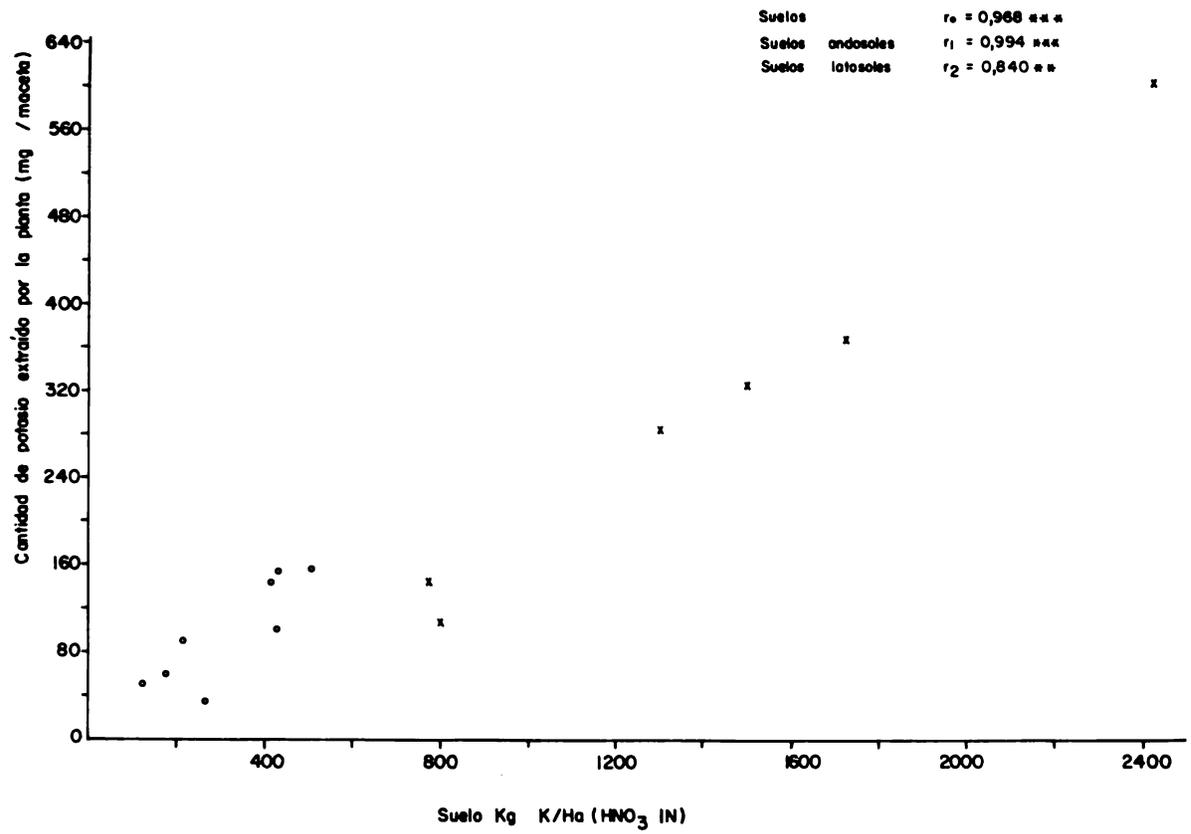


Fig. 25 Relaciones entre la cantidad de potasio extraído por la planta en tres cosechas sucesivas y la cantidad de potasio obtenido en tres extracciones sucesivas con ácido nítrico IN en andosoles(x) y latosoles(o)



CUADRO 15. COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL (r) ENTRE LOS VALORES DE POTASIO EXTRAIDO CON ACIDO NITRICO 1 NORMAL EN SUELOS Y SUB SUELOS Y LOS VALORES DE CONTENIDO TOTAL DE POTASIO EN LAS PLANTAS.

	Contenido total de potasio en la planta		
	$\leq K_0(b)$	$\leq K_0(c)$	$\leq K_0(d)$
Suelos A & L (a)	0,823***	0,230	0,968***
Suelos andosoles	0,847*	-0,341	0,994***
Suelos latosoles	0,860**	-0,631	0,840**
Subsuelos A & L	0,826***	0,557*	0,963***
Subsuelos andosoles	0,825*	0,104	0,963***
Subsuelos latosoles	0,703	0,037	0,377

- (a) Suelos en general: andosoles y latosoles
 (b) Coeficientes para potasio extraído en el suelo y subsuelo en la segunda extracción sucesiva y el extraído por la planta en la segunda cosecha sucesiva.
 (c) Coeficientes para potasio extraído en el suelo y subsuelo en la tercera extracción sucesiva y el extraído por la planta en la tercera cosecha sucesiva.
 (d) Coeficientes para el potasio total extraído en tres extracciones sucesivas y el potasio extraído por la planta en tres cosechas sucesivas.

Estos resultados se obtuvieron al comparar resultados del Cuadro 14 con algunos resultados del Cuadro 11.

Grados de significancia: * = 0.05
 ** = 0.01
 *** = 0.001

donde sucedió lo contrario.

El hecho de que en algunos suelos y subsuelos las cantidades de potasio extraídas por las plantas sean mayores que el contenido inicial del potasio intercambiable, como puede observarse en los resultados anotados en el Cuadro 14, supone una liberación de potasio a la forma intercambiable. Asimismo, al considerar que el potasio extraído con el ácido nítrico incluye cierta cantidad de potasio liberado no-intercambiable, indica que la relación encontrada entre los valores del potasio extraído con el ácido nítrico normal en extracciones sucesivas y los valores de potasio extraído por la planta en cosechas sucesivas, tiene una mayor validez. Lo anterior lleva a considerar al valor del potasio extraído con ácido nítrico normal en extracciones sucesivas como un índice de la capacidad de abastecimiento de potasio de un suelo.

Pope y Cheney (77) encontraron que las cantidades de potasio no-intercambiable liberado en las extracciones sucesivas de ácido nítrico presentaron una alta correlación con las cantidades de potasio no-intercambiable liberadas durante cosechas sucesivas de trébol ladino en el invernadero. También encontraron que los valores del potasio intercambiable de los suelos antes de las cosechas presentaron una correlación muy baja con las cantidades de potasio extraídas por las co-

sechas sucesivas de trébol ladino.

En los Cuadros 13 y 14 se presentan los resultados de tres cosechas sucesivas de tomate en el invernadero, bajo el tratamiento $\leq K_0$. Se indican en las Figuras 26A y 26B respectivamente, el peso seco y los contenidos totales de potasio en las plantas en cada una de las tres cosechas sucesivas efectuadas en algunos latosoles.

En la Figura 26A se observa que el peso seco de las plantas de tratamiento $\leq K_0$ disminuye en la segunda cosecha sucesiva en los suelos CR-12, CR-16 y CR-17, en tanto que en los demás aumentó. Asimismo, el peso seco de las plantas en la tercera cosecha sucesiva declinó significativamente para todos los suelos. En los subsuelos, a excepción del subsuelo CR-23, se obtuvieron resultados similares a los encontrados en los suelos.

En la Figura 26B se observa que el contenido total de potasio en las plantas de tratamiento $\leq K_0$ en la segunda cosecha sucesiva, se redujo a todos los suelos, a excepción del suelo CR-23. También se observa que en la tercera cosecha sucesiva el contenido total de potasio en las plantas disminuyó aún más en los suelos CR-16, CR-25, CR-27 y CR-28, pero en los suelos CR-12 y CR-17 hubo un ligero aumento y un aumento bastante significativo en el suelo CR-15. En los subsuelos, a excepción de los sub



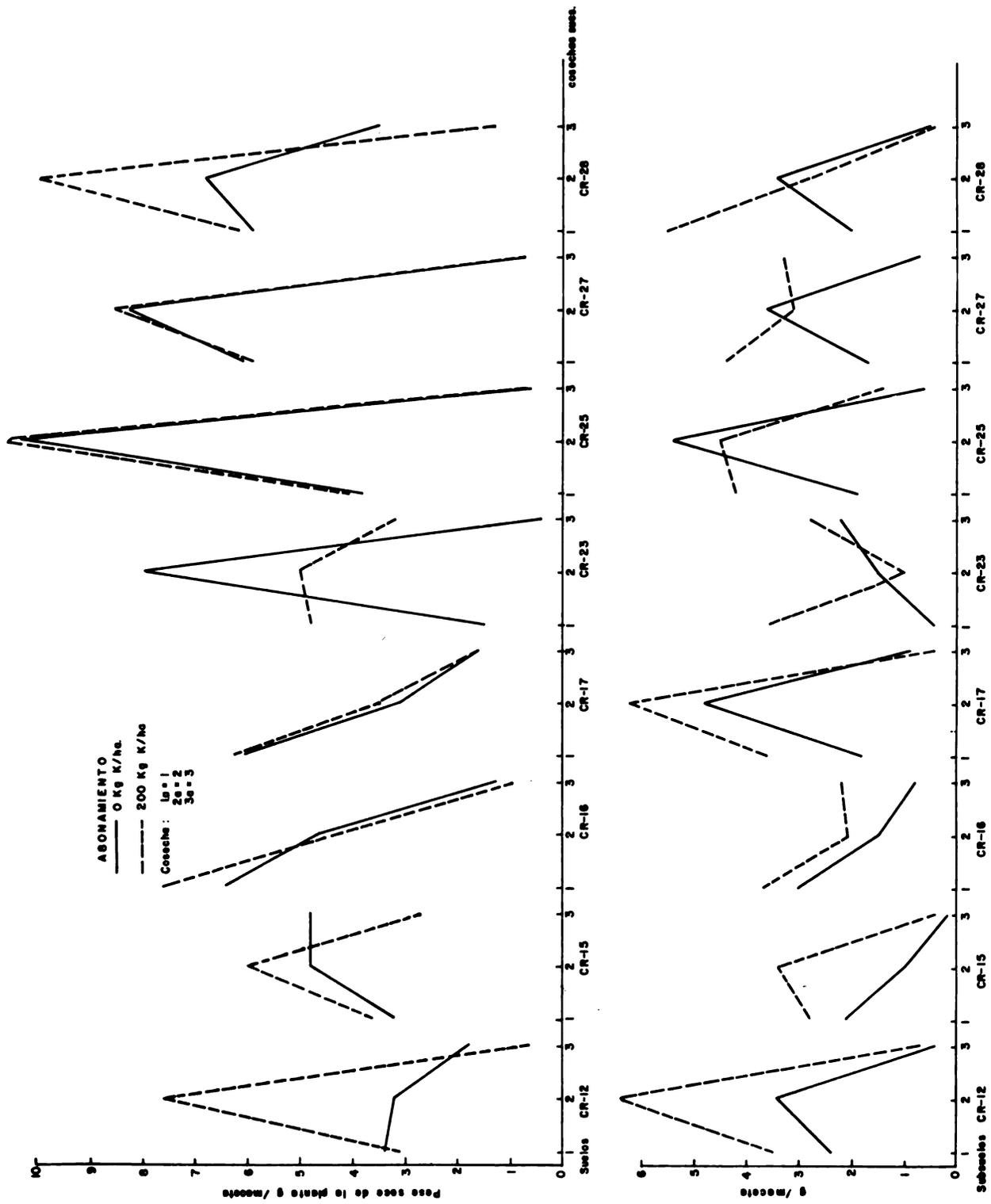


Fig. 26 A Capacidad de abastecimiento de potasio de suelos y subseuelos leteológicos sin abonamiento potásico y efecto residual del potasio en un ensayo de invernadero.

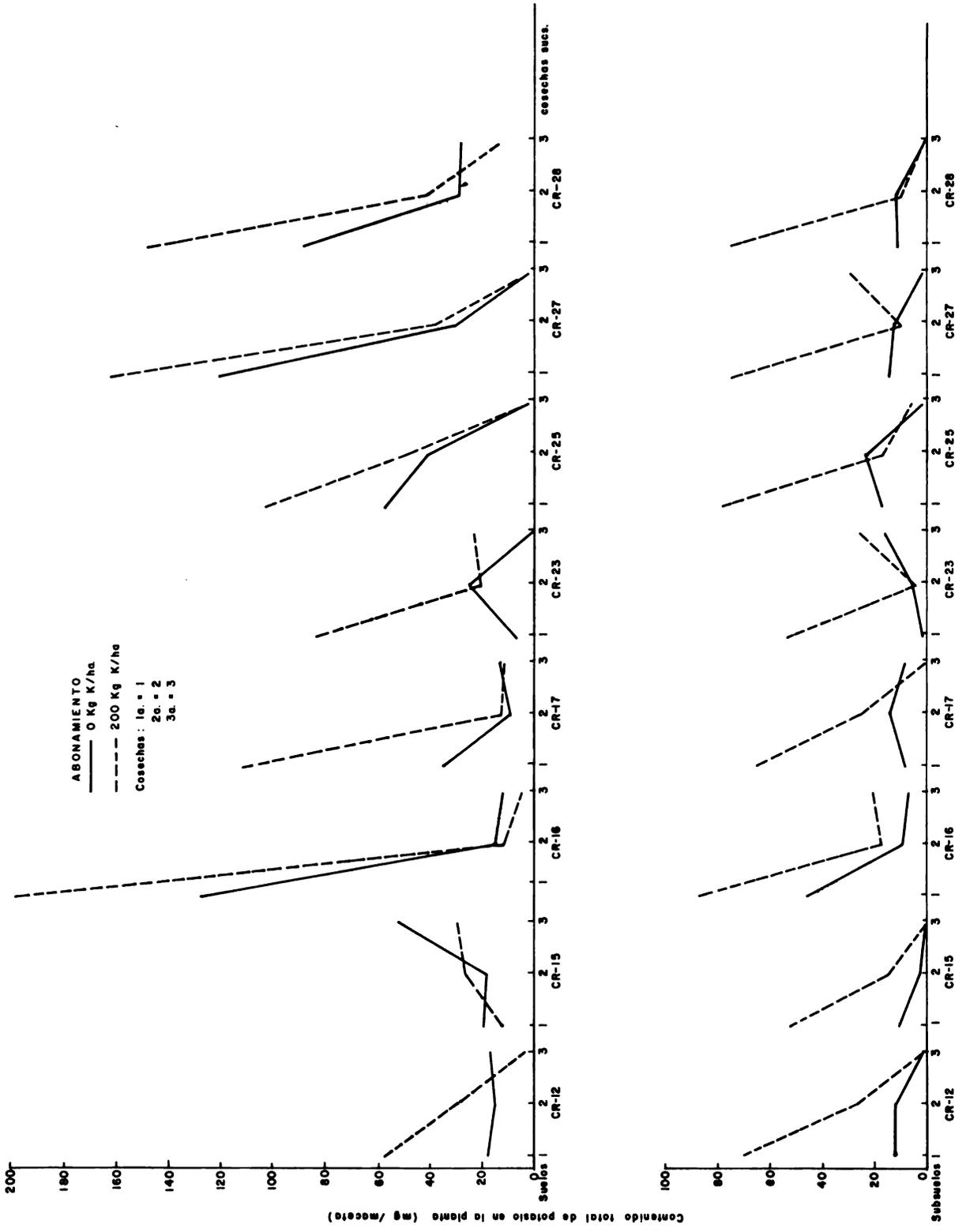


Fig. 26 B Capacidad de abastecimiento de potasio en suelos y subsuelos latosólicos sin abonamiento potásico y el efecto residual del potasio en un ensayo de Invernadero



suelos CR-12, CR-15, y CR-16, el contenido total de potasio en la planta aumentó en la segunda cosecha, pero disminuyó significativamente para todos los subsuelos en la tercera cosecha, a excepción de los subsuelos CR-17 y CR-23.

Al observar los datos del Cuadro 14, se nota que en aquellos suelos en donde el contenido total de potasio en las plantas se redujo significativamente en la tercera cosecha, el nivel de potasio intercambiable en los suelos se redujo también significativamente después de la segunda cosecha. También se nota que estos suelos fueron los que presentaron el mayor contenido de potasio intercambiable antes de las cosechas sucesivas. Esto indica que posiblemente en estos suelos la liberación de potasio no-intercambiable no fue tan rápida o mayor que en el suelo CR-15, en donde se observó que el contenido total de potasio en la planta aumentó en la tercera cosecha sucesiva.

La reducción de potasio intercambiable del suelo a niveles muy bajos ha sido también observada por Stanton y Orchard (100) en suelos de Natal, Africa, quienes anotan que el nivel mínimo a que llega un determinado suelo es característico de cada suelo.

En el Cuadro 19 es posible observar que las muestras de sue -

los y subsuelos Birrisito, Colorado y Margot, sometidos a cuatro cosechas sucesivas en el invernadero, presentaron niveles mínimos de K intercambiable característicos para cada uno de ellos, después de una cuarta cosecha. Posiblemente una quinta o sexta cosecha sucesiva hubiera reducido aún más estos niveles en algunos de estos suelos y subsuelos. En la Figura 27 se puede observar que el contenido de potasio en las plantas sigue la misma tendencia, especialmente después de la segunda y tercera cosecha sucesiva.

En el invernadero se encontró que en los suelos Birrisito, Colorado y Margot, la mayor reducción del potasio intercambiable en el suelo se observó durante la primera cosecha; durante la segunda, tercera y cuarta cosecha, el potasio intercambiable estuvo menos afectado. Estos resultados también se observaron en algunos suelos latosoles aquí estudiados, sometidos a tres cosechas sucesivas en el invernadero (Cuadro 14). Asimismo, tanto en los suelos y subsuelos de latosoles mencionados como en los suelos y subsuelos de Birrisito, Colorado y La Margot, bajo las condiciones experimentales de invernadero, las plantas extrajeron la mayor cantidad de potasio del suelo y subsuelo durante la primera cosecha (Figuras 26B y 27). Resultados similares han sido también encontrados por Stanton y Orchard (100).

Los Cuadros 5, 6 y 7 contienen respectivamente los resultados



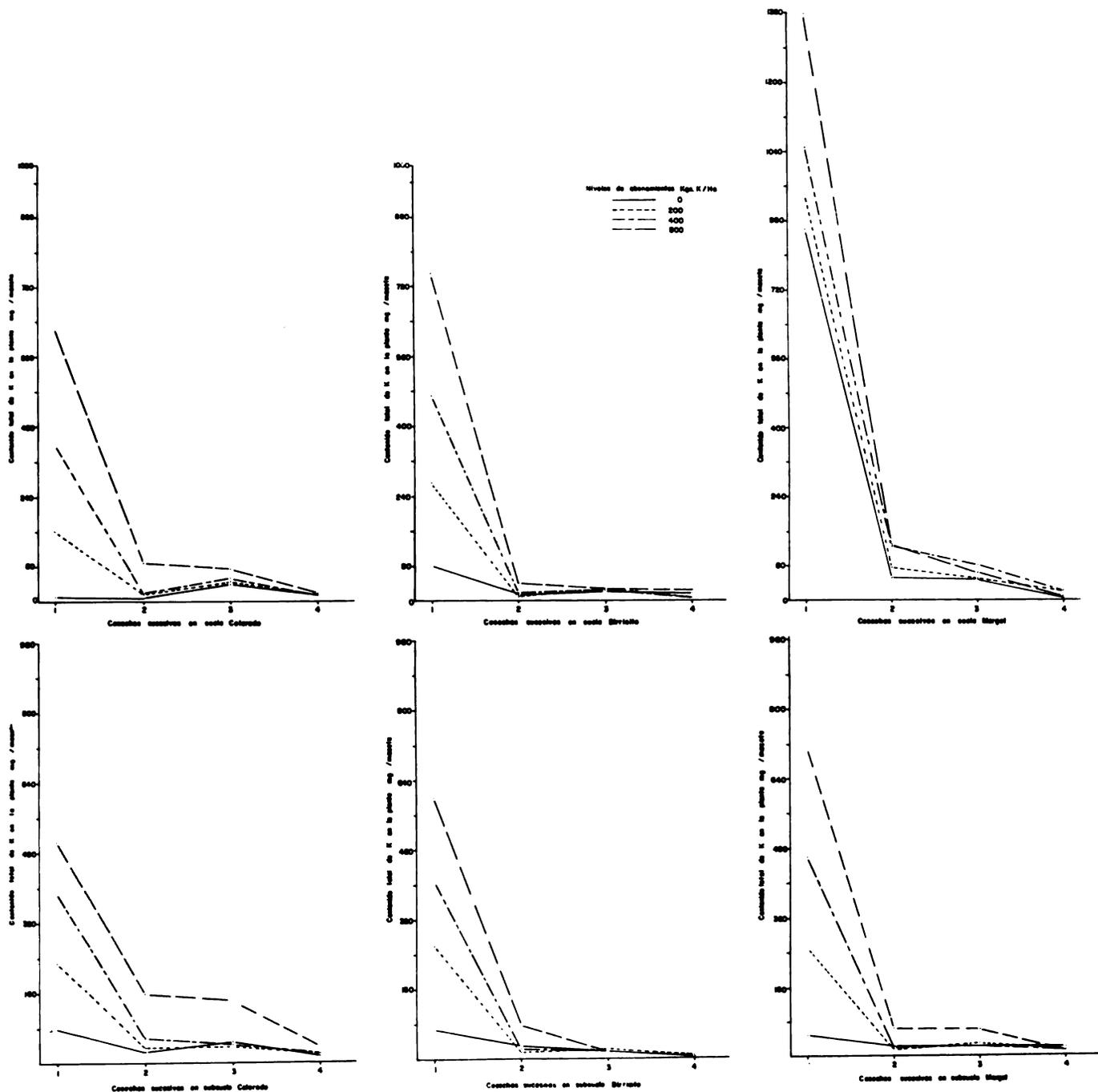


Fig. 27 Capacidad de abastecimiento de patata en tres cortes y tres subcortes y efecto residual de abonamiento de patata. (Experimento en Invernadero)



de los rendimientos relativos del peso seco de la planta, del contenido total de potasio y del porcentaje de potasio de las plantas de tratamiento $\leq K_0$ en relación a las plantas de tratamiento $\leq K_{200}$ (16). Como se ha anotado ya, se aplicó la técnica del nutrimento faltante propuesto por Martini.

Los rendimientos relativos del peso seco de las plantas sobrepasaron el valor del 100% en algunos suelos andosoles y latosoles; fueron cercanos al 100% en la mayoría de los suelos y subsuelos de andosoles y de algunos latosoles y presentaron un valor muy bajo para algunos suelos de latosoles y la mayoría de los subsuelos de latosoles (Cuadro 5).

Los rendimientos relativos del contenido total de potasio en las plantas (Cuadro 6) fueron siempre menores que el 100% para los suelos y subsuelos de andosoles y latosoles, excepto para el suelo del latosol CR-15. Los valores fueron de medianos a cercanos al 100% para los suelos y subsuelos de andosoles y algunos suelos de latosoles y fueron de medianos a bajos para algunos suelos de latosoles y los subsuelos de latosoles.

Los rendimientos relativos del porcentaje de potasio en las plantas (Cuadro 7) presentaron igual tendencia que los rendimientos relativos del contenido total de potasio de la planta.

Estos resultados muestran que sólo en algunos suelos y subsuelos de andosoles y algunos suelos de latosoles, no hubo res -
puesta al potasio; en la mayoría de los suelos de latosoles
hubo una respuesta no significativa y solamente en algunos
suelos de latosoles y en la mayoría de los subsuelos latoso -
les, hubo una respuesta altamente significativa al abonamien -
to con potasio. Lo anterior se pudo observar también al compara
rar los estados de las plantas de tomate durante la primera
cosecha en los experimentos de invernadero utilizando la téc -
nica del nutrimento faltante, ya mencionado (Cuadro 1 del A -
péndice).

Los resultados sobre el efecto residual de abonamiento de po -
tasio en algunos suelos y subsuelos de latosoles, están conteni
dos en los Cuadros 16 y 17. Las Figuras 26A y 26B muestran
respectivamente el peso seco de las plantas y el contenido tota
l de potasio en las plantas en tres cosechas sucesivas (lí -
neas intermitentes) en cada uno de los suelos y subsuelos de
latosoles abonados inicialmente con una aplicación de 200 Kgs
de potasio por hectárea.

En los resultados obtenidos se observó que a excepción de los
suelos CR-16 y CR-17, el peso seco de las plantas aumentó en
la segunda cosecha, pero presentó los valores más bajos de pes
o seco en la tercera cosecha para todos los suelos. En los

CUADRO 16. PESO SECO DE LA PLANTA DE TOMATE Y PORCIENTO DE POTASIO EN LAS PLANTAS CORRESPONDIENTES A TRES COSECHAS SUCESIVAS EN EXPERIMENTOS DE INVERNADERO Y BAJO EL TRATAMIENTO \leq K₂₀₀(a)

	1a Cosecha		2a Cosecha		3a Cosecha	
	Peso seco planta	% de K en planta	Peso seco planta	% de K en planta	Peso seco planta	% de K en planta
CR-12 S	3,1	1,83	7,6	0,39	0,6	0,67
Sub	3,5	1,99	6,4	0,41	0,7	0,21
CR-15 S	3,6	0,35	6,0	0,44	2,7	1,09
Sub	2,8	1,85	3,4	0,42	0,4	0,25
CR-16 S	7,6	2,61	4,4	0,26	0,9	0,52
Sub	3,7	2,33	2,1	0,83	2,2	0,95
CR-17 S	6,3	1,77	3,5	0,36	1,6	0,72
Sub	3,6	1,82	6,2	0,41	0,4	0,22
CR-23 S	4,8	1,75	5,0	0,41	3,2	0,72
Sub	3,6	1,48	1,0	0,49	2,8	0,91
CR-25 S	4,1	2,52	10,6	0,46	0,6	0,22
Sub	4,2	1,87	4,5	0,37	1,4	0,47
CR-27 S	5,9	2,75	8,6	0,45	0,7	0,24
Sub	4,4	1,67	3,1	0,32	3,3	0,88
CR-28 S	6,2	2,39	10,0	0,41	1,3	1,02
Sub	5,5	1,37	2,8	0,36	0,4	0,27

Latosoles:

(a) \leq K₂₀₀ = tratamiento completo más 200 kgs/ha de potasio

CUADRO 17. POTASIO INTERCAMBIABLE DE LOS SUELOS Y SUBSUELOS ANTES Y DESPUES DE CADA COSECHA SUCESIVA, CONTENIDO TOTAL DE POTASIO EN LAS PLANTAS, Y POTASIO LIBERADO O FIJADO EN CADA COSECHA BAJO EL TRATAMIENTO \leq K₂₀₀ (EXPERIMENTO EN INVERNADERO).

MUESTRA	Cantidad de potasio aplicado	1 a Cosecha		2 a Cosecha		3a Cosecha			
		K interc. antes	Contenido total K planta cosecha	K liberado o fijado (-)	Contenido total K planta cosecha	K liberado o fijado (-)	Contenido total K planta cosecha		
		(a)	(a)	(b)	(b)				
			m g / m a c e t a						
CR-12 S	100,0	34,5	56,96	77,0	- 0,54	29,64	14,0	-33,36	4,05
Sub	100,0	12,5	69,65	21,0	-21,85	26,62	12,25	17,87	1,51
CR-15 S	100,0	64,5	12,64	140,0	-11,86	26,7	50,05	-63,25	29,43
Sub	100,0	13,5	51,8	42,0	-19,70	14,52	16,1	-11,38	1,03
CR-16 S	100,0	193,5	198,55	73,5	-21,45	11,66	26,25	-35,59	4,72
Sub	100,0	85,75	86,21	91,0	- 8,54	17,43	39,55	-34,02	20,9
CR-17 S	100,0	65,5	111,82	52,5	- 1,18	12,81	12,95	-26,74	11,6
Sub	100,0	19,5	65,7	45,5	- 8,3	25,73	5,25	-14,52	0,9
CR-23 S	100,0	53,2	84,0	45,5	-23,7	20,5	20,65	- 4,35	23,2
Sub	100,0	29,75	53,46	28,0	-48,9	4,95	15,75	- 7,30	25,54
CR-25 S	100,0	99,75	103,52	59,5	-36,73	49,29	18,2	7,99	1,33
Sub	100,0	45,5	78,75	38,5	-28,25	16,96	26,6	5,06	6,65
CR-27 S	100,0	126,0	162,25	45,5	-18,25	38,17	25,05	8,42	1,71
Sub	100,0	28,0	73,7	31,5	-22,8	10,14	18,9	- 2,46	29,27
CR-28 S	100,0	113,5	148,18	80,5	15,18	41,0	15,75	-23,75	13,32
Sub	100,0	31,5	75,62	17,5	-38,38	10,14	10,15	2,79	1,08

(a) Extracción de acetato de amonio 1 N pH 7

(b) Potasio liberado o fijado en la 1a cosecha = (K intercambiable en el suelo después cultivo + K planta) - (K intercambiable en el suelo antes de la 1a cosecha + K aplicado como abono)

subsuelos los resultados fueron muy variables (Figura 26A).

El contenido total de potasio en las plantas disminuyó en la segunda cosecha en todos los suelos, a excepción del CR-15 (Figura 26B). En la tercera cosecha los valores fueron menores a los de la segunda cosecha, a excepción de los presentados en los suelos CR-15 y CR-23. Los valores mínimos de contenido total de potasio en la planta se observaron en la tercera cosecha y se presentaron en los suelos CR-12, CR-16, CR-25 y CR-27, llegando éstos a ser iguales o menores a los obtenidos en la tercera cosecha, de las plantas de tratamiento $\frac{1}{2}K_0$ (sin potasio inicial).

El contenido total de potasio en las plantas disminuyó en la segunda cosecha en todos los subsuelos. En la tercera cosecha los valores fueron menores a los de la segunda cosecha, excepto en los subsuelos CR-16, CR-23 y CR-27.

Al comparar el potasio intercambiable en los latosoles bajo cosechas sucesivas (Cuadro 17), se observó que en los suelos CR-12 y CR-15 los niveles aumentaron significativamente, pero en los demás suelos estos niveles se redujeron después de la primera cosecha. Los valores de potasio intercambiable en los suelos fueron reducidos después de la segunda cosecha sucesiva, observándose esta reducción en todos los suelos. También

se observó que los valores de potasio intercambiable en los suelos bajo el tratamiento inicial $\leq K_{200}$ (Cuadro 17), fueron mayores que los valores de potasio intercambiable obtenidos en los suelos bajo tratamiento inicial $\leq K_0$ (Cuadro 14) pasada la primera cosecha sucesiva en ambos suelos. Después de la segunda cosecha sucesiva, los valores fueron iguales o ligeramente diferentes en los suelos sometidos a los dos tratamientos diferentes. Estos resultados obtenidos en el invernadero indican que el abonamiento de potasio al nivel de 200 Kg/ha en algunos suelos latosoles no tuvo un efecto residual significativo después de la segunda cosecha sucesiva.

Los resultados obtenidos en los suelos y subsuelos latosoles del tratamiento $\leq K_{200}$ (Cuadros 16 y 17, Figura 26B) indican que la planta extrajo las mayores cantidades de potasio du - rante la primera cosecha. Este fenómeno se observó más claramente en los suelos y subsuelos Birrisito, Colorado y La Margot en los tratamientos de 0, 200, 400 y 800 Kgs de potasio por hectárea (Cuadros 18 y 19, Figura 27).

En los suelos Birrisito, Colorado y La Margot, el contenido total de potasio de las plantas en la segunda cosecha fue menor que los contenidos totales de potasio de las plantas de la primera cosecha. Se observó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el contenido total de po

CUADRO 18. PESO SECO, PORCIENTO DE POTASIO Y CONTENIDO TOTAL DE POTASIO DE LAS PLANTAS DE TOMATE EN CUATRO COSECHAS SUCESIVAS EN EXPERIMENTOS DE INVERNADERO Y BAJO CUATRO TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION POTASICA EN 3 SUELOS Y 3 SUBSUELOS DE COSTA RICA.

MUESTRAS	Trata- mien- tos (a)	1a Cosecha				2a Cosecha				3a Cosecha				4a Cosecha			
		Peso g/mac	K en planta %	Peso g/mac	seco g/mac												
Birrisito S	Test	0,4	4,0	1,6	0,1	2,50	0,3	0,1	0,60	0,1	0,1	0,60	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3
	K ₀	8,5	0,95	8,1	2,4	0,55	1,3	3,4	0,63	2,1	4,0	0,63	2,1	4,0	0,40	1,6	0,40
	K ₂₀₀	12,7	2,15	27,0	1,9	0,55	1,0	4,1	0,68	2,8	2,6	0,68	2,8	2,6	0,35	0,9	0,35
	K ₄₀₀	14,1	3,30	47,0	2,7	0,66	1,8	3,7	0,69	2,6	2,4	0,69	2,6	2,4	0,38	0,9	0,38
	K ₈₀₀	15,6	4,80	75,0	5,2	0,77	4,0	3,3	0,75	2,5	6,4	0,75	2,5	6,4	0,37	2,4	0,37
Birrisito Sub	Test	0,2	4,50	0,9	0,1	3,85	0,4	0,1	1,00	0,1	0,1	1,00	0,1	0,1	0,4	0,1	0,4
	K ₀	4,2	0,95	6,8	4,3	0,65	2,8	2,0	0,81	1,6	1,4	0,81	1,6	1,4	0,43	0,6	0,43
	K ₂₀₀	12,1	2,15	26,0	2,2	0,69	1,5	3,5	0,63	2,2	2,2	0,63	2,2	2,2	0,37	0,8	0,37
	K ₄₀₀	13,7	3,0	41,0	3,2	0,69	2,2	2,2	0,69	1,5	1,1	0,69	1,5	1,1	0,42	0,5	0,42
	K ₈₀₀	15,1	4,0	60,0	7,0	1,10	7,7	2,0	0,79	1,6	1,9	0,79	1,6	1,9	0,37	0,7	0,37
Colorado S	Test	0,2	2,50	0,5	0,1	1,75	0,2	0,1	0,60	0,1	0,1	0,60	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
	K ₀	6,6	1,20	7,9	3,3	0,79	2,6	5,7	0,85	4,8	3,4	0,85	4,8	3,4	0,47	1,6	0,47
	K ₂₀₀	9,4	2,45	23,0	4,6	0,79	3,6	4,6	0,79	3,6	3,2	0,79	3,6	3,2	0,58	1,9	0,58
	K ₄₀₀	11,9	3,25	38,0	5,2	1,10	5,7	4,8	0,86	4,1	3,9	0,86	4,1	3,9	0,52	2,0	0,52
	K ₈₀₀	10,1	5,00	51,0	8,3	1,90	5,8	7,6	1,84	14,0	6,0	1,84	14,0	6,0	0,60	3,6	0,60
Colorado Sub	Test	0	-	-	0,1	0,35	0,04	0,1	1,80	0,2	0,1	1,80	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
	K ₀	1,7	0,65	1,1	1,6	0,53	0,8	5,3	0,71	3,8	3,6	0,71	3,8	3,6	0,38	1,4	0,38
	K ₂₀₀	10,4	1,50	16,0	2,1	0,75	1,6	5,1	0,84	4,3	2,3	0,84	4,3	2,3	0,44	1,0	0,44
	K ₄₀₀	12,6	2,85	36,0	2,0	0,90	1,8	5,4	0,98	5,3	2,4	0,98	5,3	2,4	0,44	1,1	0,44
	K ₈₀₀	14,88	4,25	63,0	7,0	1,25	8,8	5,1	1,43	7,3	3,5	1,43	7,3	3,5	0,46	1,6	0,46

Cuadro 18. Continuación...

Muestras	1a Cosecha			2a Cosecha			3a Cosecha			4a Cosecha		
	Trata mien- tos (a)	Peso g/mac	K en planta %	Peso seco g/mac	K en planta %	cg/mac	Peso seco g/mac	K en planta %	cg/mac	Peso seco g/mac	K en planta %	cg/mac
	Test	0,2	5,00	1,0	0,1	1,65	0,2	0,2	3,80	0,8	0,4	4,70
K0	22,2	3,85	86,0	5,6	0,95	5,3	5,4	0,88	4,8	1,2	0,47	0,6
K200	20,5	4,60	94,0	6,5	1,15	7,5	5,9	0,86	5,1	3,8	0,54	2,1
K400	21,8	4,80	105,0	7,8	1,60	12,5	6,8	1,20	8,2	3,1	0,65	2,0
K800	23,7	5,75	136,0	8,5	1,50	12,8	6,2	1,03	6,4	1,6	0,63	1,0
Test	0,4	5,00	2,0	0,1	1,10	0,1	0,1	3,60	0,4	0,1	3,85	0,4
K0	3,5	1,40	5,0	3,0	0,80	2,4	2,6	0,91	2,4	4,6	0,46	2,1
K200	10,3	2,40	25,0	1,9	0,80	1,5	3,1	0,96	3,0	2,9	0,48	1,4
K400	12,3	3,70	46,0	2,0	0,80	2,1	2,4	1,00	2,4	2,4	0,57	1,4
K800	15,4	4,65	72,0	4,4	1,50	6,6	4,8	1,25	6,0	1,9	0,64	1,2

(a) Véase Cuadro 1.

CUADRO 19. POTASIO INTERCAMBIABLE ANTES Y DESPUES DE CADA COSECHA, CONTENIDO TOTAL DE POTASIO EN LAS PLANTAS Y POTASIO LIBERADO O FIJADO EN CADA COSECHA SUCESIVA BAJO CUATRO TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION POTASICA EN 3 SUELOS Y 3 SUBSUELOS DE COSTA RICA (EXPERIMENTO EN INVERNADERO)

TRATAMIENTOS (kg/ha):	B i r r i s i t o			C o l o r a d o			M a r g o t					
	0	200	400	800	0	200	400	800	0	200	400	800
S u e l o s :	119	119	119	119	210	210	210	210	756	756	756	756
K interc. antes 1a cosecha												
K en planta 1a cosecha	81	270	470	750	79	230	390	510	860	940	1050	1360
K interc. despues 1a cosecha	45	41	52	110	155	188	202	550	108	134	250	188
K liberado o fijado	7	- 8	3	-59	24	8	-18	50	212	118	144	- 8
K en planta 2a cosecha	13	10	18	40	26	36	57	158	53	75	125	128
K interc. despues 2a cosecha	42	42	46	56	147	140	179	259	84	77	189	112
K liberado o fijado	10	12	12	-14	18	-12	34	-133	29	18	64	52
K en planta 3a cosecha	21	28	26	25	48	36	41	140	48	51	82	64
K interc. despues 3a cosecha	29	29	28	33	71	97	90	94	46	56	63	68
K liberado o fijado	8	15	8	2	-28	- 7	-48	-25	10	30	-44	20
K en planta 4a cosecha	16	9	9	24	16	19	20	36	6	21	20	10
K interc. despues 4a cosecha	18	21	21	16	44	49	56	59	44	35	44	41
K liberado o fijado	5	1	2	7	-11	-29	-14	1	4	0	1	-17
K liberado o fijado 4a cosecha	30	19	25	-64	3	-40	-46	-107	255	166	165	47
S u b s u e l o s :	84	84	84	84	46	46	46	46	100	100	100	100
K interc. antes 1a cosecha												
K en planta 1a cosecha	68	260	410	600	11	160	360	630	50	250	460	720
K interc. despues 1a cosecha	50	45	41	96	37	63	80	194	65	68	43	114
K liberado o fijado	34	21	-33	-188	2	-23	- 6	-22	15	18	3	- 66

tasio en las plantas de la segunda cosecha, excepto en las plantas del tratamiento de 800 Kg de potasio por hectárea en el suelo Colorado (Cuadros 18 y 19, Figura 27). En la tercera y cuarta cosecha, el contenido total de potasio de las plantas no fue diferente al encontrado en la segunda cosecha y entre tratamientos para el suelo Birrisito. Asimismo, dicho contenido disminuyó en cada cosecha y sin diferencias entre tratamientos para el suelo Margot y en cada tratamiento para el suelo Colorado.

En los subsuelos Birrisito y Margot los resultados obtenidos en cuanto al contenido total de potasio de la planta en las cosechas sucesivas, fueron muy similares a los obtenidos en los respectivos suelos. En el subsuelo Colorado, se observó que el contenido total de potasio en las plantas del tratamiento de 0 - 200 y 400 Kg/ha en la tercera cosecha, fue ligeramente mayor que en la segunda, pero disminuyó en la cuarta cosecha; en las plantas con el tratamiento de 800 kg/ha, el contenido total de potasio en la planta disminuyó con las cosechas sucesivas.

El contenido de potasio intercambiable en el suelo Birrisito después de la primera cosecha disminuyó en todos los tratamientos. No hubo diferencia significativa en los tratamientos de 200 y 400 Kgs/ha de potasio aplicado, con respecto al

tratamiento sin potasio, pero sí en el tratamiento de 800 Kg/ha de potasio aplicado. Después de la segunda cosecha sucesiva, tampoco hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos. Después de la tercera cosecha sucesiva, los niveles de potasio intercambiable en las muestras de suelo fueron menores que los observados después de la segunda cosecha. Estos niveles se redujeron aún más después de una cuarta cosecha sucesiva, no observándose diferencias significativas entre los tratamientos. El subsuelo Birrisito presentó, con ligera variación, igual tendencia que el suelo en la disminución de los niveles de potasio intercambiable después de cada cosecha sucesiva (Cuadro 19, Figura 27).

En el suelo Colorado, se encontró (Cuadro 19) que los niveles de potasio intercambiable después de la primera cosecha fueron menores que el nivel inicial de potasio intercambiable del tratamiento sin potasio ($\leq K_0$) a excepción del valor obtenido en el tratamiento de 800 Kg/ha. Se observó que estos niveles intercambiables presentaron valores en el mismo orden creciente de las aplicaciones; después de la segunda cosecha sucesiva, los valores obtenidos fueron menores que los encontrados antes de la cosecha y se observó que la mayor reducción de potasio intercambiable en el suelo ocurrió en la muestra con el tratamiento de 800 Kgs/ha de potasio aplicado.

Los niveles de potasio intercambiable después de la tercera

cosecha sucesiva se redujeron significativamente y las mayores reducciones de potasio intercambiable en el suelo se presentaron en proporción al potasio aplicado. Asimismo, se observó que después de la tercera cosecha, los niveles de potasio en el suelo no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Esta notoria reducción del potasio intercambiable en el suelo se encontró también después de la cuarta cosecha en donde los niveles observados fueron muy bajos, notándose ligeras diferencias entre los tratamientos. El subsuelo Colorado presentó la misma tendencia que el suelo.

En el suelo aluvial La Margot, se encontró que los valores de potasio intercambiable después de la primera cosecha fueron significativamente menores en todos los tratamientos que el nivel inicial de potasio intercambiable en las muestras de suelo del tratamiento sin potasio ($\leq K_0$). Asimismo, los valores fueron significativamente menores después de la segunda cosecha sucesiva y se redujeron aún más después de la tercera y cuarta cosecha. Los valores de potasio intercambiable en el suelo después de una tercera y cuarta cosecha sucesivas, no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en cada cosecha ni entre los niveles obtenidos después de cada cosecha. El subsuelo La Margot presentó resultados similares al suelo, pero los niveles de potasio intercambiable se redujeron progresivamente a través de las cosechas

sucesivas.

Al considerar estos resultados en conjunto para los suelos y subsuelos Birrisito, Colorado y Margot, tanto en el contenido total de potasio encontrado en las plantas como en los niveles de potasio intercambiable encontrados en los suelos y subsuelos después de cada cosecha sucesiva, se observa que no hubo un efecto residual significativo del abonamiento de potasio en los suelos y subsuelos Birrisito y La Margot después de la primera cosecha y para el suelo y subsuelo Colorado después de la segunda cosecha sucesiva en el tratamiento de 8 00 Kg/ha. Se observó que las plantas absorbieron la mayor parte del potasio aplicado en la primera cosecha y sólo en los niveles más altos parece haber ocurrido una fijación de potasio o lixiviación durante cada cosecha sucesiva. Es de anotar que la respuesta al abonamiento en estos suelos sí se observó en la primera cosecha, pero no se observó una mayor respuesta significativa en el peso seco de la planta a los abonamientos de 400 y 800 Kgs/ha (Cuadro 18).

F. Potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico normal en suelos y subsuelos incubados en húmedo

El Cuadro 20 contiene los resultados obtenidos en el tra

CUADRO 20. POTASIO EXTRAIDO CON ACIDO NITRICO NORMAL EN 4 EXTRACCIONES SUCESIVAS EN SUELOS Y SUBSUELOS Y POTASIO EXTRAIDO CON ACIDO NITRICO 1 N EN UNA SOLA EXTRACCION EN MUESTRAS INCUBADAS POR DIFERENTES TIEMPOS DESPUES DE HABERSE OBTENIDO CADA VALOR DEL POTASIO DE TASA CONSTANTE

SUELOS Y SUBSUELOS	Extracciones sucesivas con HNO ₃ K g s (Kg/ha) (a)		K extraído con HNO ₃ (K g / h a) Tiempo de incubación					
	1(b) 2	3	4	1er mes	2do mes	4to mes	8vo mes	
Aluviales:								
CR-1	S 750	275	125	75	203	104	70	75
	Sub 550	250	125	75	208	104	70	83
CR-2	S 1000	275	125	75	200	101	70	65
	Sub 1250	275	150	75	208	110	78	73
Margot	S 981	216	119	66	43	35	45	43
	Sub 188	94	78	22	50	40	53	58
CR-6	S 600	125	75	75	300	148	138	165
	Sub 350	150	125	100	350	200	163	195
CR-7	S 975	225	100	75	120	120	113	125
	Sub 1600	300	100	75	80	83	73	85
CR-8	S 1300	275	150	100	95	23	68	75
	Sub 575	225	125	100	100	25	100	115
CR-9	S 1100	275	125	100	80	39	83	78
	Sub 750	200	125	75	68	33	78	73
CR-10	S 1875	400	150	125	100	74	110	115
	Sub 1725	350	125	100	95	69	108	120
CR-11	S 575	125	75	50	63	41	50	50
	Sub 400	100	50	50	51	28	40	65
Birrisito	S 151	59	33	32	43	23	25	30
	Sub 112	64	33	33	50	28	25	25

Cuadro 20. Continuación...

Suelos y Subsuelos	Extracciones sucesivas con HNO ₃				K extraído con HNO ₃ en muestras incubadas (Kg / ha)				
	1	2	3	4	1er mes	2do mes	4to mes	8vo mes	
CR-3	S	425	100	50	25	90	90	23	20
	Sub	150	50	25	25	75	75	18	15
CR-12	S	98	17	5	5	20	20	5	12,5
	Sub	33	9	3	2	20	20	3	21,2
CR-13	S	94	16	11	8	23	8	5	17,5
	Sub	16	6	6	5	23	5	3	11,2
CR-14	S	110	18	8	6	5	3	3	12,5
	Sub	23	9	6	4	5	3	3	8,7
CR-15	S	172	30	7	3	8	5	3	8,7
	Sub	48	7	5	4	5	3	3	7,5
CR-16	S	423	64	18	11	3	5	5	8,7
	Sub	131	21	8	8	3	5	3	8,7
CR-17	S	142	22	5	3	3	3	8	12,5
	Sub	38	10	4	3	3	5	8	15,0
CR-18	S	250	48	18	13	10	8	15	7,5
	Sub	40	18	15	15	10	10	15	5,0
CR-19	S	70	15	8	5	3	3	3	5,0
	Sub	18	8	5	5	3	3	8	5,0
CR-20	S	175	53	30	25	20	18	28	25,0
	Sub	80	38	30	30	23	20	30	37,5
CR-21	S	160	33	18	15	20	15	20	7,5
	Sub	50	20	18	18	18	15	18	7,5

Cuadro 20. Continuación...

Suelo y Subsuelo	Extracciones sucesivas con HNO_3				K extraído con HNO_3 en muestras incubadas (Kg / ha)				
	K g s (Kg/ha) (a)				Tiempo de incubación				
	1	2	3	4	1er mes	2do mes	4to mes	8vo mes	
CR-22	S	750	225	75	25	20	20	23	11,2
	Sub	1525	375	100	75	45	50	53	40,0
CR-23	S	150	60	50	50	38	35	45	76,7
	Sub	100	60	50	50	45	43	48	53,7
CR-24	S	350	125	75	75	78	68	83	107,5
	Sub	325	100	75	75	68	60	78	107,5
CR-25	S	250	100	75	50	28	30	38	53,7
	Sub	200	150	100	75	45	48	58	61,2
CR-26	S	640	258	180	175	148	128	138	92,5
	Sub	450	330	283	250	170	165	155	115,0
CR-27	S	275	100	50	50	25	25	25	31,2
	Sub	100	75	50	50	28	23	30	38,7
CR-28	S	305	75	30	20	10	8	15	15,0
	Sub	78	38	20	15	9	8	15	15,0
Colorado	S	218	46	21	16	29	10	13	20,0
	Sub	50	19	13	13	29	13	15	23,0

(a) 1 ha = 2.000.000 Kgs de suelo o subsuelo

(b) La cantidad de K obtenida en la 1a extracción incluye el K intercambiable, pero no se sustrajo el valor de K intercambiable debido a que también el Ac-NH_4 , al extraer parte de K no intercambiable y que se hace fácilmente intercambiable, no da el valor preciso del K intercambiable.

bajo efectuado en el laboratorio con 3 suelos y subsuelos aluviales, 7 suelos y subsuelos de andosoles y 19 suelos y subsuelos latosoles, sobre la liberación de potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico normal en muestras de suelos y subsuelos incubados después de reducir sus niveles de potasio extraído con ácido nítrico al valor del potasio de tasa constante. Asimismo, en las Figuras 28 y 29 se puede comparar los resultados obtenidos en los suelos y subsuelos respectivamente.

En los suelos y subsuelos aluviales CR-1 y CR-2, se observó que en el primer mes, el potasio extraído con ácido nítrico fue significativamente mayor que el potasio de tasa constante. En el segundo, cuarto y octavo mes de incubación, los valores decrecieron sucesivamente y se encontraron valores iguales o menores en las muestras de los suelos y subsuelos incubados en húmedo por cuatro y ocho meses. En el suelo aluvial La Margot, los niveles de potasio obtenido con ácido nítrico normal en las muestras incubadas en los diferentes períodos, fueron siempre menores que el potasio de tasa constante (Cuadro 20). En el subsuelo Margot, los resultados indican que los niveles de potasio extraído con ácido nítrico en las muestras incubadas fueron siempre mayores que el nivel de potasio de tasa constante, en contrario.

En la Figura 28 se observa que en general, en los suelos andosoles, a excepción de los suelos CR-6 y CR-7, el potasio extraído

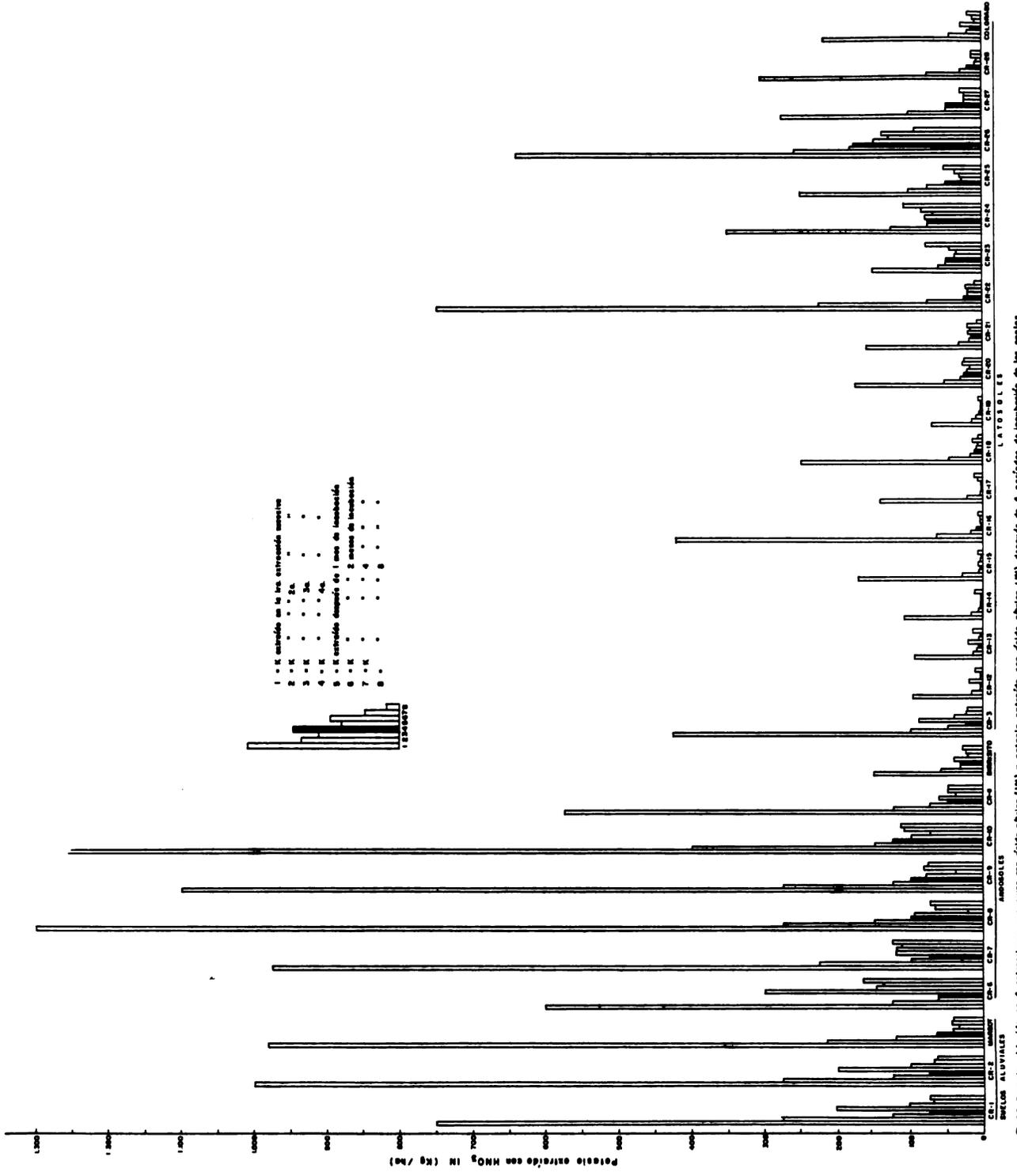


Fig. 28- Potasio obtenido en 4 extracciones sucesivas con ácido nítrico (IN) y potasio extraído con ácido nítrico (NI) después de 4 períodos de incubación de los suelos.





con ácido nítrico en las muestras incubadas en los diferentes períodos, presentaron valores menores o iguales a los valores de potasio de tasa constante. En los suelos CR-6 y CR-7, los valores de potasio extraído con ácido nítrico en las muestras incubadas fueron significativamente mayores. En la Figura 29 se observa que los subsuelos andosoles, a excepto del subsuelo CR-6, presentaron iguales resultados a los encontrados en la mayoría de los suelos.

En los latosoles, los valores de potasio extraído con ácido nítrico en las muestras incubadas variaron ligeramente con respecto a sus valores de potasio de tasa constante, siendo en algunos casos bastante menores o ligeramente mayores. Se observa en la Figura 28 que esos valores fueron menores en los suelos del área de San Isidro del General que en los suelos del área de la Meseta Central y área de Puntarenas, suelos CR-23, CR-24, CR-25, CR-26, CR-27 y CR-28. En los subsuelos latosoles, los valores de potasio extraído con ácido nítrico en las muestras incubadas en húmedo presentaron la misma tendencia observada en las muestras de los suelos.

Los resultados obtenidos indican que la humedad afecta posiblemente la capacidad de liberación de potasio en el suelo, ya sea promoviendo una liberación en los materiales frescos y poco meteorizados como en los casos de los suelos y subsuelos

CR-6 y CR-7 o posiblemente promoviendo una liberación en un tiempo corto como se observó en los suelos y subsuelos de aluviales para después promover una fijación fuerte de potasio en un período de humedad más largo.

En los suelos y subsuelos de latosoles, el efecto de la humedad sobre la liberación de potasio no-intercambiable fue menor en los suelos y subsuelos con valores de potasio de tasa constante bajos. En los suelos y subsuelos cuyos valores de potasio de tasa constante fueron altos, la liberación de potasio no-intercambiable puede ser afectada significativamente como se presentó en el suelo y subsuelo CR-26.

Este efecto de la humedad sobre la liberación de potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico en el suelo, fue observada también por Jones (47), quien encontró que los valores del potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico normal en muestras de suelos incubadas en húmedo fueron menores que los valores obtenidos en muestras de suelos incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire.

Los resultados obtenidos aquí indican también que es posible que el equilibrio dinámico del potasio en el suelo sea afectado por la humedad en las relaciones entre las formas de potasio escalonado y potasio de tasa constante. Este fenómeno

afectaría así la disponibilidad del potasio e las plantas en aquellos suelos y subsuelos tropicales que permanecen algún tiempo inundado, ya sea por períodos largos o cortos, ya que afectarían al potasio escalonado considerado por Haylock (42) como una forma de potasio fácilmente disponible a la planta.

G. Evaluación de la capacidad de reposición de potasio intercambiable en suelos y subsuelos incubados en húmedo, con secamiento al aire.

Los Cuadros 21 y 22 contienen los resultados obtenidos en un trabajo de laboratorio efectuado con 3 suelos y subsuelos aluviales, 7 suelos y subsuelos andosoles y 19 suelos y subsuelos latosoles, sobre el efecto de la humedad y el secamiento al aire en la reposición del nivel de potasio intercambiable inicial en muestras de suelos y subsuelos incubados, después de reducir sus niveles de potasio intercambiable con dos extracciones sucesivas.

En las Figuras 30 y 31 se puede observar que en los andosoles en general, los niveles de potasio intercambiable encontrados al final de cada período de incubación fueron menores que los niveles obtenidos en la segunda extracción sucesiva de potasio intercambiable, excepto en el suelo y subsuelo CR-6 y en el subsuelo CR-8. Se puede observar también que en

CUADRO 21. POTASIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS Y SUBSUELOS DE COSTA RICA, OBTENIDO CON ACETATO DE AMONIO EN DOS EXTRACCIONES SUCESIVAS Y EN MUESTRAS INCUBADAS POR DIFERENTES TIEMPOS DESPUES DE EFECTUARSE LAS DOS EXTRACCIONES SUCESIVAS.

MUESTRAS	K intercambiable		Potasio intercambiable en muestras K liberado o fijado en muestras				Total	
	1a ext.	2da ext.	incubadas durante:		incubadas:			
	Kg/ha	Kg/ha	1 mes	2 meses	4 meses	al 2do mes	al 4to mes	
			Kg/ha %	Kg/ha %	Kg/ha %	Kg/ha	Kg/ha	
			(a)					
CR-1	354	42	35	39	39	4	0	4
Sub	252	62	30	28	20	-2	-8	-10
CR-2	700	203	60	57	65	-3	8	5
Sub	1040	294	48	46	38	-2	-8	-10
Margot	756	210	40	48	49	8	1	9
Sub	100	25	6	7	9	1	2	3
CR-6	119	21	62	62	85	0	23	23
Sub	91	21	17	20	24	3	4	7
CR-7	609	126	40	53	66	12	13	26
Sub	1050	350	72	72	75	0	3	3
CR-8	924	224	55	60	79	5	19	24
Sub	224	49	23	20	52	-3	32	29
CR-9	791	189	62	51	66	-5	9	4
Sub	630	147	48	43	53	-5	10	5
CR-10	1680*	450	120	122	150	2	28	30
Sub	1470*	500	115	110	87	-5	-23	28
CR-11	494	130	32	29	43	-3	14	11
Sub	301	70	20	18	22	-2	4	2
Birrisito	119	33	9	12	11	3	-1	2
Sub	84	21	9	6	8	-3	2	-1

Cuadro 21. Continuación...

Muestras	K intercambiable 1a ext. 2da ext.		Potasio intercambiable en muestras incubadas durante:				K liberado o fijado en muestras incubadas:		Total 4to mes en 4 meses Kg/ha			
	Kg/ha	Kg/ha	1 mes		2 meses		al					
			Kg/ha	%	Kg/ha	%	2do mes Kg/ha	al Kg/ha				
CR-3	S	142	88	34	8,45	28	6,96	39	9,70	-6	11	5
	Sub	122	22	11	9,01	9	7,37	11	9,01	-2	2	0
CR-12	S	69	25	13	18,84	12	17,39	11	15,94	-1	-1	-2
	Sub	25	4	3	12,00	3	12,00	3	12,00	0	0	0
CR-15	S	129	31	17	13,17	16	12,40	8	6,20	-1	-8	-9
	Sub	27	8	4	14,81	5	18,51	3	11,11	1	-2	-1
CR-17	S	131	27	7	5,34	9	6,87	5	3,81	2	-4	-2
	Sub	39	8	4	10,25	6	15,38	3	7,69	2	-3	-1
CR-19	S	50	10	6	12,00	6	12,00	6	12,00	0	0	0
	Sub	14	4	3	21,42	"	28,57	3	21,42	1	-1	0
CR-20	S	154	33	7	4,54	11	7,14	11	7,14	4	0	4
	Sub	36	10	4	11,11	6	16,66	3	8,33	2	-3	-1
CR-21	S	147	39	11	7,48	13	8,84	10	6,80	2	-3	-1
	Sub	35	18	5	14,28	6	17,14	6	17,14	1	0	1
CR-22	S	595	175	32	5,37	39	6,35	37	6,21	7	-2	5
	Sub	68	5	4	5,88	6	8,82	7	10,29	2	1	3
CR-23	S	1064	14	21	19,73	20	18,79	22	20,67	-1	2	1
	Sub	59,5	13	6	10,08	9	15,12	13	21,84	3	4	7
CR-25	S	199,5	35	20	10,02	23	11,32	29	14,53	3	6	9
	Sub	91	5	6	6,59	11	12,08	11	12,08	5	0	5
CR-27	S	252	62	18	7,14	21	8,33	9	3,57	3	-12	-9
	Sub	56	17	6	10,71	9	16,07	5	8,92	3	-4	-1
CR-28	S	227	52	22	9,69	29	12,77	18	7,92	7	-11	-4
	Sub	63	14	6	9,52	8	12,69	6	9,52	2	-2	0
Colorado	S	210	43	6	2,85	13	6,19	13	6,19	7	0	7
	Sub	46	14	4	8,69	6	13,04	7	15,21	2	1	3

$$(a) \% \text{ de K intercambiable} = \frac{\text{Ki (en muestra incubada)}}{\text{Ki (en la 1a extracción)}} \times 100$$

CUADRO 22. POTASIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS Y SUBSUELOS DE COSTA RICA, OBTENIDO CON LA SOLUCION MORGAN EN DOS EXTRACCIONES SUCEISIVAS Y EN MUESTRAS INCUBADAS POR DIFERENTES TIEMPOS DESPUES DE EFECTUARSE LAS DOS EXTRACCIONES SUCEISIVAS.

MUESTRAS	K intercambiable		Potasio intercambiable en muestras incubadas durante:				K liberado o fijado en muestras incubadas:					
	1a ext. 2a ext.		2er mes		2do mes		4to mes		al		Total	
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	%	Kg/ha	%	Kg/ha	%	4to mes	al		
			(a)						Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	
CR-1	S	175	105	51	29,14	47	26,85	61	34,85	-4	14	10
	Sub	105	70	37	35,23	37	35,25	33	31,42	0	-4	-4
CR-2	S	525	252	91	17,33	98	18,66	-	-	7	-	-
	Sub	800	392	126	15,75	120	15,00	136	17,00	-6	16	10
Margot	S	532	265	98	18,42	98	18,42	101	18,98	0	3	3
	Sub	70	35	14	20,00	13	18,57	12	17,14	-1	-1	-2
CR-6	S	133	35	32	24,06	47	35,33	54	40,60	15	7	22
	Sub	90	38	18	20,00	20	22,22	23	25,55	2	3	5
CR-7	S	532	161	62	11,65	69	12,96	87	16,35	7	18	25
	Sub	900	392	125	13,88	125	13,88	149	16,55	0	24	24
CR-8	S	658	266	90	13,67	88	13,37	95	14,43	-2	7	5
	Sub	740	70	27	3,64	30	4,05	33	4,45	3	3	6
CR-9	S	510	245	88	17,25	88	17,25	89	17,45	0	1	1
	Sub	400	215	69	17,25	76	19,00	77	19,25	7	1	8
CR-10	S	959	490	172	17,93	179	18,65	175	18,24	7	-4	3
	Sub	903	483	158	17,49	172	19,04	154	17,05	14	-18	-4
CR-11	S	351	154	43	12,04	49	13,72	47	13,16	6	-2	4
	Sub	217	105	32	14,74	36	16,53	33	15,20	4	-3	1
Birrisito	S	120	39	11	9,16	11	9,16	9	7,50	0	-2	-2
	Sub	81	27	11	13,58	10	12,34	3	3,70	-1	-7	-8

Muestras	K intercambiable		Potasio intercambiable en muestras K liberado o fijado en muestras				incubadas durante:				incubadas:			
	1a ext.	2da ext	1er mes		2do mes		4to mes		al		al		Total	
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	%	Kg/ha	%	Kg/ha	%	2do mes	%	4to mes	%	4to mes	en 4 meses
			(a)											
CR-3	S	260	115	47	18,07	49	18,84	49	18,84	2	0	2	0	2
	Sub	70	35	13	18,57	10	14,28	10	14,28	33	0	33	0	3-3
CR-12	S	60	20	15	25,00	16	26,64	17	28,33	1	1	1	1	2
	Sub	27	18	2	7,40	7	25,92	3	11,11	5	-4	5	-4	1
CR-15	S	109	39	26	23,85	34	31,19	28	25,68	8	-6	8	-6	2
	Sub	32	10	6	18,75	13	40,62	5	15,62	7	-8	7	-8	-1
CR-17	S	109	27	18	16,51	18	16,51	16	14,67	0	-2	0	-2	-2
	Sub	32	10	2	6,25	9	28,12	3	9,37	7	-6	7	-6	1
CR-19	S	45	12	8	17,77	13	28,88	10	22,22	5	-3	5	-3	2
	Sub	10	2	2	20,00	6	60,00	3	30,00	4	-3	4	-3	1
CR-20	S	105	42	18	17,14	27	25,71	19	18,09	9	-8	9	-8	1
	Sub	25	11	4	16,00	6	24,00	3	12,00	2	-3	2	-3	-1
CR-21	S	119	49	22	18,48	20	16,80	17	14,28	-2	-3	-2	-3	-5
	Sub	29	11	4	13,79	7	24,13	5	17,24	3	-2	3	-2	1
CR-22	S	395	161	63	15,94	70	17,72	65	16,45	7	-5	7	-5	2
	Sub	46	20	8	17,39	10	21,73	9	19,56	2	-1	2	-1	1
CR-23	S	87,5	27	21	24,00	25	28,57	21	24,00	4	-4	4	-4	0
	Sub	45,5	13	8	17,58	10	21,97	7	15,38	2	-3	2	-3	-1
CR-25	S	112	49	35	31,25	34	30,35	36	32,14	-1	2	-1	2	1
	Sub	50,7	15	5	9,86	18	35,50	8	15,77	13	-10	13	-10	3
CR-27	S	145	72	41	28,27	34	23,44	40	27,58	-7	6	-7	6	-1
	Sub	25	15	2	8,00	11	44,00	5	20,00	9	-6	9	-6	3
CR-28	S	144	73	38	26,38	44	30,55	44	30,55	6	0	6	0	6
	Sub	27	14	6	22,22	11	40,74	7	25,92	5	-4	5	-4	1
Colorado	S	156	60	19	12,17	20	12,82	8	5,12	1	-12	1	-12	-11
	Sub	36	14	4	11,11	7	19,44	5	13,85	3	-2	3	-2	1

(a) % K interc = $\frac{Ki \text{ (en muestras incubadas)}}{Ki \text{ (en la 1a. extraccion)}} \times 100$

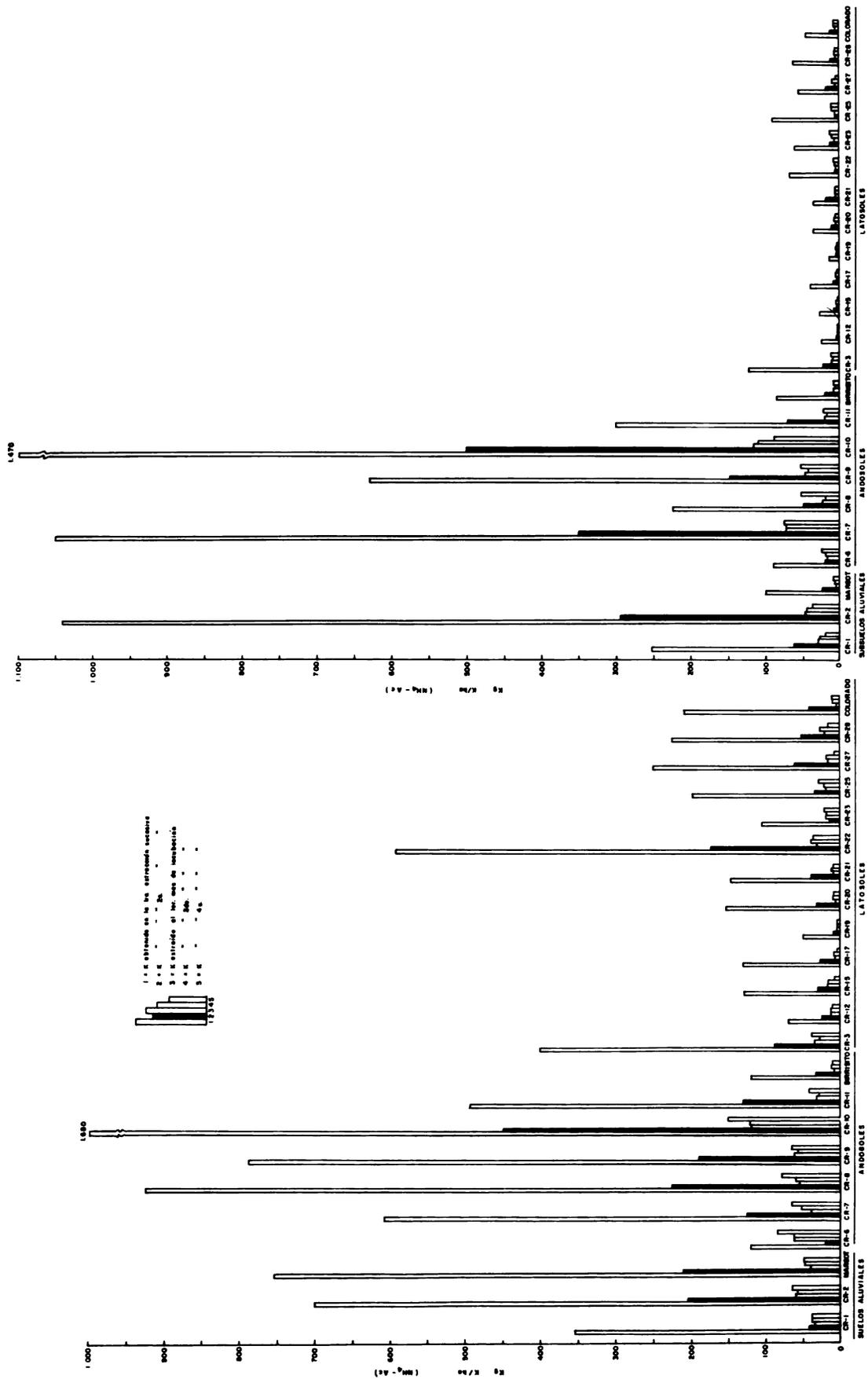


Fig. 30. Peseaje obtenido en 2 estrados sucesivos con la selección de exento de omate y peseaje estrado después de 3 períodos de inebando de los series y subseries.



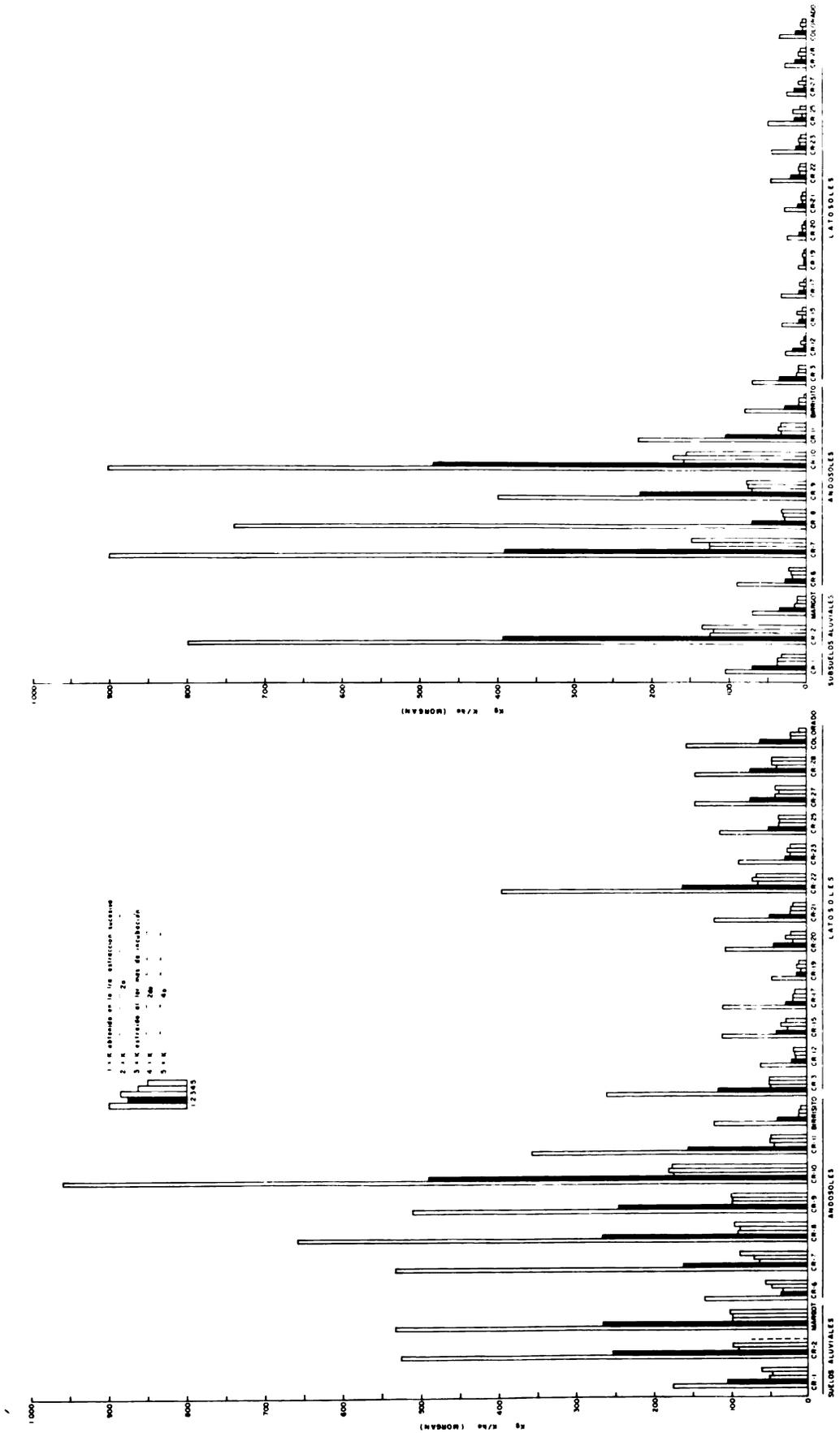


Fig. 31. Potasio obtenido en 2 estracciones sucesivas con solución Morgan y potasio extraído después de 3 períodos de incubación de los suelos y subsuelos.



los andosoles, los niveles de potasio intercambiable aumentaron en el período comprendido entre el primero y el cuarto mes de incubación. Estos aumentos en los niveles de potasio intercambiable es posible considerarlos como una tendencia del suelo y del subsuelo a alcanzar sus niveles iniciales por razón del equilibrio entre las formas de potasio intercambiable y de potasio no-intercambiable (5, 117).

En el Cuadro 21 se observa que en algunos casos al final de los períodos de incubación de dos y cuatro meses, hubo disminución de los valores de potasio intercambiable obtenidos en el primer mes de incubación. Esta disminución se puede considerar aquí como una reversión del potasio de forma intercambiable hacia la forma no-intercambiable, en virtud del equilibrio ya mencionado.

Esta disminución de potasio intercambiable observada en algunos suelos andosoles, se presentó con mayor intensidad en los suelos y subsuelos de suelos aluviales, como se puede observar en los resultados anotados en los Cuadros 21 y 22.

En las Figuras 30 y 31 se puede observar que en los suelos y subsuelos latosoles, los niveles de potasio intercambiable en las muestras durante los diferentes períodos de incubación, fueron en general ligeramente menores que los niveles de potasi

sio intercambiable obtenidos en la segunda extracción sucesiva. A diferencia de los andosoles, los niveles de potasio intercambiable en las muestras de los latosoles no fueron muy diferentes de los niveles de potasio intercambiable obtenido en la segunda extracción sucesiva. Asimismo, tanto los aumentos como las disminuciones de los niveles de potasio intercambiable obtenidos en las muestras incubadas, fueron en general no significativas.

En las Figuras 30 y 31 también se puede apreciar que las cantidades de potasio intercambiable disminuídas en la primera extracción fueron mayores en los andosoles y aluviales que en los latosoles. Asimismo, los niveles de potasio intercambiable obtenidos en la segunda extracción son también mayores en los andosoles que en los latosoles. Esta diferencia obtenida parece ser independiente de la solución extractora, como se puede apreciar al comparar los niveles de potasio extraídos con las soluciones de acetato de amonio y de Morgan, pero sí dependientes del contenido inicial del potasio intercambiable del suelo o del subsuelo.

Al considerar el efecto de las condiciones de humedad y secamiento al aire sobre la reposición del nivel inicial, el potasio intercambiable del suelo y del subsuelo y relacionarlos con los resultados obtenidos en el estudio del efecto de la

humedad sobre la liberación de potasio no-intercambiable, se observa que los valores de potasio intercambiable obtenidos en las muestras de suelos y subsuelos incubados (Figuras 30 y 31) guardan cierta proporción con los valores de potasio extraído con ácido nítrico en los suelos y subsuelos incubados en húmedo (Figuras 28 y 29). Esto indica que las condiciones de humedad en estos suelos y subsuelos tropicales afectan en general el sistema del equilibrio entre las diferentes formas de potasio, alterando las relaciones entre ellas de acuerdo a las condiciones de humedad y secamiento del suelo.

La recuperación de los niveles iniciales de potasio intercambiable no se observó en ninguna de las muestras de los suelos y subsuelos incubados en húmedo con secamiento al aire. Esto indica que una reducción significativa del nivel inicial del potasio intercambiable en estos suelos y subsuelos bajo cosechas sucesivas, causará un empobrecimiento de la forma de potasio intercambiable sin posibilidades de recuperación de los niveles iniciales bajo las condiciones de humedad y secamiento al aire en un período muy corto.

H. Fijación de potasio

Los resultados obtenidos en el estudio de la fijación de

potasio en un suelo y subsuelo aluvial, en dos suelos y subsuelos andosoles y en dos suelos y subsuelos latosoles, están contenidos en los Cuadros 23, 24, 25, 26, 27 y 28.

En el Cuadro 23 se presentan los niveles de potasio intercambiable obtenidos en los suelos y subsuelos bajo el tratamiento de 0 Kgs/ha al final de los diferentes períodos de incubación. Como se puede apreciar en la Figura 32, al final del período del primer mes de incubación en húmedo los suelos cuyos niveles iniciales de potasio intercambiable eran altos (Margot y CR-8), presentaron reducciones significativas, en tanto que en los suelos cuyos niveles eran bajos, no experimentaron considerable variación en el nivel del potasio intercambiable. Asimismo, se encontró que el efecto de la incubación en húmedo con ciclos de secamiento al aire, causó un aumento en el nivel del potasio intercambiable en todos los suelos, siendo este aumento mayor en los suelos volcánicos CR-8 y Birrisito, que en los demás.

Al final del período de dos meses de incubación en húmedo, los suelos que presentaron una reducción de sus niveles iniciales de potasio intercambiable durante el primer mes, aumentaron sus niveles en tanto que en los otros suelos los niveles de potasio intercambiable no variaron significativamente. Asimismo, se encontró que en las muestras de suelo incu

CUADRO 23. RESULTADOS DE EXPERIMENTO DE FIJACION DE POTASIO: POTASIO INTERCAMBIABLE (a) ENCONTRADO EN MUESTRAS DE 5 SUELOS Y 5 SUBSUELOS SOMETIDOS A DOS TRATAMIENTOS DE INCUBACION DURANTE CUATRO MESES Y BAJO CUATRO NIVELES DE POTASIO.

MUESTRA	K aplicado Kg/ha	K interc. al tiempo 0 mes Kg/ha	Incubación en húmedo K extraído en las muestras			Incubación en húmedo con ciclos de secamiento		
			1er mes	2 meses	4 meses	1er mes	2 meses	4 meses
			Kg/ha			Kg/ha		
Margot (aluv) Suelo	0	756	198	699	687	807	717	777
	50	806	170	746	660	852	787	805
	100	856	183	772	784	889	840	861
	200	956	206	834	899	942	910	894
Margot Subsuelo	0	100	98	89	83	95	96	91
	50	150	146	129	127	130	124	128
	100	200	182	180	169	178	168	166
	200	300	277	286	259	263	255	240
CR-8 (ando) Suelo	0	924	178	707	790	947	822	917
	50	974	182	753	824	1023	875	964
	100	1024	196	813	933	1085	910	978
	200	1124	200	906	1004	1231	1015	1057
Subsuelo	0	224	189	192	156	210	194	173
	50	274	225	237	166	252	237	182
	100	324	250	278	222	308	281	241
	200	424	322	352	276	391	369	301
Birrisito (ando) Suelo	0	119	132	138	109	163	135	147
	50	169	188	188	190	219	181	171
	100	219	234	239	189	267	236	222
	200	319	330	360	242	364	344	238
Subsuelo	0	84	103	96	220	103	100	114
	50	134	143	142	157	163	149	154
	100	184	195	133	182	219	203	199
	200	284	284	289	260	310	302	284

Cuadro 23. Continuación...

Muestra	K aplicado	K interc. al tiempo 0 mes	Incubación en húmedo K extraído en las muestras			Incubación en húmedo con ciclos de secamiento		
	Kg/ha	Kg/ha	1er mes	2 meses	4 meses	1er mes	2 meses	4 meses
			Kg/ha			Kg/ha		
CR-12 (lato) Suelo	0	69	59	55	70	95	73	87
	50	119	117	91	95	148	118	221
	100	169	175	147	145	200	171	159
	200	269	281	217	205	308	282	265
Subsuelo	0	25	51	36	42	56	52	61
	50	75	94	71	78	104	96	107
	100	125	137	120	126	159	151	157
	200	225	231	202	180	277	261	347
Colorado (lato) Suelo	0	210	233	230	191	245	227	227
	50	260	277	289	242	289	283	261
	100	410	317	343	272	333	326	318
	200	440	404	427	289	427	434	402
Subsuelo	0	46	61	47	59	63	57	61
	50	96	102	89	94	120	100	107
	100	146	153	138	143	157	150	154
	200	246	249	230	223	256	159	246

(a) Extracción con la solución de acetato de amonio.

CUADRO 24. CANTIDADES DE POTASIO LIBERADO O FIJADO (-) EN EL SUELO Y SUBSUELO LA MARGOT

MUESTRA MARGOT (Aluvial)	K aplicado	K disponible al 0 mes	Incubación en húmedo				Incubación en húmedo-seco			
			K liberado 1er mes	K liberado 2do mes	K fijado 4to mes	Promedio	K liberado 1er mes	K liberado 2do mes	K fijado 4to mes	Promedio
K g / h a										
Suelo	0	756	-557	-57	-69	-227,6	51	-39	21	11
	50	806	-636	-60	-146	-280,6	46	-19	-1	8,6
	100	856	-673	-84	-72	-276,3	33	-16	5	7,3
	200	956	-750	-122	-57	-309,6	-14	-46	-62	-40,6
Promedio			-654	-80,7	-86		29	-30	-9,2	
Subsuelo	0	100	-2	-11	-17	-10	-5	-14	-9	-9,3
	50	150	-4	-21	-23	-16	-20	-26	-22	-22,6
	100	200	-18	-20	-31	-23	-22	-32	-34	-29,3
	200	300	-23	-14	-41	-26	-37	-45	-60	-47,3
Promedio			-11,7	-16,5	-28		-21	-29,2	-31,2	

CUADRO 25. CANTIDADES DE POTASIO LIBERADO O FIJADO (-) EN EL SUELO Y SUBSUELO CR-8.

MUESTRA CR-8 (Andosol)	K aplicado	K disponible al 0 mes	Incubación en húmedo				Incubación en húmedo-seco			
			K liberado o fijado en el: 1er mes	2do mes	4to mes	Promedio	K liberado o fijado al: 1er mes	2do mes	4to mes	Promedio
Kg/ha										
Suelo	0	924	-746	-217	-134	-365,6	23	-102	-7	-28,6
	50	974	-792	-221	-150	-387,6	49	-93	-10	-20,0
	100	1024	-828	-211	-91	-376,6	61	-114	-46	-33,0
	200	1124	-924	-218	-120	-420,6	107	-109	-67	-23,0
Promedio			-822,5	-216,7	-123,7		60	-106	-32,5	
Subsuelo	0	224	-35	-32	-60	-45,0	-14	-30	-31	-31,6
	50	274	-49	-37	-108	-64,6	-22	-37	-92	-50,3
	100	324	-74	-46	-102	-74,0	-16	-43	-83	-47,3
	200	424	-102	-72	-148	-107,3	-33	-55	-123	-70,3
Promedio			-65	-446,7	-106,5		-21,2	-41,2	-87,2	

CUADRO 26. CANTIDAD DE POTASIO LIBERADO O FIJADO (-) EN EL SUELO Y SUBSUELO BIRRISITO

MUESTRA Birrisito (Andosol)	K aplicado	K disponible al 0 mes	Incubación en húmedo			Incubación en húmedo-seco				
			K liberado o fijado en el: 1er mes	2do mes	4to mes	K liberado o fijado al: 1er mes	2do mes	4to mes		
	0	119	13	19	-10	7,3	44	16	28	29,3
	50	169	19	19	21	19,6	50	12	2	21,3
	100	219	15	20	-30	1,6	48	17	3	22,6
	200	319	11	41	-77	-8,3	45	25	-1	-3,6
Promedio			14,5	24,7	-24		46,7	17,5	-12	
	0	94	19	12	36	22,3	19	16	30	21,6
	50	134	9	8	23	13,3	29	15	20	21,3
	100	184	11	9	-2	6,0	35	19	15	23,0
	200	284	0	5	-14	-3,0	26	19	0	15,0
Promedio			9,7	8,5	10,7		27,2	17,2	16,2	

K g / h a

CUADRO 27. CANTIDAD DE POTASIO LIBERADO O FIJADO (-) EN SUELOS Y SUBSUELOS CR-12

MUESTRA CR-12 (Latosol)	K aplicado	K disponible al 0 mes	Incubación en húmedo				Incubación en húmedo-seco			
			K liberado o fijado en el:		K liberado o fijado al:		K liberado o fijado en el:		K liberado o fijado al:	
			1er mes	2do mes	4to mes	Promedio	1er mes	2do mes	4to mes	Promedio
			K g / h a							
Suelo	0	67	-10	-14	1	-7,6	26	4	18	16
	50	119	-2	-22	-24	-16	29	-1	2	10
	100	169	6	-22	-24	-13,3	31	2	-10	7,6
	200	269	12	-52	-64	-34,6	39	13	-4	16
Promedio			1,5	-27,5	-27,7		31,2	4,5	1,5	
Subsuelo	0	25	26	11	17	18	31	27	36	31,3
	50	75	19	-4	3	6	29	21	32	27,3
	100	125	12	-5	1	2,6	34	26	32	30,6
	200	225	6	-23	-45	-20,6	52	36	22	36,6
Promedio			15,7	-5,2	-6		36,5	27,5	30,5	

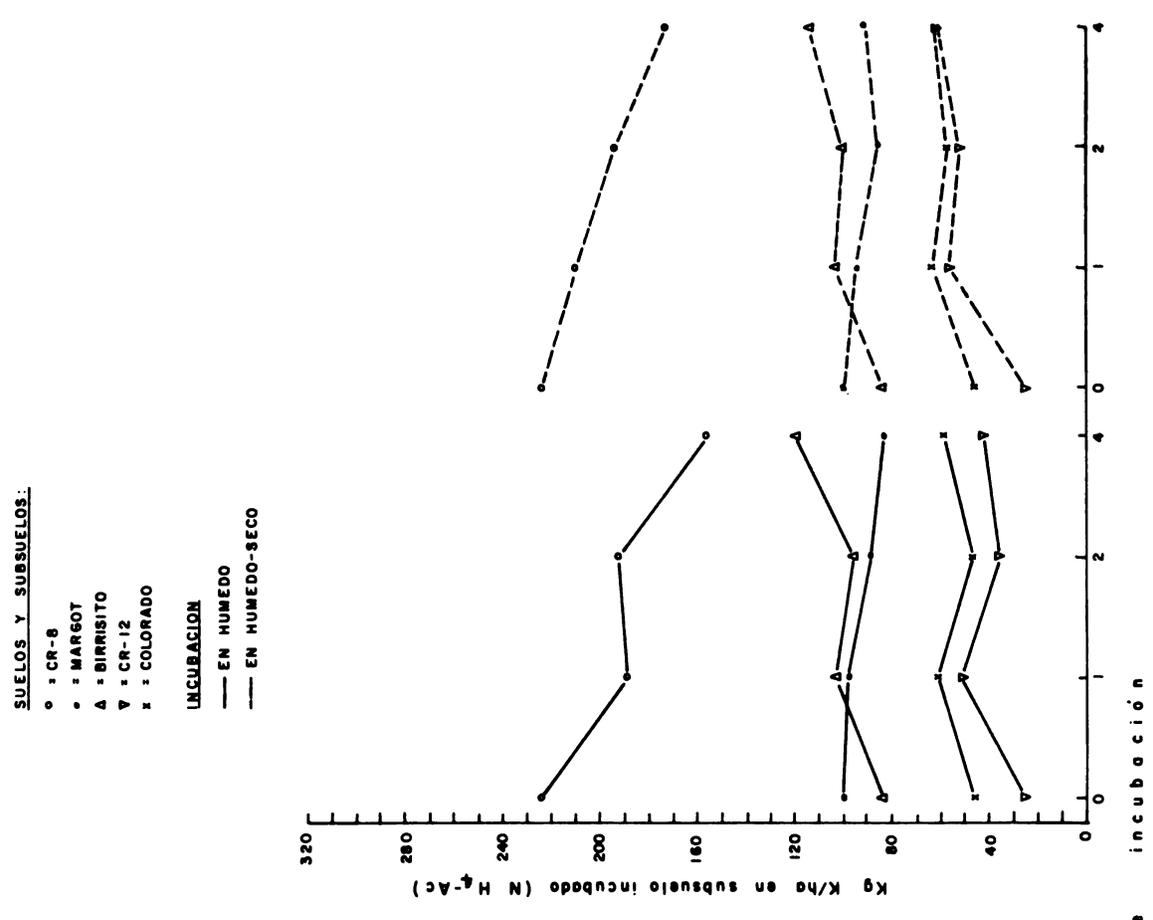
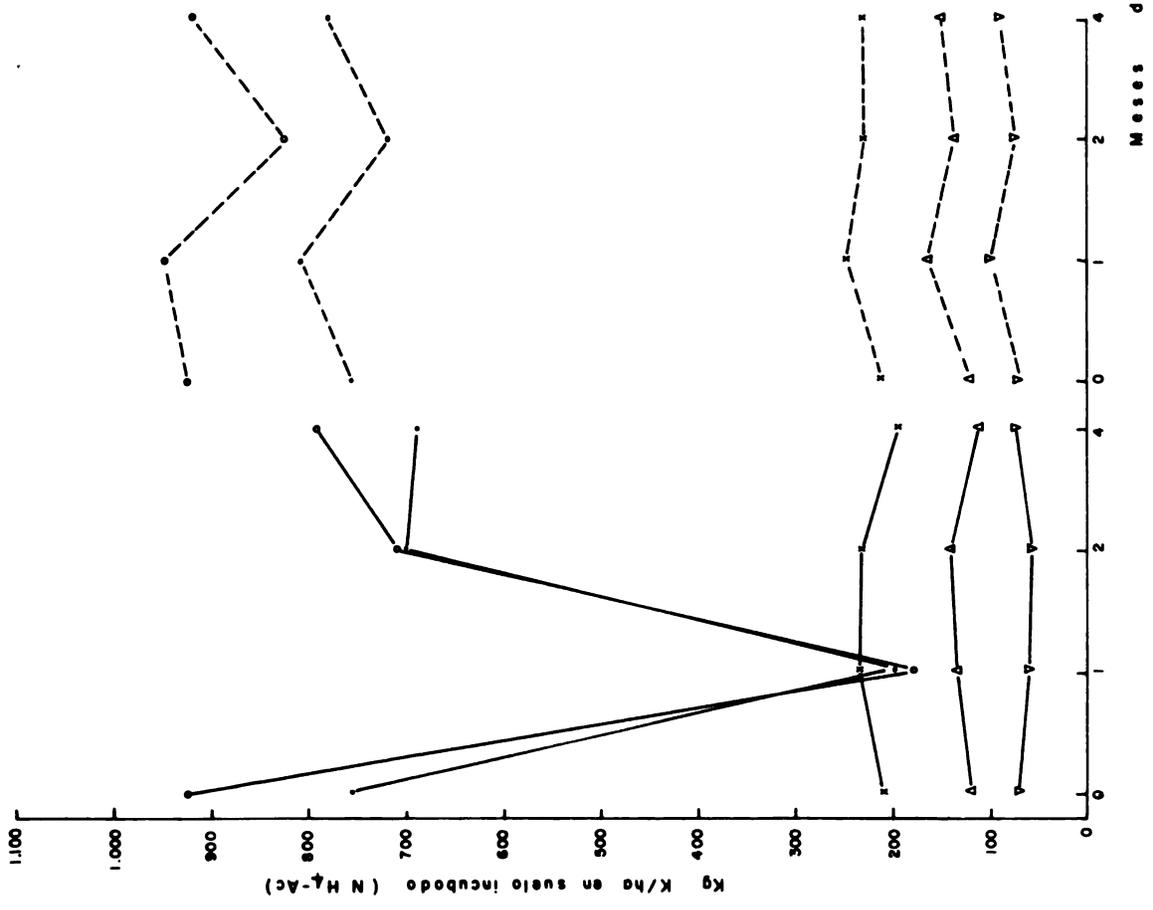


Fig. 32 Capacidad de fijación de potasio en 5 suelos y 5 subsuelos bajo diferentes períodos y condiciones de incubación (tratamiento: 0 Kgs/K ha)



bados en húmedo con ciclos de secamiento al aire, los niveles de potasio intercambiable disminuyeron en todos los suelos, pero la variación sólo fue significativa en los suelos con altos contenidos de potasio intercambiable (Figura 32).

Al final del período de cuatro meses de incubación en húmedo, sólo el suelo volcánico CR-8 presentó un aumento significativo en su nivel de potasio intercambiable inmediatamente anterior, en tanto que en el suelo aluvial Margot, en el suelo latosol Colorado y en el suelo andosol Birrisito, presentaron disminuciones. Asimismo, se encontró que la incubación en húmedo con secamiento al aire causó en las muestras de los suelos un aumento en los niveles de potasio intercambiable, siendo estos aumentos mayores en los suelos que presentaron la mayor reducción en los niveles del segundo mes de incubación.

Se observa en la Figura 32 que los suelos CR-8 y Margot, en sus aumentos de los niveles de potasio intercambiable durante el período de 2 meses de incubación en húmedo, no sobrepasaron o recuperaron los niveles originales. Esto mismo se observó para el suelo CR-8 al final del período de 4 meses de ambos tratamientos de incubación.

Respecto a los subsuelos, se observó que aquellos cuyos nivel

les iniciales de potasio intercambiable eran altos, presentaron en los tres períodos de incubación una reducción de esos niveles en una forma gradual, tanto en las muestras incubadas en húmedo permanentemente como en las incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire. Se observó también que las disminuciones fueron mayores en las muestras incubadas en húmedo que en las muestras incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire. Asimismo, se encontró que en las muestras de los subsuelos cuyos niveles iniciales de potasio intercambiable fueron menores de 90 Kg/ha, hubo un aumento de esos niveles iniciales en todos los períodos de incubación de ambos tratamientos.

En la Figura 33 se puede apreciar que las muestras de los suelos y subsuelos con el tratamiento de 50 Kg/ha de potasio aplicado, presentaron la misma tendencia a la fijación de potasio que la observada en la Figura 32 para los suelos y subsuelos del tratamiento de 0 Kg/ha de potasio aplicado. Se observó así, que las variaciones fueron ligeramente marcadas para los suelos con los menores niveles de potasio intercambiable y más marcadas para los suelos con los mayores niveles y para todos los subsuelos.

Se encontró que al aumentar los niveles originales del potasio intercambiable en los suelos y subsuelos con una aplica-

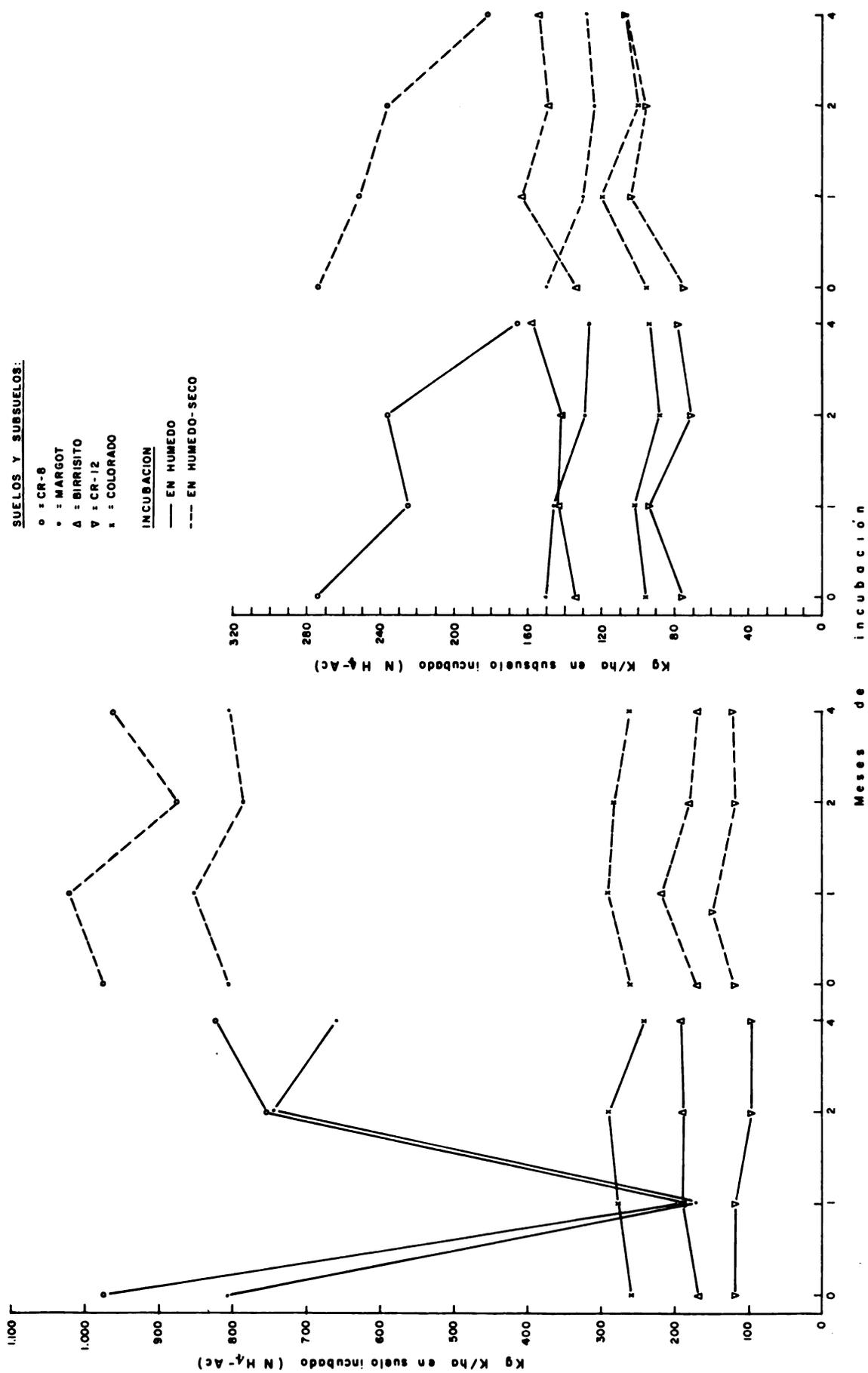


Fig. 33 Capacidad de fijación de potasio en 5 suelos y 5 subsuelos bajo diferentes periodos y condiciones de incubación (tratamiento: 50 Kgs K/ha)

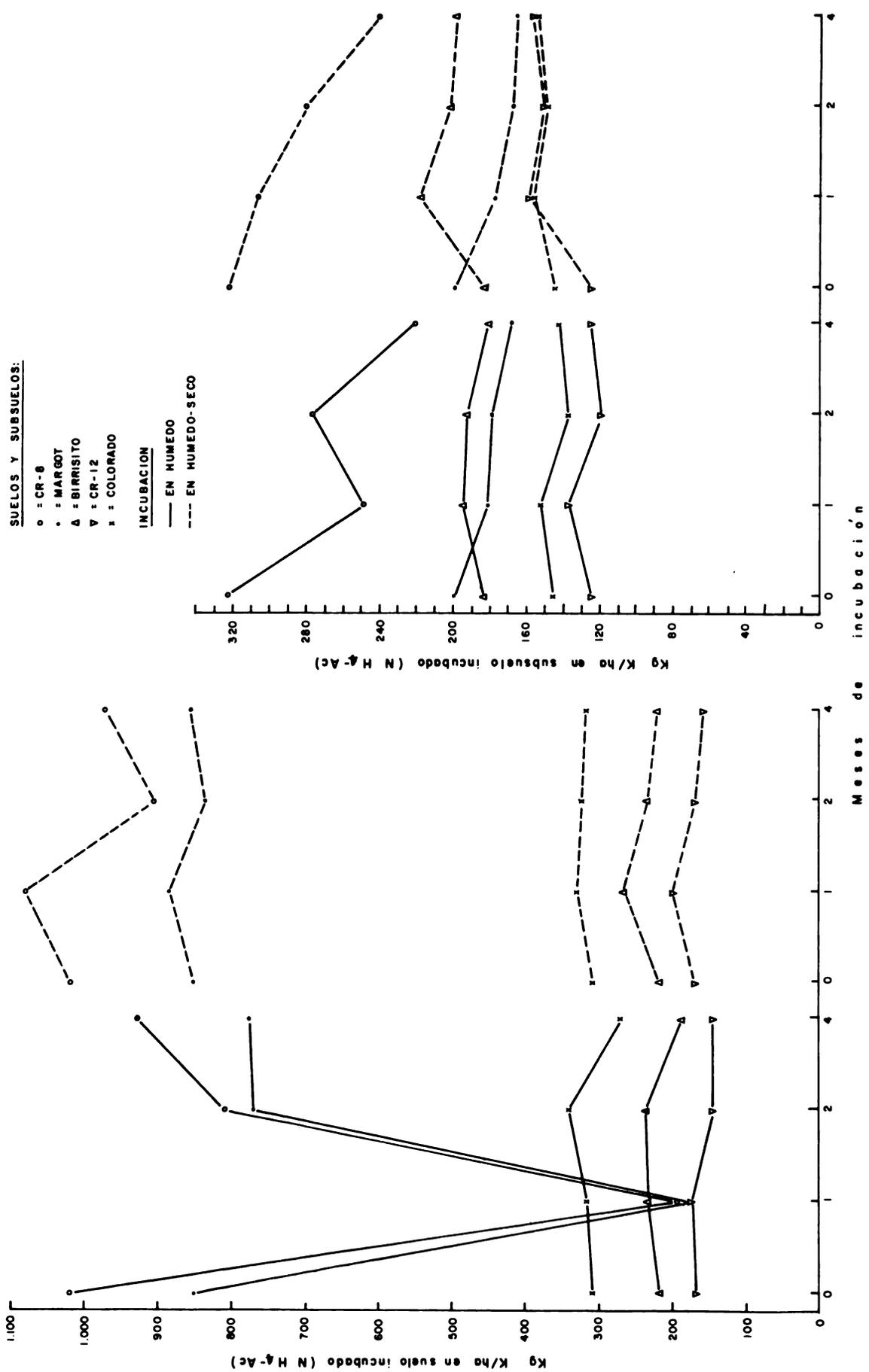


ción de 100 Kg/ha de potasio, las muestras incubadas bajo los dos tratamientos presentaron la misma tendencia en la fi ja ci ó n de potasio observada en las muestras de tratamiento de 0 y 50 Kg/ha de potasio aplicado, pero siendo las va ri ac i o nes un poco más notorias.

En la Figura 35 se puede apreciar que al aumentar el nivel o ri g i n a l del potasio intercambiable en los suelos y subsuelos con una aplicación de 200 Kgs/ha de potasio, los niveles encontrados en las muestras al final de cada período de in cu b a c i ó n no presentaron en general la misma tendencia observada anteriormente en las muestras de tratamiento 0, 50 y 100 Kg/ha de potasio aplicado. Se encontró que las variaciones de los niveles de potasio intercambiable entre las muestras incubadas fueron extremas especialmente en los suelos CR-12, Bi rr is i t o, Colorado, dentro de cada tratamiento de incubación y para las muestras del suelo Margot incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire.

En la Figura 35 se puede observar también que los subsuelos presentaron en general las mismas tendencias observadas an te ri or me n te, pero presentando una variación más pronunciada en tr e s los valores de potasio intercambiable encontrados en las muestras.







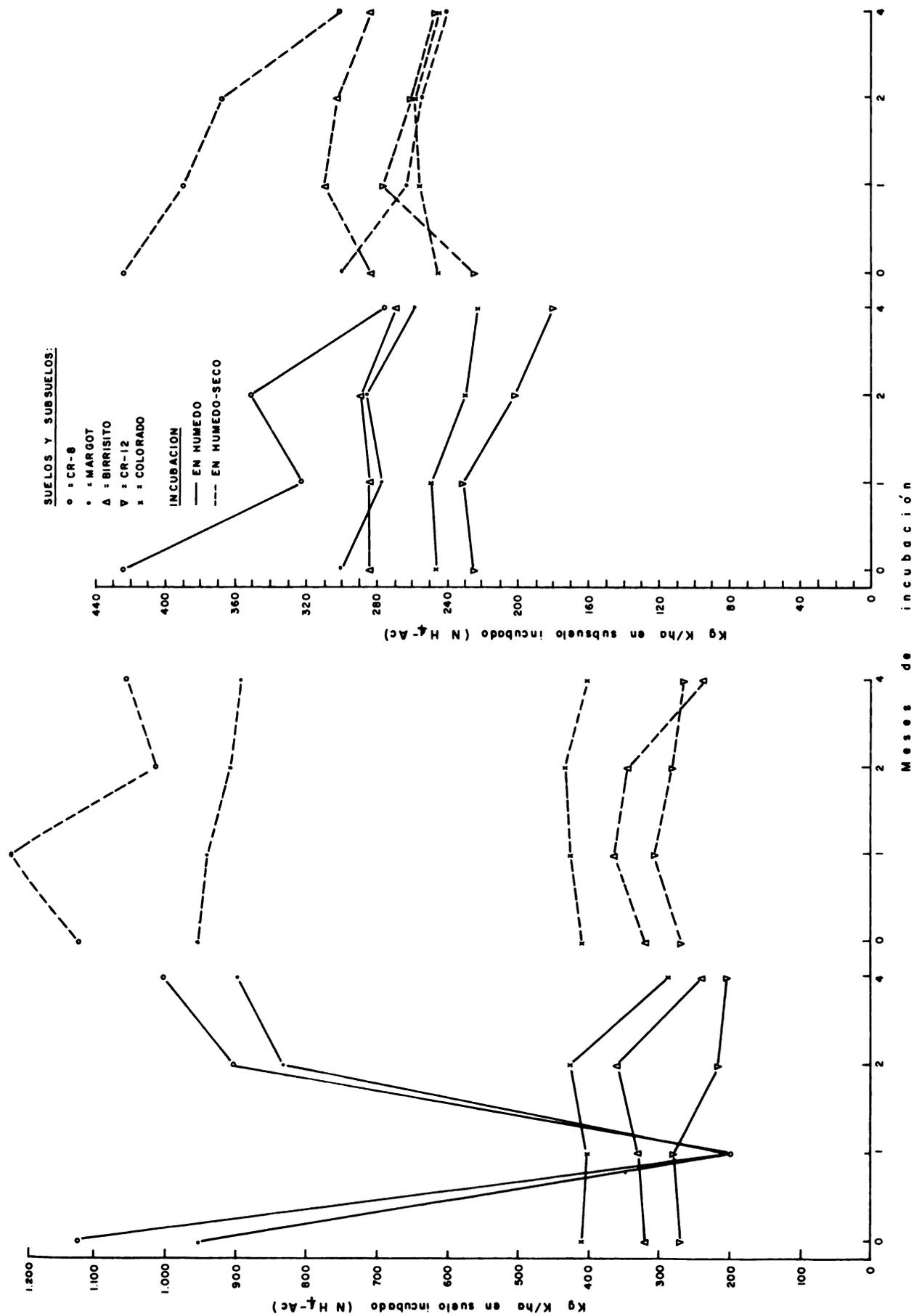


Fig. 35 Capacidad de fijación de potasio en 5 suelos y 5 subsuelos bajo diferentes periodos y condiciones de incubación (tratamiento: 200 Kgs K/ha)



Este efecto de los cambios de humedad en el suelo sobre el nivel de potasio intercambiable determinado con acetato de amonio, ha sido reportado también por Scott, Hanway y Stickney (96), quienes agregan que estos cambios de humedad, al afectar el nivel de potasio intercambiable en el suelo, afectan el equilibrio de este nutriente en el suelo. Cabe considerar que las anteriores variaciones de potasio intercambiable observadas en el presente estudio, sea un efecto de fijación o de liberación de potasio en estos suelos y subsuelos, en virtud del equilibrio entre las formas de potasio intercambiable y potasio fijado (5, 104, 116).

Los resultados de las cantidades de potasio fijadas o liberadas en las muestras incubadas se determinó por diferencia entre la cantidad de potasio intercambiable encontrada en la muestra después de cada período de incubación menos la cantidad de potasio intercambiable inicial del suelo, menos la cantidad de potasio aplicado. Los niveles de potasio fijado o liberado en las muestras de los suelos y subsuelos estudiados están anotados en los Cuadros 24, 25, 26, 27 y 28, expresándose la fijación por los valores negativos y la liberación por valores positivos.

El Cuadro 24 contiene los resultados de los niveles de potasio fijado en las muestras incubadas del suelo y subsuelo La

CUADRO 28. CANTIDAD DE POTASIO LIBERADO O FIJADO (-) EN EL SUELO Y SUBSUELO COLORADO

MUESTRA Colorado (latesol)	K aplicado	K disponible al 0 mes	Incubación en húmedo			Incubación en húmedo-seco			K g / h a
			K liberado 1er mes	K liberado 2do mes	K fijado 4to mes	K liberado 1er mes	K liberado 2do mes	K fijado 4to mes	
Suelo	0	210	23	20	-19	8,0	35	17	23,0
	50	260	17	29	-18	9,3	29	1	17,6
	100	310	7	33	-38	0,6	23	8	15,6
	200	410	-6	17	-121	-36,6	17	-8	11,0
Promedio			10,2	24,7	-49		26	20	4,5
Subsuelo	0	46	15	1	13	9,6	17	11	14,3
	50	96	6	-7	-2	-1,0	24	4	13,0
	100	146	7	-8	-3	1,3	11	4	7,8
	200	246	3	-16	-23	-12,0	10	13	7,6
Promedio			7,7	-7,5	-3,7		15,5	8	8,5

Margot. Las muestras de suelo fijaron las mayores cantidades de potasio durante el primer mes de incubación en húmedo, siendo la fijación de potasio mayor con el incremento del tratamiento de potasio aplicado. En las muestras incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire, se observó una liberación de potasio para los tres niveles menores de potasio intercambiable iniciales.

En la Figura 36 se puede apreciar que sólo parte del potasio fijado en el primer mes fué liberado durante el segundo y cuarto mes de incubación en húmedo. También se observa que el suelo La Margot, en el primer mes y durante su máxima fijación, logró fijar la cantidad total del potasio del tratamiento de 200 Kg/ha.

En la Figura 36 se puede apreciar que la fijación del potasio aplicado en el subsuelo fue parcial en los tres períodos de incubación en las muestras con potasio aplicado, tanto en las incubadas en húmedo como en las incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire. Se observó que no hubo diferencias significativas en la fijación de potasio entre las muestras del subsuelo sometidas a los dos métodos de incubación. La máxima fijación de potasio se registró en las muestras de subsuelos del tratamiento de 200 Kg/ha de potasio aplicado, o incubadas en húmedo durante cuatro meses.



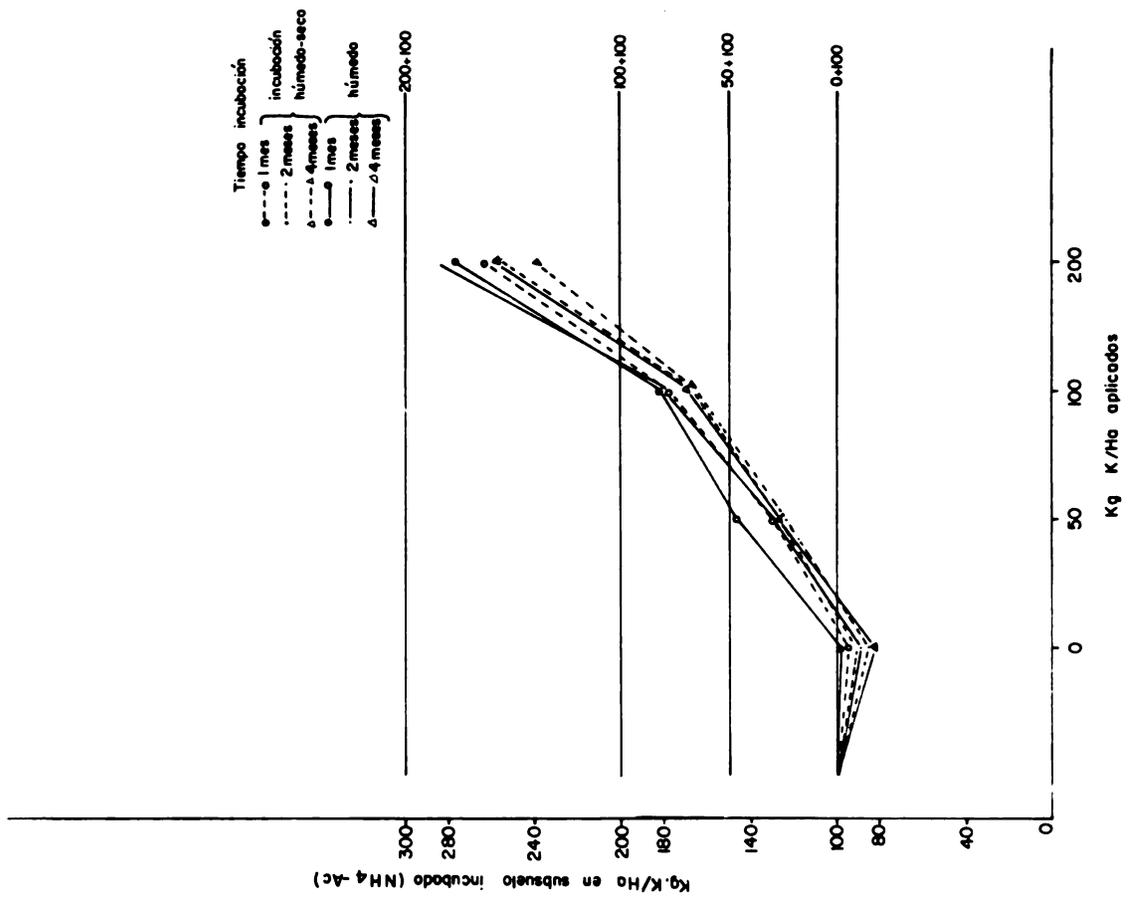
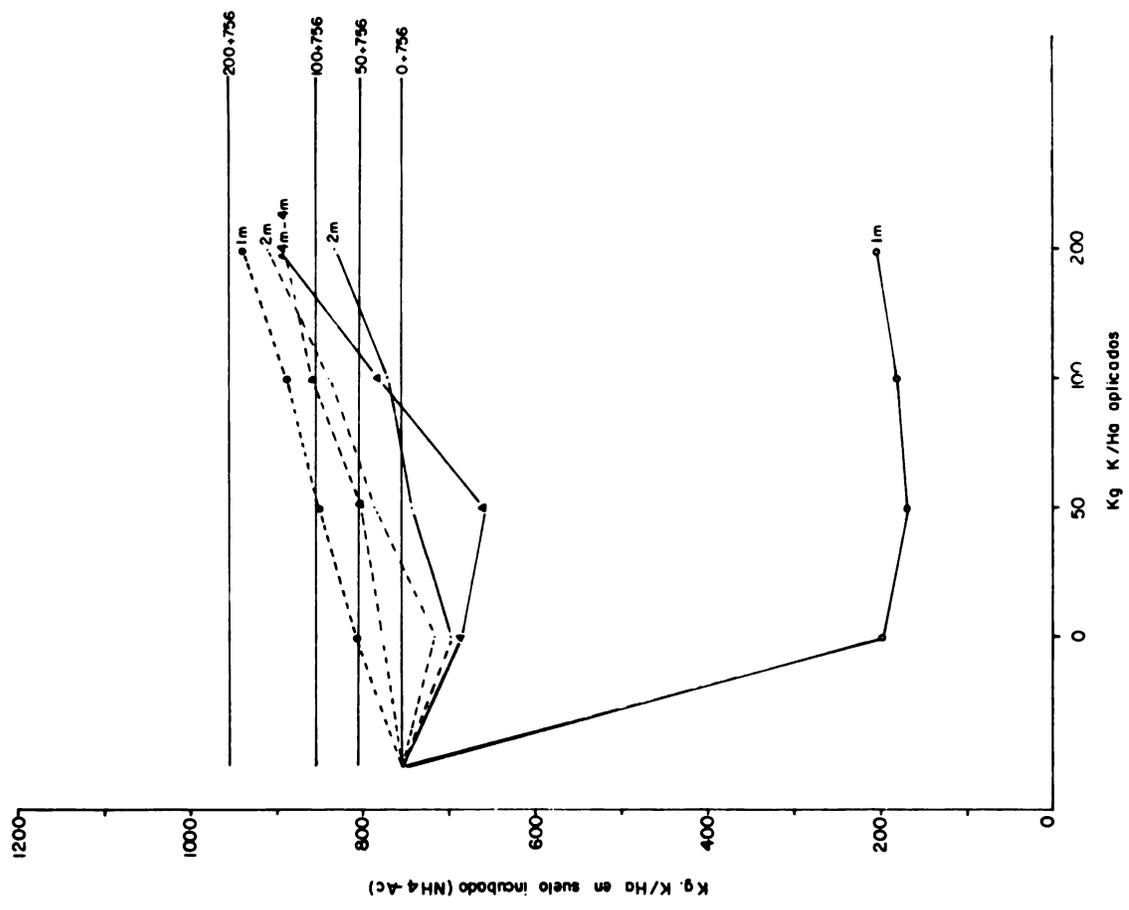


Fig. 36 Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo Margot en relación con el potasio aplicado a las muestras, bajo dos métodos y tres períodos de incubación.



Los resultados del estudio de fijación de potasio para el suelo y subsuelo La Margot, indican que la fijación del potasio aplicado aumenta con la cantidad aplicada al cabo del primer mes en condiciones húmedas. También hay que anotar que pasado este período, ya sea bajo condiciones húmedas o húmedo-secas, parte del potasio aplicado y fijado, es liberado. En el subsuelo se observó que la capacidad de fijación de potasio es menor que en el suelo, tanto bajo condiciones húmedas como húmedo-secas.

Estas fijaciones, tanto del potasio aplicado como del potasio intercambiable nativo del suelo, indican la presencia de minerales arcillosos fijadores de potasio del tipo 2:1, los cuales han sido encontrados en algunos suelos como fijadores de potasio intercambiable (6, 26, 117). Esta fijación de potasio en suelos tropicales por minerales de tipo 2:1 ha sido también reportada por Acquaya, MacLean y Rice (1). Asimismo, el proceso de liberación del potasio fijado es anotado por Barbier (5) y Widlander (117) al considerar el equilibrio entre esas dos formas de potasio.

En el Cuadro 25 se presentan las cantidades de potasio fijado en las muestras incubadas del suelo y subsuelo andosol CR-8. El suelo CR-8 fijó las mayores cantidades de potasio al cabo del primer mes de incubación de las muestras en hú-

medo con ciclos de secamiento al aire presentó una liberación para las muestras de los tratamientos menores de potasio intercambiable inicial. En la Figura 37 se puede apreciar que al igual que el suelo La Margot, parte del potasio fijado en el primer mes fue liberado durante el segundo y cuarto mes de incubación en húmedo. Asimismo, se observa que el suelo CR-8 fijó la cantidad total de potasio aplicado en el tratamiento de 200 Kg/ha durante el período de máxima fijación en húmedo.

En la Figura 37 se puede apreciar que la fijación de potasio aplicado al subsuelo fue parcial en las muestras incubadas durante los tres períodos. También se observa que en el subsuelo CR-8 la cantidad de potasio fijado en las muestras incubadas en húmedo fue siempre mayor que en las muestras incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire. La máxima fijación de potasio aplicado se registró en las muestras incubadas en húmedo durante cuatro meses del tratamiento de 200 Kg /ha de potasio aplicado.

Al igual que en el suelo y subsuelo La Margot, los resultados indican que esta fijación de potasio en las muestras del suelo y subsuelo CR-8 durante el primer mes de incubación en húmedo fue mayor con el aumento de la cantidad de potasio aplicado. Asimismo, parte del potasio fijado en el primer mes fue liberado en el segundo período de incubación, tanto en hú

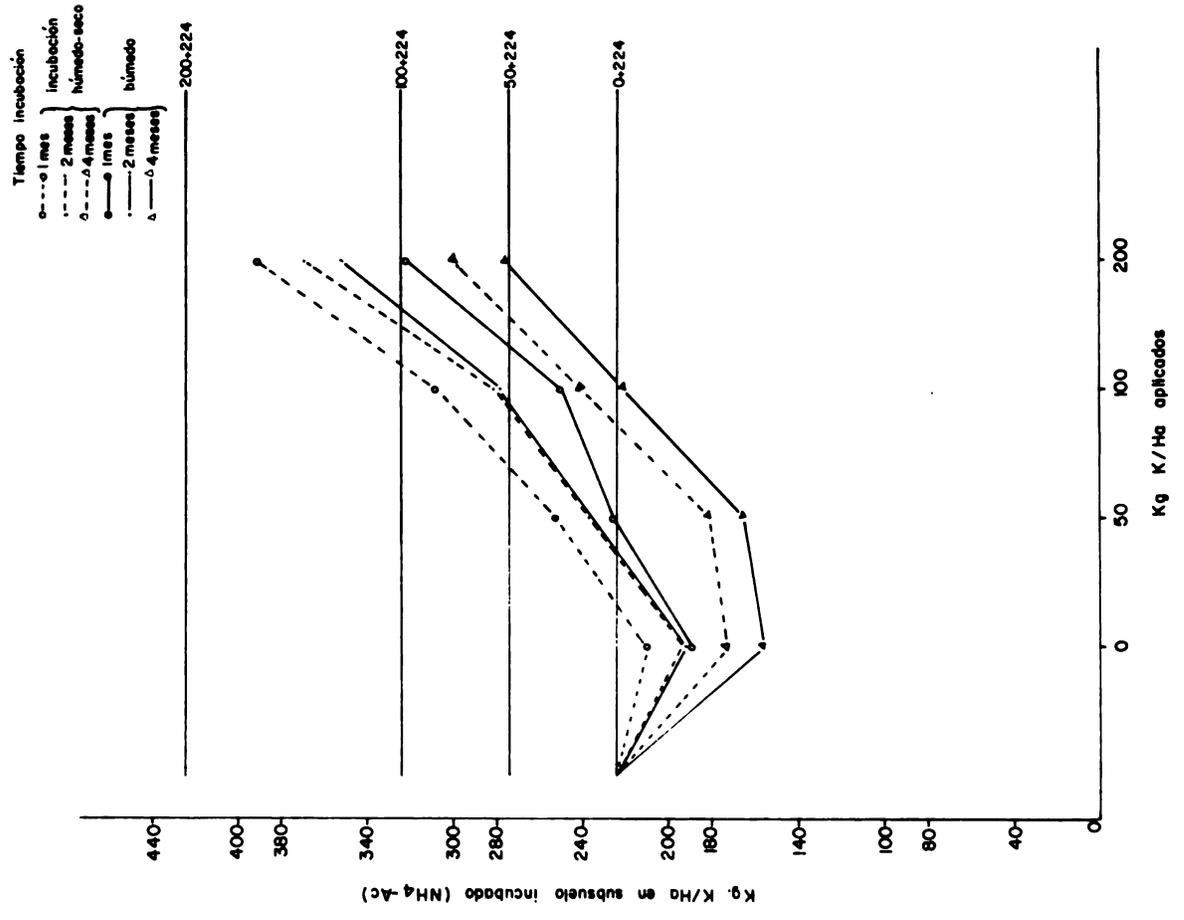
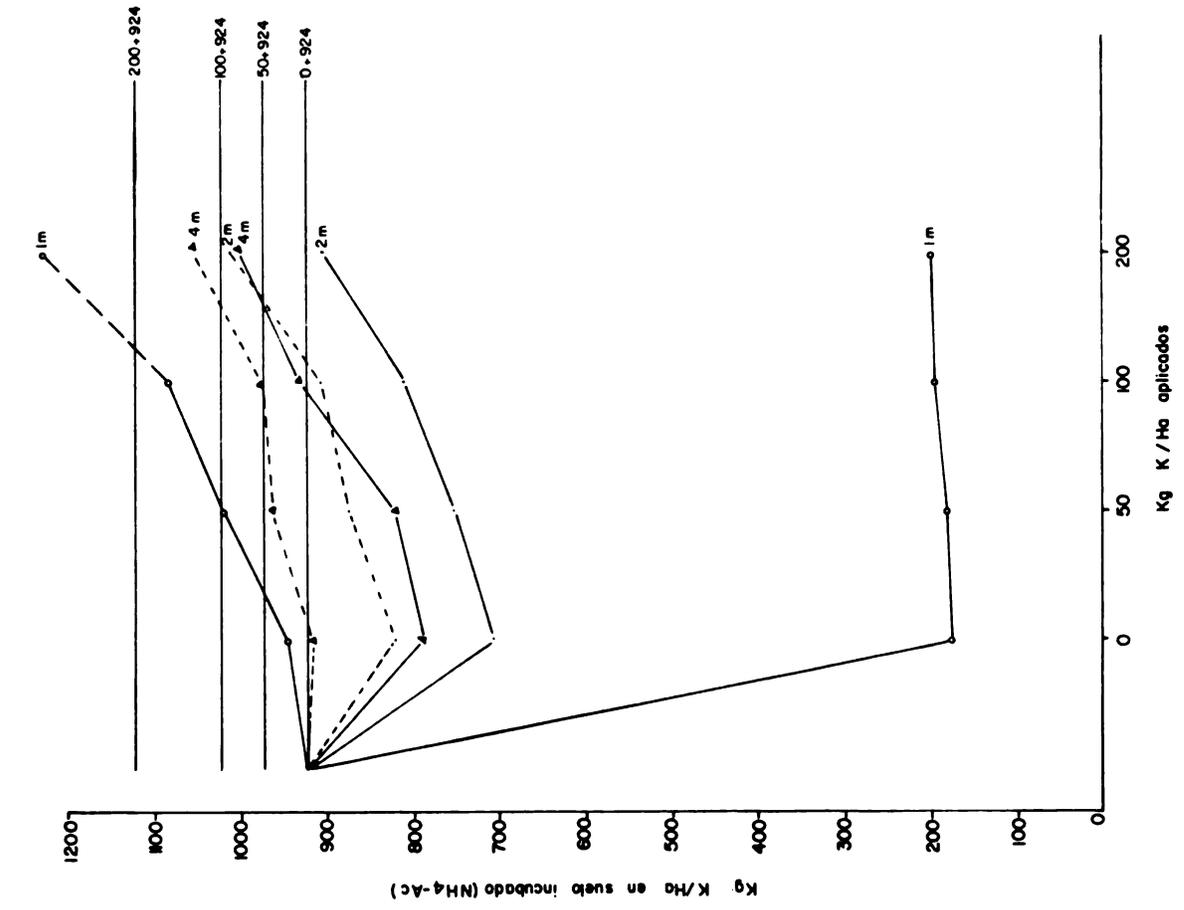


Fig. 37 Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo CR-8 en relación con el potasio aplicado a los muestros, bajo dos métodos y tres períodos de incubación.



medo con ciclos de secamiento al aire. En cuanto al subsuelo CR-8, se encontró que la fijación de potasio fue menor que en el suelo, pero mayor que en el subsuelo La Margot.

En el Cuadro 26 se presentan las cantidades de potasio fijado o liberado en el suelo y subsuelo del andosol Birrisito. Tanto el suelo como el subsuelo Birrisito, difieren en las características de fijación presentadas por el suelo y subsuelo andosol CR-8, lo cual puede observarse al comparar las Figuras 37 y 38.

El suelo Birrisito (Figura 38) presentó la máxima fijación de potasio en las muestras incubadas en húmedo y seco durante cuatro meses del tratamiento de 200 kg/ha de potasio aplicado. Se observó que en la mayoría de los resultados obtenidos en ambos tratamientos de incubación durante los períodos de uno y dos meses, se presentó una liberación de potasio. Asimismo, se observó en general una liberación de potasio en el subsuelo, siendo esta liberación mayor o acentuada en las muestras incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire.

Al comparar las cifras de las columnas verticales entre sí, del Cuadro 26, tanto en el suelo como en el subsuelo Birrisito, se observa que a mayor cantidad de potasio aplicado, me-



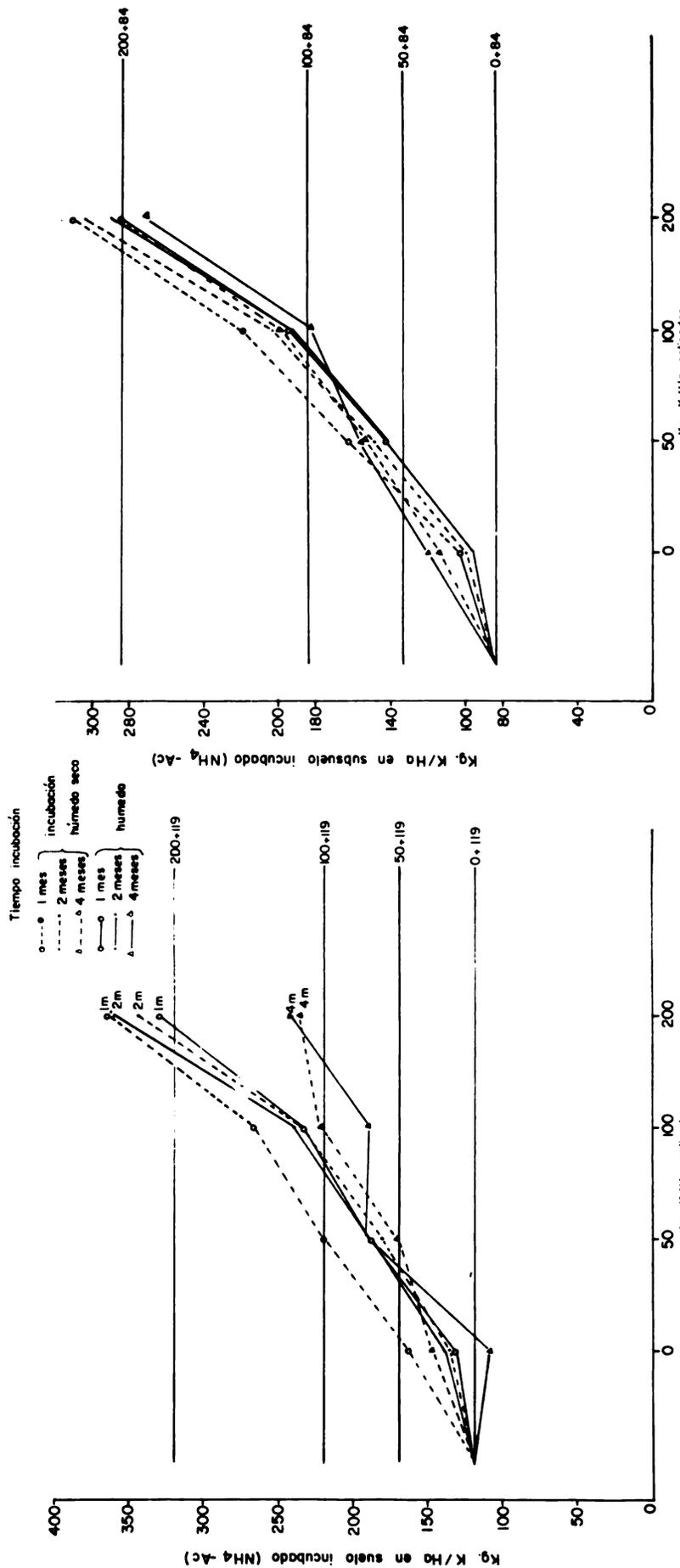


Fig. 38 Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo Birrisito en relación con el potasio aplicado a los muestros, bajo dos métodos y tres períodos de incubación.



nores fueron las cantidades de potasio liberado. Asimismo, se observa en el suelo y más en el subsuelo, que en el período de incubación de cuatro meses las muestras de tratamiento de 200 Kg/ha de potasio aplicado presentaron valores de potasio fijado. Lo anterior parece indicar que en el suelo y subsuelo Birrisito la fijación de potasio es mínima pero un aumento en el potasio intercambiable causado por una aplicación de potasio produce una disminución en la liberación de potasio en el suelo y reversión del potasio de forma intercambiable, causando una fijación.

El Cuadro 27 contiene los niveles de potasio fijado y potasio liberado en las muestras del suelo y subsuelo latosol CR-12. En general, las cantidades de potasio fijado fueron, tanto en el suelo como en el subsuelo, muy bajas. En la Figura 39 se observa que el suelo presentó fijación del potasio aplicado en las muestras incubadas en húmedo, siendo mayor la fijación con los tratamientos de niveles más altos. En las muestras incubadas en húmedo con ciclos de secamiento al aire, no se presentó fijación, sino más bien una liberación, a excepción de las muestras incubadas durante cuatro meses de los tratamientos de 100 y 200 Kg/ha de potasio aplicado.

En el subsuelo CR-12 sólo se presentó fijación del potasio aplicado en las muestras de tratamiento de 200 Kg/ha incubadas



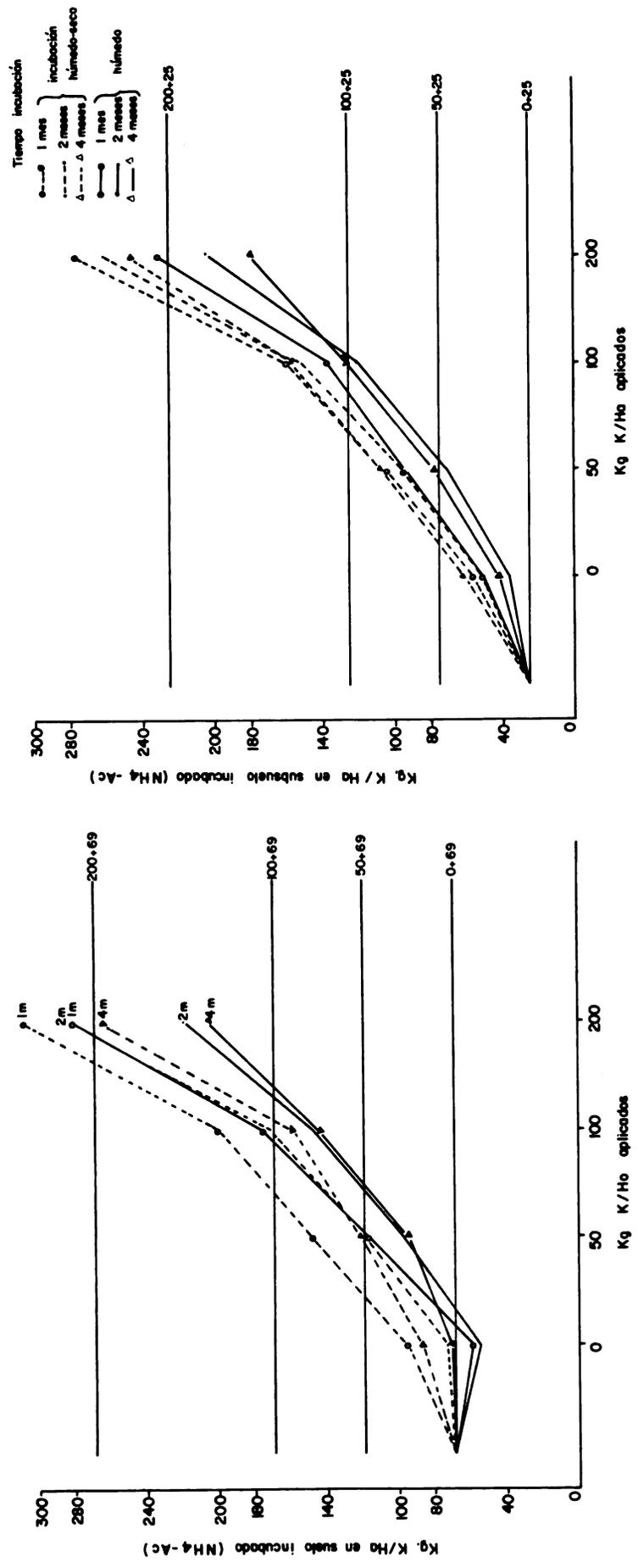
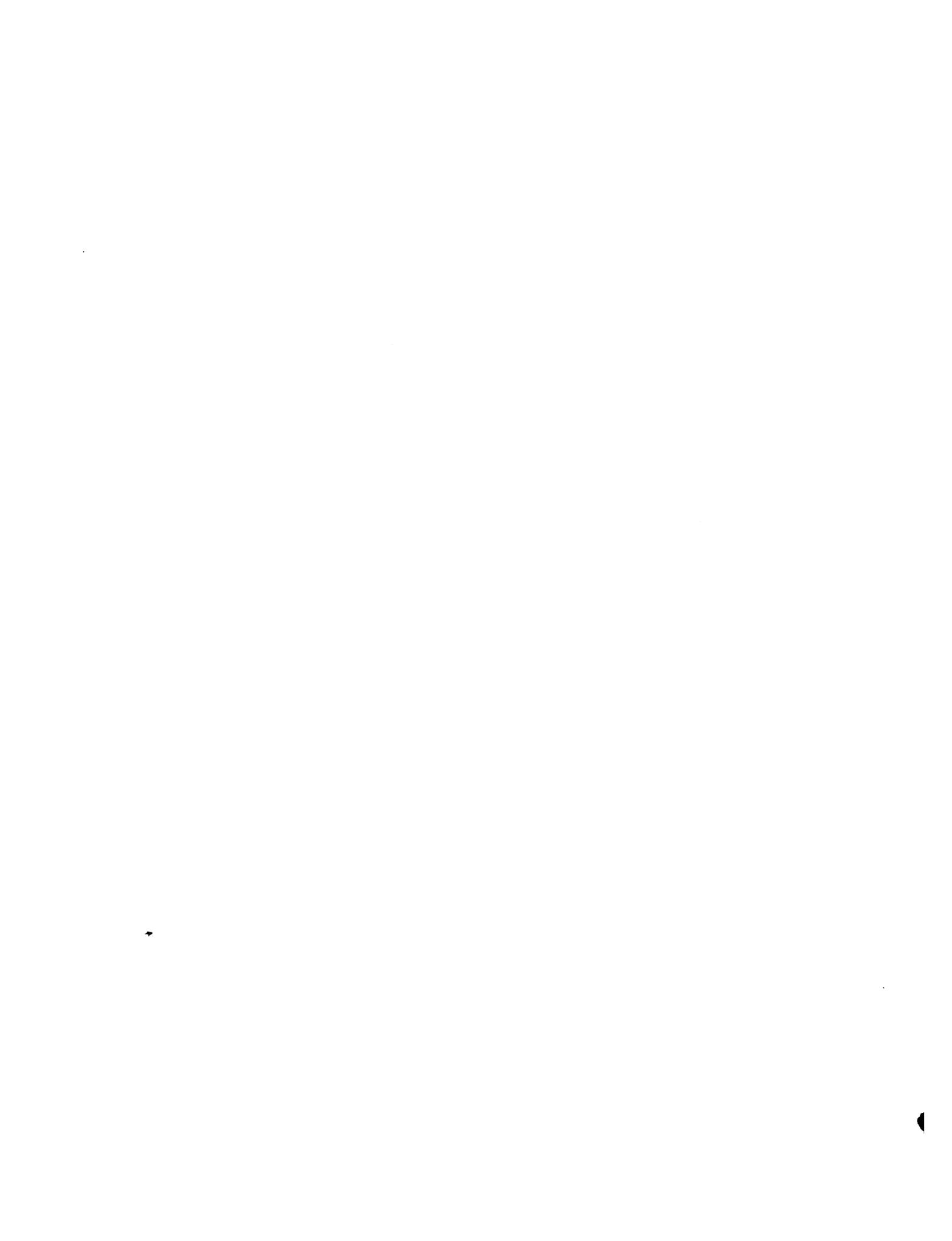


Fig. 39 Capacidad de fijación de potasio del suelo y sub suelo CR-12 en relación con el potasio aplicado a las muestras, bajo dos métodos y tres períodos de incubación.



en húmedo durante uno y dos meses. Una gran liberación de potasio se observó en las muestras incubadas en húmedo con secamiento al aire (Figura 39). Asimismo, se observó que el aumento de la cantidad de potasio aplicado afectó la liberación de potasio en las muestras sometidas a la incubación en húmedo.

En el Cuadro 28 se presentan los valores de potasio fijado y potasio liberado en las muestras de suelo y subsuelo Colorado sometidas a dos tratamientos de incubación. Tanto el suelo como el subsuelo, presentaron sus máximas cantidades de potasio fijado en las muestras incubadas en húmedo durante cuatro meses, bajo el tratamiento de 200 Kg/ha de potasio aplicado. En el suelo, se observó por lo general una liberación de potasio excepto en las muestras de tratamiento de 200 Kg/ha de potasio aplicado. Tanto en las muestras del suelo como las del subsuelo Colorado, se observó el efecto de la incubación en húmedo con secamiento al aire sobre la liberación de potasio o aumento del nivel de potasio intercambiable. Asimismo, se observó el efecto de la cantidad de potasio aplicado sobre la liberación de potasio. Al comparar la Figura 40, correspondiente al suelo y subsuelo Colorado, con la Figura 38, correspondiente al suelo y subsuelo Birrisito, se observa en ambas iguales tendencias, ya que el fenómeno de la fijación de potasio en ambos suelos y subsuelos son muy similares en magnitud.

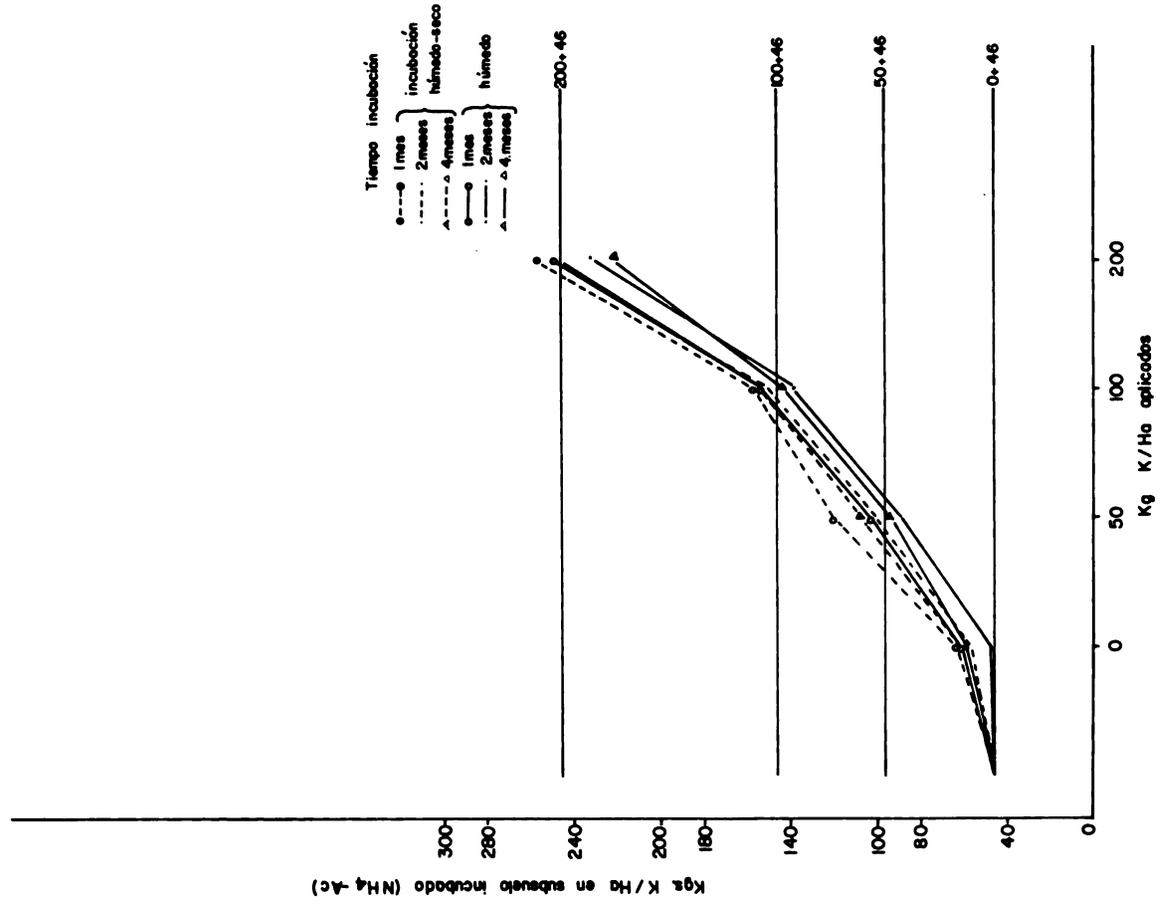
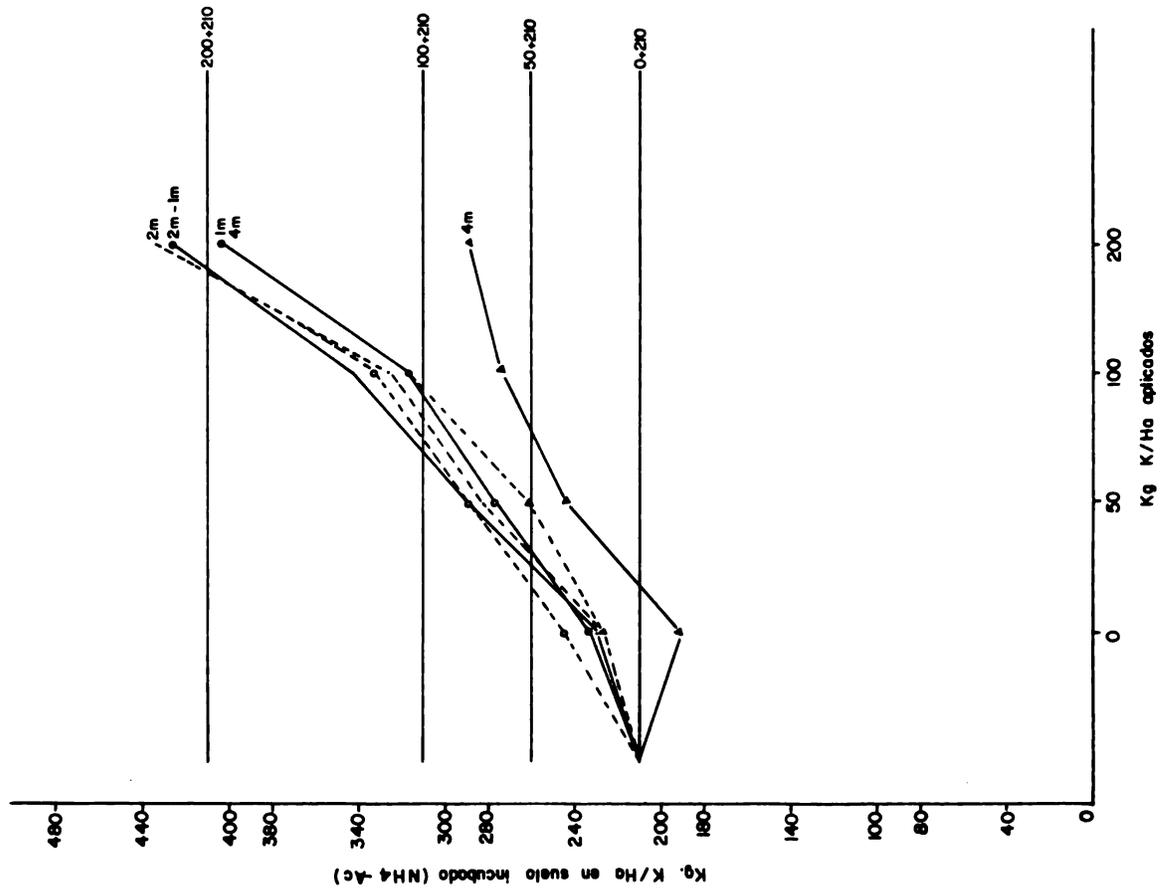


Fig. 40 Capacidad de fijación de potasio del suelo y subsuelo colorado en relación con el potasio aplicado a las muestras, bajo dos métodos, bajo dos períodos de incubación.



Al comparar las Figuras 36, 37, 38, 39 y 40 se observa que las cantidades de potasio aplicadas necesarias para satisfacer la capacidad de fijación en los suelos y subsuelos son mayores de 200 Kg/ha para los suelos Margot y CR-8, menores de 50 Kg/ha para los suelos y subsuelos Birrisito, CR-12 y Colorado y el subsuelo Margot, y alrededor de 100 Kg/ha para el subsuelo CR-8. Hay que anotar que estos valores no indican que la fijación no va a ocurrir al aplicar mayores niveles de potasio, sino que al aplicar los niveles indicados, el nivel de potasio intercambiable encontrado posteriormente y bajo las condiciones estudiadas, será mayor que el nivel del potasio intercambiable nativo del suelo.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este trabajo fue realizado con muestras de suelos y subsuelos aluviales, andosoles y latosoles, procedentes de las áreas de la Meseta Central, Guanacaste, Puntarenas y San Isidro del General de Costa Rica (Figura 1).

En el transcurso de este estudio, se realizaron diferentes tipos de trabajo, a saber: 1) Trabajo de campo, que comprendió la localización del área y sitio de muestreo, muestreo y descripción de las características del suelo y del subsuelo y del área de muestreo. 2) Trabajo de invernadero, que comprendió diseño del experimento, técnica a seguir, selección de niveles de tratamientos, cálculos y preparación de soluciones nutritivas, preparación de los suelos y subsuelos, preparación de las macetas, abonamiento, siembra y cosecha de las plantas de tomate. 3) Trabajo de laboratorio, que comprendió preparación de las muestras, determinación del pH, análisis de potasio intercambiable con tres soluciones extractoras, extracción sucesiva de potasio no-intercambiable con ácido nítrico normal, extracciones de potasio

no-intercambiable con ácido nítrico en muestras de suelos y subsuelos incubados en húmedo, extracciones sucesivas de potasio intercambiable, usando dos soluciones extractoras, extracción de potasio intercambiable en muestras de suelos y subsuelos incubados en húmedo con secamiento al aire, determinación de la fijación de potasio en cinco suelos y cinco subsuelos, análisis de potasio total en suelos y subsuelos, obtención de peso seco de las plantas y análisis de potasio en éstas.

Muchos de los resultados obtenidos en los trabajos de laboratorio se correlacionaron con los resultados obtenidos en el invernadero para estudiar y comprobar el grado de relación entre los métodos de laboratorio y los resultados encontrados en el invernadero.]

Las siguientes son las conclusiones obtenidas en el presente estudio:

1. La solución extractora de acetato de amonio extrajo por lo general, mayores cantidades de potasio intercambiable que las soluciones de Morgan y de Mehlich, pero en todas ellas los valores de potasio intercambiable se presentaron buenas correlaciones con el potasio extraído por la planta.



2. El nivel de potasio intercambiable no fue característico para ningún grupo de suelo y subsuelo, pero sí se observó que mientras los niveles más altos se presentaron en los andosoles, los niveles más bajos se presentaron en los latosoles.
3. Los niveles de potasio intercambiables (extraídos con la solución de acetato de amonio) en los suelos aluviales, andosoles y latosoles, variaron de 354 a 987 Kg/ha; de 119 a 1680 Kg/ha y de 50 a 595 Kg/ha respectivamente. Los niveles en los respectivos subsuelos variaron de 100 a 1134 Kg/ha, de 31,5 a 1470 Kg/ha y de 10 a 220 Kg/ha.
4. Los suelos andosoles y latosoles en general, presentaron mayores niveles de potasio intercambiable que los correspondientes subsuelos.
5. Los valores de potasio intercambiable en el suelo encontrados usando cualquiera de las tres soluciones extractoras de potasio intercambiable, presentaron buenas correlaciones con los valores de contenido total de potasio en la planta y con los valores de porcentaje de potasio en la planta, pero no con los valores de peso seco de las plantas cosechadas en el invernadero.
6. El nivel de potasio intercambiable en el suelo y subsuelo

determinado con el acetato de amonio parece ser el índice más adecuado de la capacidad de un suelo y subsuelo para su administrar potasio fácilmente aprovechable a la planta durante la primera cosecha.

7. El potasio intercambiable del suelo presentó una buena co-rrelación lineal con el potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico en la primera extracción, pero no con el potasio total extraído con la solución de ácido fluorhídrico: ácido sulfúrico.
8. El contenido de potasio total en los suelos y subsuelos andosoles no viejos y en los suelos y subsuelos aluviales, fué mayor que el contenido de potasio total en los suelos y subsuelos latosoles.
9. Los contenidos de potasio total en los suelos aluviales, andosoles y latosoles variaron de 6000 a 7400 Kg/ha; de 1320 a 32.200 Kg/ha, y de 480 a 3880 Kg/ha respectivamente. Estos niveles en los respectivos subsuelos variaron de 3360 a 9000 Kg/ha; de 2100 a 18.760 Kg/ha y de 180 a 2500 Kg/ha.
10. El potasio total del suelo y del subsuelo no presentó rela-ción lineal al comparársele con el peso seco de la planta, con el contenido total de potasio en la planta y con el por

centaje de potasio en la planta.

11. Los contenidos de potasio no-intercambiable calculados, presentaron las mismas diferencias que el contenido de potasio total para los suelos y subsuelos aluviales, andosoles y latosoles.

12. Los valores de potasio extraído con ácido nítrico normal fueron en general mayores en los suelos y subsuelos aluviales y andosoles que en los suelos y subsuelos latosoles.

Los valores de potasio escalonado en los suelos y subsuelos aluviales y andosoles fueron en general mayores que en los suelos y subsuelos latosoles.

Los contenidos de potasio escalonado en los suelos aluviales, andosoles y latosoles, variaron de 925 a 1175 Kg/ha; de 147 a 2050 Kg/ha y de 78 a 975 Kg/ha respectivamente. En los respectivos subsuelos, los contenidos variaron de 294 a 1450 Kg/ha; de 110 a 1900 Kg/ha y de 13 a 1775 Kg/ha. Los valores de potasio de tasa constante no fueron muy característicos para cada grupo de suelo y subsuelo. Los valores para los suelos aluviales, andosoles y latosoles variaron de 66 a 75 Kg/ha; de 32 a 125 Kg/ha y

de 3 a 175 Kg/ha respectivamente. En los correspondientes subsuelos, estos valores de potasio de tasa constante variaron de 22 a 75 Kg/ha; de 33 a 100 Kg/ha y de 2 a 250 Kg/ha.

13. Se encontraron coeficientes de correlación lineal muy significativos entre el potasio obtenido con el ácido nítrico en la primera extracción y el potasio extraído por la planta en la primera cosecha, tanto en los andosoles como en los latosoles.

14. Las relaciones entre el total del potasio del suelo y el extraído con el ácido nítrico en tres extracciones sucesivas, y el total de potasio extraído por la planta en tres cosechas sucesivas, presentaron coeficientes de co-rrelación lineal muy significativos en los andosoles ($r: 0,994^{***}$) y en los latosoles ($r: 0,840^{**}$). El valor del potasio extraído con ácido nítrico en extracciones sucesivas parece ser un buen índice de la capacidad de abastecimiento de potasio de un suelo.

Los suelos aluviales y andosoles no muy viejos, así como los latosoles contaminados con materiales volcánicos recientes, presentaron índices de alta capacidad de abastecimiento de potasio para las plantas.

15. En el experimento de invernadero con los suelos y subsuelos Birrisito, Colorado y Margot, se encontró que las mayores reducciones del potasio intercambiable ocurrieron durante la primera cosecha, las cuales concordaron con los mayores contenidos de potasio total en las plantas de la primera cosecha.
16. La respuesta de los suelos y subsuelos estudiados al abonamiento al potasio, fue mayor por lo general en los latosoles que en los andosoles y aluviales. Es de ano - tar que muchos de los latosoles no sólo presentaron respuestas al potasio, sino también a otros nutrimentos.
17. En el experimento de invernadero con los suelos y subsuelos Birrisito, Colorado y Margot, un abonamiento de potasio mayor de 2 00 Kg/ha no produjo mayores resultados significativos.
18. El efecto residual del abonamiento de potasio, tanto en los suelos y subsuelos latosoles estudiados, como en los suelos y subsuelos Birrisito, Colorado y Margot, no fue muy variable para todos los suelos y subsuelos. Se encontró que las plantas, en la mayoría de los casos, absorbieron la mayor parte del potasio aplicado en la primera cosecha y en algunos suelos, durante la segunda cosecha;

después el potasio intercambiable en los suelos presentó valores muy bajos en comparación con los valores iniciales y nativos de potasio intercambiable.

19. En algunos de los suelos y subsuelos aluviales, andosoles y latosoles estudiados, la capacidad de liberación de potasio no-intercambiable en las muestras incubadas en húmedo parecieron estar afectadas por esas condiciones. De los resultados encontrados en este estudio, cabe anotar que las condiciones de humedad en estos suelos y subsuelos afectaron las relaciones entre el potasio no-intercambiable aprovechable a las plantas a corto plazo y el potasio no-intercambiable aprovechable a las plantas a largo plazo. Este efecto de las condiciones húmedas en estos suelos y subsuelos tropicales, dependió mucho de la clase y cantidad del mineral potásico del suelo, ya que se encontró que en las muestras de andosoles con materiales volcánicos más frescos, presentaron mayores niveles de potasio no-intercambiable extraído con ácido nítrico que en las muestras de latosoles.

20. El efecto de la humedad y secamiento al aire en los suelos y subsuelos parece afectar también la capacidad de reposición de potasio intercambiable en éstos. Se encontró que el nivel de potasio intercambiable en la segunda

extracción sucesiva fue mayor en los andosoles y aluviales que en los latosoles.

En los tres grupos de suelos y subsuelos, la reducción del potasio intercambiable en la primera extracción sucesiva fue bastante significativa y no se presentó en ninguna de las muestras una recuperación del nivel inicial de potasio intercambiable encontrado. Esto indica que una reducción significativa del potasio intercambiable en estos suelos y subsuelos tropicales bajo cosechas sucesivas, causará un empobrecimiento de la forma de potasio intercambiable, siendo el restablecimiento del nivel original poco posible bajo condiciones de humedad y secamiento en un período muy corto.

21. Los resultados obtenidos en el estudio de la fijación de potasio en los suelos y subsuelos, indican que bajo condiciones de humedad permanente, hubo una fuerte fijación del potasio intercambiable nativo en los suelos con altos niveles de potasio intercambiable (Margot y CR-8) durante el primer mes, pero después parte de ese potasio fijado fue liberado. En el suelo andosol Birrisito, y suelos latosoles CR-12 y Colorado, se presentaron ligeras fijaciones.

Se encontró también que en el subsuelo aluvial Margot y en el subsuelo andosol CR-8, el efecto de la humedad permanente produjo una fuerte fijación de potasio, en tanto que en el subsuelo andosol Birrisito y subsuelos latosoles Colorado y CR-12, cuyos niveles de potasio intercambiables nativos eran bajos, se produjo una liberación de potasio.

→ El efecto de la humedad y del secamiento del suelo al aire atenuó la fijación del potasio intercambiable nativo en los suelos con altos niveles de potasio intercambiable, pero en los suelos con bajos niveles causó una liberación del elemento. En los subsuelos se observaron las mismas tendencias que en los suelos.

→ La fijación del potasio aplicado en las muestras de tratamientos iguales o menores de 100 Kg/ha, presentó igual tendencia a la observada en las muestras de tratamiento de 0 Kg/ha. Se observó que en las muestras de tratamiento de 200 Kg/ha de potasio aplicado, hubo fijación de potasio bajo condiciones de humedad permanente, en todos los suelos y subsuelo. Esto indicó que la fijación del potasio aplicado en estos suelos y subsuelos bajo condiciones húmedas, y para algunos suelos y subsuelos bajo condiciones húmedo-secas, se incrementó con la cantidad

del nivel de potasio aplicado. Se encontró que las aplicaciones de potasio necesarias para satisfacer la capacidad de fijación de potasio aplicado fueron mayores de 200 Kg/ha para el suelo aluvial La Margot y el suelo andosol CR-8; alrededor de 100 Kg/ha para el subsuelo andosol CR-8 y menores de 50 Kg/ha para el suelo y subsuelo andosol Birrisito y los suelos y subsuelos latosoles CR-12 y Colorado.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Alluvial, andosol and latosol soil and subsoil samples were used in this study. The samples were taken in the Guanacaste, Puntarenas, San Isidro del General and the Central plateau areas of Costa Rica (Figure 1).

In this study, different kind of works were carried out: 1) Field work, which includes localization of the area and site of sampling, sampling and description of the soil and subsoil characteristics as well as the sampling area. 2) Greenhouse work, including experimental design, technique to be followed, selection of treatments levels, calculation and preparation of the nutritive solutions, preparation of soil and subsoils, pots; fertilization, seeding and harvest of the tomato plants. 3) Laboratory work, which includes preparation of the samples, pH determination, exchangeable potassium analysis with three extracting solutions, successive extraction of non-exchangeable potassium with nitric acid N, extraction of non-exchangeable potassium with nitric acid N in permanent - wetting incubated samples, successive ex -

traction of exchangeable potassium with two different extracting solutions, extraction of exchangeable potassium in samples incubated under wetting and air-drying conditions, study of the potassium fixation, analysis of total potassium in soils and subsoils, dry weight of plants and analysis of total potassium in plants.

Many of the results obtained with the laboratory methods were correlated with those obtained in the greenhouse experiments in order to evaluate the relationship between the methods.

The following are the conclusions obtained in this study:

1. Ammonium acetate extracted the highest amounts of exchangeable potassium than the Morgan or Mehlich solutions, but the exchangeable potassium obtained with the three extracting solutions showed a good lineal correlation with the total amount of potassium taken by the plant.
2. The levels of exchangeable potassium were not characteristics to any soil group, but the andosols showed the greatest amounts and the latosols the lowest.
3. The amounts of exchangeable potassium (extracted with ammonium solution) in alluvial, andosol and latosol soils ranged from 354 to 987 Kg/ha; from 119 to 1680 Kg/ha and

from 50 to 595 Kg/ha respectively, while the levels in the subsoils showed a variation from 100 to 1134 Kg/ha, from 31,5 to 1470 Kg/ha and from 10 to 250 Kg/ha.

4. The andosol and latosol soils showed the greatest amounts of exchangeable potassium than the respective subsoils.
5. The exchangeable potassium values found in the soil while using any of the three extracting solutions of exchangeable potassium showed good correlations with the values of the total content of potassium in the plant as well as with the percent of potassium in the plant, but not with the values of dry weight in the plants from the green house.
6. The level of exchangeable potassium in soils and subsoils, determined with the ammonium solution, seems to be the best index of the soil and subsoil capacity to supply potassium useful for the plant during the first harvest.
7. The exchangeable potassium in the soil presented a good lineal correlation with the non-exchangeable potassium extracted with nitric acid in the first extraction, but not with the total potassium in the soil extracted with the sulfuric acid solution.

8. Young andosol and alluvial soils showed larger amounts of total potassium content than the latosols.
9. The amounts of total potassium in alluvial, andosols and latosol soils ranged from 6000 to 7400 Kg/ha; from 1320 to 32.200 Kg/ha and from 480 to 3880 Kg/ha respectively. In the subsoils, the respective amounts ranged from 3360 to 9000 Kg/ha; from 2100 to 18.760 Kg/ha and from 180 to 2500 Kg/ha.
10. The total potassium amounts of the soils did not show linear correlations with the potassium used by the plant, the percentage of potassium and the dry weight of the plant.
11. The amounts of non-exchangeable potassium calculated, showed the same differences as the amounts of total potassium in the alluvial, andosol and latosol soils.
12. The amounts of potassium extracted with nitric acid N were in general larger in alluvial and andosol soils than in the latosols.

Values of step potassium in alluvial and andosol soils

were larger than in latosols. The amounts of step potassium in alluvial, andosol and latosol soils ranged from 925 to 1175 Kg/ha; from 1475 to 2050 Kg/ha and from 78 to 975 Kg/ha respectively. The respective amounts in the subsoils ranged from 294 to 1450 Kg/ha; from 110 to 1900 Kg/ha and from 13 to 1775 Kg/ha.

The values of constant rate of potassium were not very characteristics to each group of soils, being the amounts in alluvial, andosol and latosol soils from 66 to 72 Kg/ha, from 32 to 125 Kg/ha and from 3 to 172 Kg/ha respectively. In the respective subsoils, the amounts were from 22 to 75 Kg/ha, from 33 to 100 Kg/ha and from 2 to 250 Kg/ha.

13. Highly significant coefficients of lineal correlation were found for andosols and latosols between the soil potassium extracted with nitric acid in the first extraction and the potassium taken by the plant in the first harvest.
14. Highly significant coefficients of lineal correlation were found between the soil potassium extracted with nitric acid in three successive extractions and the amounts

of potassium taken by the plants in three successive harvest. These coefficients were: $r:0.994^{***}$ for andosols and $r: 0,840^{**}$ for latosols. The values of potassium extracted with nitric acid in successive extractions seems to be a good index of the potassium-supplying capacity of the soil.

Alluvial, andosols nor very old and latosol soils containing fresh volcanic materials showed index of high potassium supplying capacity.

15. Birrisito, Colorado and La Margot soils showed the larger reduction of exchangeable potassium during the first harvest in the greenhouse experiments. Those amounts keeping a close relation with the amounts of the potassium used by the plant in the first harvest.
16. In this soils studied, the latosols showed a better response to potassium applied than the andosol or alluvial soils. It states that many of the andosols did not showed only a good response to potassium but also to other nutrients.
17. In the soils Birrisito, Colorado and La Margot, the amounts

of applied potassium being more than 200 Kg/ha, did not give any significant results during the greenhouse experiments.

18. The residual effect of applied potassium in the latosol soils and subsoils, as well as in the Birrisito, Colorado and La Margot soils and subsoils, did not show any variation. In most of the cases, the plants absorbed the larger amounts of applied potassium during its first harvest and in some soils during the second one. After this second harvest, the soils showed lower values of exchangeable potassium in comparison with the initial and native value of exchangeable potassium.
19. In some of the alluvial, andosol and latosol soils studied here, the release capacity of non-exchangeable potassium in moistured incubated samples seemed to be affected by the wetting conditions. The results obtained with this study indicate that wetting conditions affects the relationship between the non-exchangeable potassium slowly available in plants and non-exchangeable potassium immediately available in plants. The humid conditions in these tropical soils depends of the kind and quantity of the potassium mineral of the soil, since it was found that the andosol samples with fresh volcanic materials showed

larger amounts of non-exchangeable potassium extracted with nitric acid than the latosol samples.

20. Air-drying and wetting conditions seem to affect also the restoring capacity of exchangeable potassium in the soils. It was found that the levels of exchangeable potassium in a second successive extraction was greater in the andosol and alluvial soils than in the latosols.

In the three group of soils, the reduction of exchangeable potassium during the first successive extraction showed significant and none of these soils showed a gain of this initial exchangeable potassium level. This indicates that a significant lost of exchangeable potassium in these tropical soils will cause a lack of the exchangeable potassium form, being impossible to regain its original level under wetting and air-drying conditions in a short period of time.

21. The results obtained in this study regarding the potassium fixation in some soil and subsoils under permanent wetting conditions showed that a strong fixation occurred of the native exchangeable potassium in the soils with high levels of exchangeable potassium (Margot and CR-8) during the

first month, but later, some of that fixed potassium was released. The soils Birrisito (andosol), CR-12 (latosol) and Colorado (latosol) showed very little fixation.

It was also found that the subsoils Margot and CR-8 showed a strong fixation of exchangeable potassium under permanent wetting conditions, while the subsoils Birrisito, Colorado and CR-12 showed a release of potassium.

The effect of wetting and air-drying conditions in the soil samples diminished the fixation of native exchangeable potassium in soils with high levels of exchangeable potassium, but in those soils with low levels, a release of potassium occurred. The subsoils showed a similar tendency. The fixation of applied-potassium in the samples with equal or lower treatments than 100 Kg/ha showed the same tendency than the samples of treatments with 0 Kg/ha.

It was also found that in the soil and subsoil samples that received treatments of 200 Kg/ha, there was a fixation under permanent wetting conditions. This indicates that the fixation of the applied potassium in these soils and subsoils under wetting and wetting air-drying conditions was increased with the amounts of the applied

potassium, and that the amounts of potassium in order to satisfy the fixation-capacity of applied potassium were larger than 200 Kg/ha for alluvial soil La Margot and andosol CR-8; near to 100 Kg/ha for CR-8 and less than 50 Kg/ha for the andosol Birrisito and the latosols CR-12 and Colorado.

LITERATURA CITADA

1. ACQUAYE, D.K., MacLEAN, A.J. y RICE, H.M. Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Science* 103(2):79-89. 1967.
2. AHMAD, N. The potassium status of the inorganic coastal soils of British Guiana. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 40(3):197-203. 1963.
3. ARNOT, G.W. Soil Survey Reports No. 6. The Kelantan deficiency area. *The Malayan Agricultural Journal*. 40 (2) (2):60-91. 1957.
4. ASLANDER, A. y ARMOLIK, N. Influencia que ejercen los materiales orgánicos sobre la fijación de potasio en el suelo. *Boletín de la Corporación Nacional de Fertilizantes (Perú)*. 3(11):12-24. 1965.
5. BARBIER, G. La dynamique du potassium dans le sol. In *Potassium symposium. Ann. Meeting Internat. Potash Inst., Berna (Suiza)*. pp 231-270. 1962.
6. BARSHAD, I. Cation exchange in micaceous minerals: I Replacement of the interlayer cation of vermiculita with NH_4 and K-ions. *Soil Science* 77(6):463-467. 1954.
7. _____ . Cation exchange in micaceous minerals: II Replaceability of ammonium and potassium from vermiculita, biotita and montmorillonite. *Soil Science* 78(I): 57-76. 1954.
8. BINNIE, R.R. y BARBER, S.A. Contrasting release characteristics of potassium in alluvial and associated upland soils of Indiana. *Soil Science Society of American Proceedings*. 28:387-390. 1964.

9. BLANCHET, R. y PERIGAUD, S. Notes analytiques sur l'appréciation du Niveau des reserves potassiques des sols; possibilité d'utilisation d'test Morgan-Barbier amélioré. Annales Agronomiques (Paris) 11(3):347 - 355. 1960.
10. BORNEMISZA, S.E. Acidez, contenido de potasio y materia orgánica de algunos suelos de Costa Rica. Laboratorio Químico de Investigaciones Agrícolas. Ministerio de Agricultura e Ind. STICA. San José, Costa Rica. Informe poligrafiado No. 59-2. 1959. 18p.
11. . La solución extractora y la humedad en relación con el potasio intercambiable; experiencias en un suelo aluvional de Costa Rica. Turrialba 10(1):35-39. 1960.
12. BRANNOCK, W.W. y BERTHOLD, S.M. The determination of sodium and potassium in silicate rocks by flame photometer. U.S. Geological Survey Bulletin 992. 1953. pp. 1-14.
13. BRAVO, O. Métodos químicos para determinar el poder suministrador de potasio de los suelos. Tesis. San José de Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 1959. 67 p. (mimeografiado).
14. BUCKMAN, H.O. y BRADY, N.C. The nature and properties of soils. 6th ed. New York, MacMillan, 1960. 567 p.
15. BURNS, F.A. y BARBER, S.A. The effect of temperature and moisture of exchangeable potassium. Soil Science Society of American Proceedings 25:349-352. 1961.
16. CATE, R.B. y NELSON, L.A. Un método rápido para correlación de análisis de suelos con ensayos de fertilización. North Carolina State University. International Soil Testing Tech. Bul. No. 1. 24 p. 1965.
17. CHANG, S.C. y FENG, M.P. Potasio intercambiable y no-intercambiable en los principales suelos dedicados a cultivos en Formosa. Revista de la Potasa, Berna (Suiza) 4(28):1-11. 1961.
18. CHAPMAN, D.H. y PRATT, P.F. Methods of analysis for soils, plants and waters. California University, Division of Agriculture Sciences. 1961. 309 p.

19. CHAVES, R. Estudio preliminar sobre fijación de potasio en suelos de la serie 10. Boletín Informativo Cenicafé (Colombia) 2(21):28-33. 1951.
20. CORREA, J. Estudio comparativo de la fertilidad de seis series de suelos de Colombia bajo condiciones de invernadero. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 1(2): 61-98. 1957.
21. COOK, M.G. y HUTCHENSON, T.B. Jr. Soil potassium reactions as related to clay mineralogy of selected Kentucky soils. Soil Science Society American Proceedings 24:252-256. 1960.
22. DEMUMBRUM, L.E. Potassium fixation as affected by mineralogy in some soils derived from argillaceous chalk. Soil Science 86(5):276-281. 1958.
23. DENGÓ, G. Estudio geológico de la región de Guanacaste. Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Obras Públicas, Instituto Geográfico de Costa Rica, 1962. 121 p.
24. DONDOLI, C. La región del General: Condiciones geológicas y geo-agronómicas de la zona. Revista del Instituto de Defensa del café de Costa Rica. 13(6):513-538 1943.
25. _____ y TORRES, J.A. Estudio geo-agronómico de la región oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 1954. 180 p.
26. DOWDY, R.H. y HUTCHENSON, T.B. Jr. Effect of exchangeable potassium level and drying on release and fixation of potassium by soils as related by clay mineralogy. Soil Science Society American Proceedings. 27: 31-34. 1963.
27. DROSDOFF, M. y PEARSON, R.W. Soil and leaf analysis in relation to abacá production in Central America. IICA y USDA. Turrialba, Costa Rica, Abaca Research Report No. 5. 1951. 25 p (Mimeografiado).
28. FENG, M.P. y CHANG, S.C. La fijación, acumulación y extracción del potasio en suelos arroceros de tierra baja. Revista de La Potasa(Suiza) 4(34):1-8. 1965.

29. FINCK, A. Kalium status of some sudan clay soils. *Plant and Soils (Holanda)* 16(3):293-311. 1962.
30. FREITAS, L.M. De, McCLUNG, A.C. y PIMENTAL, F. Determinación de las zonas de déficit potásico para el cultivo del algodón. *Fertilité* No. 26:37-47. 1966.
31. GARMAN, W.L. Potassium release characteristics of several soils from Ohio and New York. *Soil Science Society of America Proceedings* 21:52-58. 1957.
32. GODEFROY, J. y MULLER, M. Estudio sobre la fijación del potasio en diferentes suelos de plantaciones de bananeros. *Revista de la Potasa (Suiza)* 4(40):1-5. 1967.
33. GONZALEZ, A. Algunas observaciones sobre suelos de la vertiente del río Atrato y sus análisis químicos. *Acta Agronómica (Colombia)* 8:143-165. 1958.
34. GREWELING, T. y PEECH, M. Chemical soil tests. Ithaca, N.Y. Cornell University Agricultural Experiment Station. Bulletin 960. 1965. 59 p.
35. GRISALES, G.A. Las rocas ígneas en la formación de dos series de suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé (Colombia)* 15(1):18-25. 1964.
36. GRISSINGER, E. y JEFFRIES, C.D. Influence of continuous cropping on the fixation and release of potassium in the Pennsylvania soils. *Soil Science Society of American Proceedings* 21:400-412. 1957.
37. HANWAY, J.J. y SCOTT, A.D. Soil potassium moisture relations: II Profile distribution of exchangeable K in Iowa soils and influenced by drying and rewetting. *Soil Science Society America Proceedings* 21:501-504. 1957.
38. HARDY, F. Relatorio sobre os solos da bacia do reconcavo. Bahia, Brasil. Sumario, conclusoes e recomendacoes. IICA Turrialba, Costa Rica. IICA-I-14. 1958. 19 p.
39. _____ . Report on a visit to the riverine belt of Ecuador, IICA, Turrialba, Costa Rica, Report No. 37:1960. 102 p.
40. _____ . The soils of the IAIAS area, Turrialba (Costa Rica) Cacao Center IAIAS, Turrialba, 1961. 75 p (Miemo-grafiado).

41. HARDY, F. Problemas de fertilización en el campo cerrado de la parte central oriental del Brasil. Turrialba (Costa Rica) 12(3):128-133. 1962.
42. HAYLOCK, O.F. A method for estimating the availability of non-exchangeable potassium Rappports Vith International Congress Soil Science (Paris) B. 403-408. 1956.
43. HOGG, D.E. El reparto de potasio accesible en los suelos. Revista de la Potasa (Suiza) 5(11):1-11. 1958.
44. HUNTER, A.H. Phosphorus and potassium fixation studies to be used as guide in soil testing recommendations. (Mimeografiado). 1959. 10p.
45. JACKSON, M.L. Soil Chemical Analysis. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, 1958. 498 p.
46. JONAS, J.L. Efecto de la humedad y el secado de la capacidad de fijación y abastecimiento de potasio en catorce suelos de Panamá, incubados por tres y cinco meses. Tesis Ing. Agr. Panamá, Escuela de Agronomía, 1967. 70 p.
47. JONES, J.B. et al Effect of drying some soils upon soil test for potassium. Soil Science Society America Proceedings 25:123-125. 1961.
48. KEE, S.Ng. The potassium status of some malayan soils. The Malaysian Agricultural Journal 45(2):143-161. 1965.
49. KELLOG, C.E. y DAVOL, F.D. An exploratory study of soil groups in the Belgian Congo. Institut National pour l'etude agronomique du Congo Belge. Serie scientifique No. 46. 73 p. 1949.
50. KOLTERMAN, D.W. y TRUGG, E. Determination of fixed soil potassium. Soil Science Society America Proceedings 17:347-351. 1953.
51. LAWTON, J. Composicion química de los suelos. In F.E. Bear. Química de Suelos. Traducción de la 3a. ed. inglesa por J. de la Rubia Pacheco. Madrid, Ediciones Interciencia, 1963. pp. 63-100.
52. LEITON, J.S. y SAENZ, R. Estudio semidetallado de suelos de la región comprendida entre los ríos Barranca y Lagarto. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias. Depto. de Conservación de Suelos. Boletín Técnico No. 24: 70. 1958.

53. LEON SARMIENTO, A. Estudio químico y mineralógico de diez suelos colombianos. *Agricultura Tropical (Colombia)* 20:442-451. 1964.
54. _____ y GARCÍA, P.C. Estudios de los suelos de la granja "El Placer", Popayán. *Agricultura Tropical (Colombia)* 19:340-354. 1963.
55. LOPEZ, A.M. Los análisis del suelo como ayuda en la valoración de la capacidad de un medio ecológico para el desarrollo del café. *Cenicafé, Chinchiná (Colombia)* 14(3):171-186. 1963.
56. LOPEZ, C.A. Identificación y clasificación de los minerales de arcilla presentes en nueve suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. Laboratorio de Investigaciones Agronómicas. 1963. 56 p.
57. LUEBB, R.E. Liberación por medio de desecación del potasio no intercambiable del suelo. *Revista de la Potasa (Suiza)* 4(6):1-3. 1957.
58. MAREL, H.W. Van Der y VENKAMP, J.T.N. La fijación del potasio en los suelos holandeses. *Revista de la Potasa (Suiza)* 4(15):1-6, 1956.
59. MARIN, M.G., McCLUNG, A. y LUENGA, V.A. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. Palmira, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1964. 20 p.
60. MARTINI, J.A. Chemical, mineralogical and physical properties of seven surface soils from Panama with special reference to cation exchange capacity and potassium status. Ph.D. Thesis. Ithaca, New York, Cornell University, 1966 (mimeografiada) 190 p.
61. _____. Caracterización del estado de potasio en seis suelos de Panamá. *Fitotecnia Latinoamericana, Turrialba, Costa Rica.* 3(1-2):163-186. 1966.
62. _____. Principales grandes grupos de suelos de América Central y de México. *Fitotecnia Latinoamericana.* 4(1):57-79. 1967.

63. MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na y NH by North Carolina Soil Testing Laboratory, Mimeo No.1953 (original no consultado, citado en Fitts, J.W. et al, Soil Tests, compared with field, greenhouse and laboratory results.). North Carolina Agricultural Experiment Station, Tech. Bull. 121, 1956. p 6.
64. METSON, A.J. Algunos factores que afectan el estado del potasio en los suelos de Nueva Zelanda. Revista de la Potasa (Suiza) 4(24):1-12. 1960.
65. MILLAR, C.E., TURK, L.M. y FOTH, H.D. Fundamentals of soil science. 2^{da} ed. New York, Willey, 1965. 491 p.
66. MOHR, E.C.J. and Van BAREN, F.A. Tropical soils: a critical study of soil genesis as related to climate, rock and vegetation New York, Interscience 1954. 496 p.
67. MOORMANN, F.R. y PANABROKKE, C.R. Soils of Ceylon: a new approach to the identification and classification of the most important soil groups of Ceylon. Tropical agriculturists (Ceylon) 117(1):1-73. 1961.
68. MORENO G., R. Algunos aspectos de la fertilización en cacao (Theobroma cacao L.) con observaciones preliminares sobre una respuesta a la aplicación de tres elementos mayores al suelo. Acta agronómica (Colombia) 15(1-4): 59-107. 1965.
69. MORTLAND, M.M. Influence of some organic salts on the adsorption of potassium by vermiculite. Nature 192: 481-482. 1961.
70. _____, LAWTON, K. y UEHARA, G. Fixation and release of potassium by some clay minerals. Soil Science Society America Proceedings 21(4): 381-384. 1957.
71. MOSS, P. y COULTER, J.K. The potassium status of West Indian volcanic soils. Journal Soil Science 15:284-299. 1964.
72. NELSON, L.E. A comparison of several methods of evaluating the potassium status of some Mississippi soils. Soil Science Society American Proceedings 23:313-316. 1959.
73. PARRA, J. Los suelos del Quindío, propiedades físicas, químicas y fertilidad. Cenicafé (Colombia) 11(11):323-355. 1960.

74. PEARSON, R.W. Potassium-supplying power of eight Alabama soils. *Soil Science* 74(4):301-300. 1952.
75. PEECH, M. y ENGLISH, L. Rapid microchemical soil tests. *Soil Science* 57:167-195. 1944.
76. PIEDRAHITA P., S. y BENAVIDES, G. de. Distribución y formas de potasio en algunos suelos de Colombia. *Agricultura Tropical (Colombia)* 22(4):183-189. 1966.
77. POPE, A. y CHENEY, H.B. The potassium supplying power of several western Oregon soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 21:75-79. 1957.
78. PRATT, P.F. Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. *Soil Science* 72: 107-117. 1951.
79. _____. Release of potassium from non-exchangeable forms from size fraction of several Iowa soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 16:25-29. 1952.
80. _____. Potassium. In Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1022-1030.
81. RAJANI, H.J. Recovery of potassium added to soil acidoids of black, red, laterite and alluvial soils of western India. *Indian Journal of Agricultural Science*. 36(1):40-48. 1966.
82. RAMIREZ, R.G. Bases de cambio extraídas por ácido clorhídrico N/10 y acetato de amonio en suelos del Valle. *Acta Agronómica (Colombia)* 1(11):51-56. 1950.
83. REITEMEIER, R.F. The Chemistry of Soil Potassium. *Advances of Agronomy* 3:113-164. 1951.
84. RICH, C.I. y BLACK, W.R. Potassium exchange of affected by cation size, pH and mineral structure. *Soil Science* 97(6):384-390. 1964.
85. RICO, M.A. Característica de un gran grupo de suelo latosol arcillo-rojizo de El Salvador. El Salvador, Ministerio de Agricultura y Ganadería. *Agricultura en El Salvador* 5(1):16-19. 1964.

86. RODRIGUEZ, M. y BAIRD, G. Fertilización del maíz en el Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas "Tulio Ospina". *Agricultura Tropical (Colombia)* 19(3):138-148. 1963.
87. ROJAS, L.A. Nivel de fertilidad de los suelos irrigados por el río Saldaña, Bogotá, Colombia. Laboratorio Químico Nacional. Ministerio de Minas y Petróleo, Boletín No. 2, 1955. pp 9-20.
88. RUSSELL, E.W. The effect of soil forming factors on the potassium content of soils. Potassium symposium. Zurich. International Potash Institute, 1954. pp 199-205.
89. SAENZ M., A. Anotaciones sobre el origen de formación y desarrollo de los suelos de la región de Palmares y sus alrededores. *Revista de la Universidad de Costa Rica*. No. 4:287-296. 1949.
90. _____ . Suelos volcánicos cafeteros de Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica. Serie Agronómica No. 6, Vol. 1, 1966. 356 p.
91. SCHAUFELBERGER, P. La arcilla de los suelos tropicales. Chinchiná, Colombia, Boletín Técnico CNIC 1(5):29-46. 1951.
92. _____ . Apuntes geológicos y pedológicos de la zona cafetera de Colombia: genética y clasificación de los suelos tropicales. Chinchiná, Colombia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, CENICAFE, 1962. Vol. 1, 238 p.
93. SCHEFFER, F. y SCHACHTSCHABEL, P. Los elementos nutritivos para las plantas en el suelo: el potasio. In *Libro de pedología*, 6a. ed. rev. Stuttgart, Edit. Fernando Enke, 1966. 478 p. (Original no consultado; tomado de *Revista de la Potasa (Suiza)* 4(37):1013, 1967).
94. SCHUFFELEN, A.C. y KOENINGS, F.F.R. Plant nutrients in soils of different genesis. *Transactions Joint Meeting Comm. IV-V. International Society Soil Science New Zealand*. 105-120. 1962.
95. SCOTT, A.D., AHLRICHS, J.L. y STANFORD, G. Aluminum effect on potassium fixation by Wyoming bentonite. *Soil Science* 84(5):377-387. 1957.

96. SCOTT, A.D., HANWAY, J.J. y STICKNEY, E.M. Soil potassium moisture relations: I Potassium release on drying Iowa soils with added salts or HCl. Soil Science Society America Proceedings 21:498-501. 1957.
97. SEN, A.T., DEB, B.C. y BOSE, S.K. Potassium status and availability to crops of non-exchangeable potassium in some indian red and laterite soils. Soil Science 68:291-305. 1949.
98. SHAPIRO, L. y BRANNOCK, W.W. Rapid analysis of silicate, carbonate and phosphate rocks. U.S. Geological Survey Bulletin 1144-A. 1962. 56 p.
99. SILVA M., J. Estudio químico y biológico de los suelos de Santander, Bogotá, Colombia, Laboratorio Químico Nacional. Ministerio de Minas y Petróleos, Boletín No.3 1957. 106 p.
100. STANTON, D.A. y ORCHARD, E.D. Evaluation of the potassium-supplying power of soils. S. African Journal Agriculture Science 6:249-260. 1963.
101. SUAREZ DE CASTRO, F. Las quemas como práctica agrícola y sus efectos. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Chinchiná, Colombia. Boletín Técnico V. 2, No. 18. 1957. 34 p.
102. SUTTON, P. y SEAY, W.A. Relationship between the potassium removed by millet and red clover and the potassium extracted by 4 chemical methods from Kentucky soils. Soil Science Society America Proceedings 22:110-115, 1958.
103. TINCKNELL, R.C. y LOPEZ, R.J. La fijación de potasio en algunos suelos venezolanos. Revista de la Potasa. Berna (Suiza) 4(29):1-9, 1962.
104. TISDALE, L.S. y NELSON, W.L. Soil Fertility and Fertilizers. 2nd ed. New York, Mac Millan, 1966. 694 p.
105. TUCKER, B.M. The solubility of potassium from soil illites. Part III. Australian Journal of Soil Research 2(1): 67-75. 1964.
106. U.S.D.A. Soil Survey Manual. USDA and Soil Survey Staff. Washington D.C. US Government Printing Office (USDA Handbook No.18) 1962. 503 p.

107. VAGELER, P. Algunas observaciones acerca del régimen potásico de los suelos tropicales áridos. *Revista de la Potasa* (Suiza). 4(14):1-6. 1954.
108. VARGAS, O. y TORRES, J.A. Estudio preliminar de suelos de la región occidental de la Meseta Central. Ministerio de Agricultura e Industrias. San José (Costa Rica) Boletín Técnico No. 22. 1958. 64 p.
109. VENEMA, K.C.W. Some observations on yield depressions caused by normal fertilizers dressings. Part I. Potash and Tropical Agriculture (Holanda) 3(3):35-52. 1960.
110. _____ . Some observations on yield depression caused by normal fertilizers dressings. Part III. Potash and Tropical Agriculture (Holanda) 4(1):4-18. 1961.
111. _____ . Some notes regarding the nitrate and ammonia content of tropical rains and that of a number of tropical soils. Part I. Potash and Tropical Agriculture (Holanda) 4(2):20-39. 1961.
112. _____ . Some notes regarding the nitrate and ammonia content of tropical rains and that of a number of tropical soils. Part II. Potash and Tropical Agriculture (Holanda) 4(3):40-55. 1961.
113. _____ . Some notes regarding the nitrate and ammonia content of tropical rains and that of a number of tropical soils. Part III. Potash and Tropical Agriculture (Holanda) 5(2):25-41. 1962.
114. WEIR, C.C. The phosphorus and potassium status of some Trinidad soils. *Tropical Agriculture* (Trinidad) 43(4): 315-321. 1966.
115. WELCH, L.F. y SCOTT, A.D. Availability of non-exchangeable soil potassium to plants as affected by added potassium and ammonium. *Soil Science Society America Proceedings* 25:102-104. 1961.
116. WIKLANDER, L. Forms of potassium in the soil. In Potassium symposium. Zurich, International Potash Institute 1954. pp 109-121.

117. WIKLANDER, L. El potasio en los suelos cultivados de la provincia de Skane (Suecia). Revista de la Potasa (Suiza) 5(18):1-21. 1961.
118. WILLIAMS, D.E. y JENNY, H. The replacement of non-exchangeable potassium by various acids and salts. Soil Science Society America Proceedings 16:216-221. 1952.

A P E N D I C E

MUESTRAS	Crecimiento de la planta (b)	Síntomas de deficiencia de K (c)	Contenido de K en la planta	en el suelo	Crecimiento de la planta	Síntomas de deficiencia de K	Contenido de K en la planta	en el suelo
Aluviales:								
CR-42	1	A	348,5	987,0	1	A	268,2	1134,0
Andosoles:								
CR-6	1	A	61,3	119,0	1	A	24,0	91,0
CR-7	1	A	204,4	609,0	1	A	231,0	1050,0
CR-8	1	A	270,9	924,0	1	A	62,0	224,0
CR-9	1	A	224,1	791,0	1	A	159,7	630,0
CR-10	1	A	263,6	680,0	1	A	189,3	1470,0
CR-11	1	A	42,3	494,0	1	A	44,0	301,0
CR-29	1	A	63,1	224,0	-	-	-	-
CR-35	1	A	120,0	379,7	2	B	16,1	91,0
CR-36	1	A	42,9	147,0	1	A	34,3	80,5
CR-37	1	A	42,0	178,5	2	B	3,4	101,5
CR-39	1	A	133,6	406,0	-	-	-	-
CR-40	2	B	164,6	574,0	2	B	174,2	777,0
CR-41	1	A	295,3	672,0	1	A	154,7	350,0
Latosoles								
CR-12	1	B	18,2	69,0	2	B	12,3	25,0
CR-15	1	B	14,5	129,0	2	B	10,6	27,0
CR-16	1	A	127,2	386,7	1	A	46,5	171,0
CR-17	1	A	35,3	131,0	2	B	8,3	59,5
CR-23	2	B	7,5	106,4	3	C	1,6	91,0
CR-25	1	A	57,0	199,5	2	B	17,1	56,0
CR-27	1	A	121,0	252,0	2	B	14,4	63,0
CR-28	1	A	88,5	227,0	2	B	11,0	94,0
CR-31	2	B	46,5	164,5	3	C	12,0	70,0
CR-32	3	C	40,3	143,5	3	C	3,9	101,5
CR-33	1	B	62,8	266,0	3	B	8,6	171,5
CR-34	2	C	27,0	246,4	3	C	16,2	120,7
CR-38	1	A	103,9	332,5	1	A	115,5	364,0
CR-43	2	B	11,9	101,5	3	C	3,2	61,2
CR-44	1	A	55,6	239,7	1	A	41,3	151,9
CR-45	1	A	21,4	108,5	2	B	6,1	49,0
CR-46	2	B	8,1	77,0	3	C	1,7	42,0

(a) Tratamiento K_0 : aplicación de todos los nutrientes excepto K

(b) Crecimiento: 1 normal, 2 regular, 3 malo

(c) Sintoma de deficiencias de K en la planta. AUNO se presentó B...



