

PRUEBA DE LA FERTILIDAD DE CUATRO TIPOS DE SUELO  
DE LA FINCA EXPERIMENTAL "LA LOLA"

Por

Jorge Aníbal Flor Irigoyen

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A.  
Centro Tropical de Investigación y Enseñanza para Graduados  
Departamento de Fitotecnia y Suelos

Turrialba, Costa Rica

Febrero de 1963

PRUEBA DE LA FERTILIDAD DE CUATRO TIPOS DE SUELO  
DE LA FINCA EXPERIMENTAL "LA LOLA"

Tesis

Sometida al Consejo de Estudios Gradandos  
como requisito parcial para optar el grado

de

Magister Agriculturae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

APROBADO

<u>F. Hardy.</u>	Consejero
<u>Miller</u>	Comité
<u>Callanado</u>	Comité

Febrero de 1963

A mi abnegada esposa

A mi hijo Iván

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su sincero agradecimiento a la Organización de Estados Americanos, por haberle otorgado la beca para realizar estudios postgraduados en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, en Turrialba, Costa Rica.

A los señores miembros del Comité de Consejeros: Profesor Frederick Hardy, Dr. Ludwig Müller e Ing. Edilberto Camacho, por la constante ayuda, guía, orientación y estímulo durante todo el transcurso de la investigación.

Al Ing. Gilberto Pérez B., por su valiosa colaboración en la interpretación estadística de los resultados obtenidos en el ensayo experimental.

A los señores Ing. Francisco Carvajal y Lic. Alejandro Acevedo del Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, por las facilidades brindadas en la ejecución de los análisis químicos.

A los Ings. Marcial Machicado y Rufo Bazán, señores Alfredo Paredes y Eduardo Tencio, por la valiosa cooperación en el desarrollo del trabajo experimental.

A las señoritas Peggy Brons y Nora Quintana, por la ayuda y dirección en el mecanografiado de esta tesis.

A los compañeros de estudio, al personal del Departamento de Fitotecnia y Suelos y a todas aquellas personas, que en una u otra forma prestaron su gentil colaboración para llevar a cabo el presente trabajo.

De un modo especial al Ing. Gerardo Naranjo, Secretario de Enseñanza del I.I.C.A., quien con su estímulo y cooperación, hizo posible la feliz culminación de esta tarea.

## BIOGRAFIA

Jorge Aníbal Flor Irigoyen nació en la ciudad de Quito, Provincia del Pichincha, Ecuador, el 14 de mayo de 1931.

Realizó sus estudios primarios en el Colegio "La Salle" y Escuela Municipal "Espejo" y los secundarios en el Instituto Nacional "Mejía" de Quito.

En 1951 ingresó a la Facultad de Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria de la Universidad Central de Quito, finalizando sus estudios universitarios en el año 1956. Optó el título de Ingeniero Agrónomo en el año 1960.

De 1956 a 1958 desempeñó el cargo de Profesor de Ciencias Naturales en el Instituto Nacional "Mejía" y Colegio "Alemán" de Quito.

De 1958 a 1959 trabajó como Asistente en el Departamento de Mecanización Agrícola del Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura en Guayaquil.

De 1960 a 1961 desempeñó el cargo de Profesor Asistente de Ciencias Naturales en el Instituto Nacional "Mejía" de Quito.

El 3 de junio de 1961 ingresó al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., Turrialba, Costa Rica, como estudiante graduado del Departamento de Fitotecnia y Suelos, egresando en marzo de 1963 con el grado de "Magister Agriculturae".

## CONTENIDO

Página

Lista de Cuadros .....	viii
Lista de Gráficos .....	x
I. INTRODUCCION .....	1
II. REVISION DE LA LITERATURA .....	3
III. MATERIALES Y METODOS .....	13
A. Características del ensayo .....	13
1. Unidad experimental .....	13
2. Plantas indicadoras .....	14
3. Soluciones nutritivas .....	14
4. Tipos de suelo .....	15
5. Plan del experimento .....	17
6. Dosificación y aplicación de sustancias nutritivas .....	17
B. Conducción del ensayo y recolección de informaciones .....	19
1. Siembra .....	19
2. Cuidados .....	19
3. Cosecha y mediciones .....	20
C. Análisis de suelo .....	20
IV. RESULTADOS .....	22
1. Análisis físicos .....	22
2. Análisis químicos .....	22
3. Análisis biológicos .....	26
a. Rendimiento relativo .....	26
a <sub>1</sub> . Suelo .....	26
a <sub>2</sub> . Subsuelo .....	31
b. Análisis e interpretación estadística .....	37
b <sub>1</sub> . Suelo: .....	37
Arroz .....	37
Tomate .....	42
b <sub>2</sub> . Subsuelo: .....	48
Arroz .....	48
Tomate .....	53
c. Consideraciones relativas a la Ley de Mitscherlich .....	59
4. apreciación cualitativa visual de las deficiencias .....	68
a. Deficiencias observadas en arroz y tomate cultivados en suelos .....	68
b. Deficiencias observadas en arroz y tomate cultivados en subsuelos .....	69

V. COMENTARIO .....	71
VI. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	79
SUMMARY AND CONCLUSIONS .....	81
VII. LITERATURA CITADA .....	83
APENDICE <u>a</u> .....	87
APENDICE <u>b</u> .....	92

## LISTA DE CUADROS

No.	Página
1. Combinaciones y cantidades totales de soluciones nutritivas en mililitros por maceta (750 gramos de suelo o subsuelo).....	18
2. Dosificaciones totales por acre, hectárea y por maceta de las sustancias nutritivas aplicadas.....	19
3. Análisis físico y químico de los suelos.....	23
4. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de parte aérea del arroz cultivado en suelo.....	27
5. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de parte aérea del tomate cultivado en suelo.....	27
6. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de las raíces del arroz cultivado en suelo.....	28
7. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de las raíces del tomate cultivado en suelo.....	28
8. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de parte aérea del arroz cultivado en subsuelo.....	32
9. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de parte aérea del tomate cultivado en subsuelo.....	32
10. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de las raíces del arroz cultivado en subsuelo.....	33
11. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de las raíces del tomate cultivado en subsuelo.....	33
12. Análisis de la variación del peso fresco (en gramos) de parte aérea del arroz cultivado en suelo.....	38
13. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de parte aérea del arroz cultivado en suelo.....	39
14. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de raíces del arroz cultivado en suelo.....	40
15. Análisis de la variación de la altura (en cm.) del tallo del arroz cultivado en suelo.....	41



No.	Página
16. Análisis de la variación del peso fresco (en gramos) de parte aérea del tomate cultivado en suelo.....	43
17. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de parte aérea del tomate cultivado en suelo.....	44
18. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de las raíces del tomate cultivado en suelo.....	45
19. Análisis de la variación de la altura (en cm.) del tallo del tomate cultivado en suelo.....	46
20. Análisis de la variación del peso fresco (en gramos) de parte aérea del arroz cultivado en subsuelo.....	49
21. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de parte aérea del arroz cultivado en subsuelo.....	50
22. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de las raíces del arroz cultivado en subsuelo.....	51
23. Análisis de la variación de la altura (en cm.) del tallo del arroz cultivado en subsuelo.....	52
24. Análisis de la variación del peso fresco (en gramos) de parte aérea del tomate cultivado en subsuelo.....	54
25. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de parte aérea del tomate cultivado en subsuelo.....	55
26. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de las raíces del tomate cultivado en subsuelo.....	56
27. Análisis de la variación de la altura (en cm.) del tallo del tomate cultivado en subsuelo.....	57
28. Estimación del requerimiento en nitrógeno asimilable para los 4 tipos de suelo.....	62
29. Estimación del requerimiento en fósforo asimilable para los 4 tipos de suelo.....	62
30. Estimación del requerimiento en potasio asimilable para los 4 tipos de suelo.....	63

## LISTA DE GRAFICOS

No.	Página
1. Rendimiento relativo en peso seco de la parte aérea, plantas de arroz y tomate cultivadas en suelo.....	29
2. Rendimiento relativo en peso seco de las raíces, plantas de arroz y tomate cultivadas en suelo.....	30
3. Rendimiento relativo en peso seco de la parte aérea, plantas de arroz y tomate cultivadas en subsuelo.....	34
4. Rendimiento relativo en peso seco de las raíces, plantas de arroz y tomate cultivadas en subsuelo.....	35
5. Curvas de respuestas al nitrógeno (suelo).....	64
6. Curvas de respuestas al nitrógeno (subsuelo).....	64
7. Curvas de respuestas al fósforo (suelo).....	65
8. Curvas de respuestas al fósforo (subsuelo).....	65
9. Curvas de respuestas al potasio (suelo).....	66
10. Curvas de respuestas al potasio (subsuelo).....	66

## I. INTRODUCCION

Para evaluar la capacidad productiva de un suelo, se utilizan numerosos métodos. Por muchos años los análisis químicos y físicos, así como los métodos fisiológico-químicos, han sido los más importantes para el estudio de la fertilidad. Simultáneamente aparecieron los métodos biológicos, difundándose ampliamente el uso de macetas con pequeños volúmenes de suelo y plantas indicadoras, bajo condiciones de invernadero, los cuales permiten ampliar los conocimientos sobre la variabilidad del suelo como factor del crecimiento de las plantas.

En la prueba biológica la planta actúa como agente extractor de substancias nutritivas. El bajo nivel de elementos esenciales en el suelo, se traduce en deficiencias que se manifiestan cualitativamente en el ritmo de crecimiento de la planta y en el peso seco de la misma al momento de la cosecha. A menudo los síntomas visibles que presentan las plantas por efecto de las deficiencias de elementos nutritivos, son lo suficientemente conspicuos para permitir apreciar las diferencias a que dan lugar los diferentes tratamientos.

Teniendo en mente lo anterior, se llevó a cabo un ensayo biológico con cuatro tipos de suelo representativos de la Finca Experimental "La Lola", utilizando tomate y arroz como plantas indicadoras.

Los objetivos principales del presente trabajo fueron:

1. Observar la respuesta de dos plantas indicadoras a la aplicación de varios fertilizantes, a fin de evaluar cuantitativamente la variabilidad en la fertilidad de los cuatro tipos de suelo bajo estudio.

2. Comparar los resultados del análisis químico de esos suelos con los del ensayo biológico.
3. Determinar qué fertilizantes, y en qué dosis, es necesario agregar a esos suelos para obtener una producción satisfactoria.

## II. REVISION DE LA LITERATURA

Boussingault (5) inició en 1838 la técnica de los experimentos en macetas bajo condiciones controladas. Posteriormente gran número de seguidores han efectuado trabajos de investigación del estado de fertilidad de los suelos, y han introducido ciertas modificaciones al método original. Así, la selección de plantas indicadoras, forma y tamaño de macetas, volumen de suelo, fuentes y métodos de aplicación de los elementos nutritivos, datos para la interpretación de los ensayos, varían conforme a los puntos de vista de los diferentes autores.

Hay abundante literatura sobre ensayos biológicos bajo condiciones de invernadero. En muchas de las publicaciones consultadas, los trabajos de invernadero se han acompañado con experimentos en el campo, y con análisis químicos del suelo, como pruebas complementarias para el diagnóstico de la capacidad nutricional de los suelos investigados. A continuación anotamos algunos de los trabajos experimentales más importantes efectuados hasta esta fecha en diferentes partes del mundo.

Mc Donald (29) hizo en Trinidad una prueba con tres tipos de suelo, con el fin de determinar si existía deficiencia de fósforo. Como planta indicadora utilizó el tomate. Los resultados indicaron que los suelos eran deficientes en P disponible, tal como lo había indicado el método analítico de Truog.

Hardy y Harper (18) trabajando también en Trinidad, aplicaron métodos químicos y la técnica de Mitscherlich para evaluar la fertilidad de un suelo de Rendzina y de su subsuelo calcáreo. Como planta indicadora usaron el pasto Sudan (Andropogon sorghum). Los resultados del ensayo de

macetas indicaron que el suelo y el subsuelo eran deficientes en N y P, y muy ligeramente en K. Los análisis químicos no concordaron con los resultados obtenidos en el ensayo en cuanto al suelo, pero en cambio mostraron una relativa similitud con respecto al subsuelo.

Hardy, Harper y Cripps (17) realizaron ensayos sobre muestras de suelos ferruginosos de los Estados de Ben Lomond y de Hermitage, Trinidad. En el primero de esos lugares investigaron el P y el K, utilizando pasto Sudán, y en el segundo evaluaron el N, usando como plantas indicadoras pasto Sudán y lino (Linum usitatissimum). Pudieron comprobar que ninguno de los dos suelos era deficiente en K, pero sí sumamente bajos en P disponible. La muestra de Hermitage era también deficiente en N asimilable. En todas las muestras el P se encontraba fijado e insoluble presumiblemente bajo la forma de fosfato de hierro. Los <sup>?</sup>elementos que parecían hacer falta principalmente en los suelos rojos de Lomond y otros de la misma clase eran cal y fosfato.

Hardy y Jordán (19) usaron pasto Sudán para estudiar el estado de fertilidad de tres tipos de suelo pertenecientes al distrito Las Lomas (Norte de Trinidad). Del análisis del rendimiento relativo de la materia seca concluyeron que los tres suelos ("Sangre Grande Silty Clay"; "Piarco Sand" y "Arena Sand"), mostraban marcada deficiencia de P disponible, y de N y K únicamente los suelos arenosos. También indicaron que los tres suelos necesitaban cantidades altas de cal, especialmente los arcillo-limosos.

Hardy (13) en una serie de muestras (suelo y subsuelo profundo), representativas de 13 tipos de suelo de las Antillas Menores y de Barbadas,

usó el tomate para estudiar la deficiencia de fósforo. Los análisis de laboratorio y los ensayos en macetas confirmaron que la mayor parte de las muestras eran deficientes en P disponible. En la mayoría de las muestras los resultados del ensayo en macetas estuvieron de acuerdo con los de los análisis de laboratorio.

Wasowicz (44) demostró con plántulas de cacao y pasto Sudán, la rápida declinación en la fertilidad de los suelos de cacao de acuerdo con la profundidad del perfil. En su experimento incluyó dos suelos representativos de Trinidad: "Sandy Loam" de River Estate y "Sangre Grande Silty Clay" de Las Hermanas Estate. Encontró que en el suelo "Sandy Loam" de River Estate la disminución de fertilidad con la profundidad era constante y gradual. En el caso de Las Hermanas, que era un suelo muy deteriorado, la disminución era mucho más pronunciada, alcanzando su punto más bajo a dos pulgadas de la superficie.

Schroo (38, 39 y 40), en el mismo país, condujo un experimento sobre los suelos de "Talparo Red Clay", con el propósito de medir el estado del potasio, para lo cual utilizó caña de azúcar y fertilizantes potásicos. Los tratamientos de K fueron combinados con tratamientos de Ca y Mg. Los resultados (peso fresco, número y longitud de brotes y análisis de la planta) obtenidos, sugirieron que el K había promovido la utilización de otros elementos nutritivos, en adición a su efecto directo sobre el aumento de peso fresco y el alargamiento de las plantas. El Ca tuvo efecto moderador de la toxicidad del Mg, el cual resultó elemento perjudicial (para el crecimiento de la planta) en ciertos tipos de suelo, en los que este elemento se encontraba en proporciones dominantes en relación a los

otros cationes.

Usando los mismos suelos, en otro experimento midió los efectos de un incremento en la aplicación de fósforo al cultivo de la caña de azúcar. Los resultados demostraron claramente que la respuesta positiva a cualquier dosificación de fosfatos, inferior a la óptima, dependió de la concentración inicial del P en el suelo y del área de contacto entre la superficie de absorción de la raíz y las partículas del suelo. El mismo autor, posteriormente investigó hasta qué punto el sulfato de amonio y el superfosfato se perdían por volatilización y fijación en los suelos alcalinizados. Para el estudio usó un suelo ácido llamado "Cunupia Clay", al cual se le hicieron varias aplicaciones de cal a fin de que tuviera un contenido alto de este elemento. El análisis químico y el ensayo en macetas con pasto Sudán, mostraron que el suelo franco-limoso "Cunupia Clay" era deficiente en N y P asimilables, y que respondía eficientemente al sulfato de amonio y al superfosfato, cuando las aplicaciones eran por lo menos de 250 p.p.m. de N y 300 p.p.m. de  $P_2O_5$ . La pérdida de N se acentuó por el encalado elevado. El P disponible se mantuvo en su nivel fisiológico durante un período de 4 meses. El encalado, cambió la reacción del suelo de 6.5 a 7.6. El P disponible disminuyó por la continua fijación química.

Paltridge y Salmond (30) en experimentos con suelos forestales de "Ambakelle", Ceylán, usando pastos perennes (Paspalum commersonii Lam.) y dos leguminosas (Phaseolus lathyroides y Medicago sativa L.) probaron que estos suelos tenían acentuadas deficiencias de N, P y K. No se detectó deficiencia de Mg, S o elementos menores. La omisión de cualquiera



de los tres elementos principales en la fertilización, causaba una gran reducción en el rendimiento.

Paltridge y Santhirasegaram (31, 32 y 33) en estudios sobre la fertilidad de los suelos lateríticos del Estado de Bandirippuwa, Ceylán, usando las mismas plantas indicadoras en varios experimentos factoriales, encontraron que el suelo de "Grava Laterítica" era deficiente en N, P y K. Había también deficiencia de Ca en ese mismo tipo de suelo, que podía ser el resultado del lavado natural de la superficie; no hubo ninguna deficiencia aparente de Mg, S o elementos menores. Dichos investigadores sugirieron que el K aprovechable de este suelo se había fijado gradualmente.

En seis experimentos con suelos "Franco Laterítico" y "Arena Laterítica" encontraron deficiencias de N, K y Ca, así como también una deficiencia inicial de P, pero luego un incremento en el suministro del mismo para los cultivos tardíos de pasto. El suelo de "Arena Laterítica", mostró deficiencia de S, deficiencia incipiente de Fe, y una pequeña respuesta al Cu durante las primeras etapas del crecimiento de las plantas. Los resultados de estos experimentos y de similares con el suelo de "Grava Laterítica" mostraron que los tres suelos eran muy similares en su fertilidad.

Los mismos autores, estudiando los suelos de "Cinnamon Sand", en el Estado de Harrekelly, Ceylán, con las mismas plantas indicadoras, encontraron que éstas sufrieron una aguda deficiencia de K, Ca, N y S, y una deficiencia menor de P y Mg. Las leguminosas mostraron además deficiencia de B y evidenciaron una deficiencia incipiente de Cu. Un hecho particular en estos experimentos fue que la carencia de K, Ca o N causaron la muerte de una gran cantidad de plantas.

Vlamis (42), usando lechuga romana y cebada en una serie de experimentos con un suelo arcilloso de serpentina en Conejo, California, encontró deficiencias severas de N y P, leve de K. El análisis de las plantas reveló además que la reducción en rendimiento, así como los síntomas en las hojas, eran producto del bajo contenido de Ca en ese suelo.

Jenny, Vlamis y Martin (24), con lechuga romana y una nueva técnica de cultivo en macetas, estudiaron la variación en la fertilidad de varios tipos y series de suelos de California. El cálculo de los rendimientos relativos indicó que había variaciones pronunciadas en la fertilidad en todos ellos.

Jenny, et. al. (23), con lechuga y cebada, evaluaron la capacidad nutritiva de ocho suelos solombianos (suelo y subsuelo). Las respuestas de las plantas indicadoras a las aplicaciones de los compuestos de N, P y K mostraron una variación amplia en la fertilidad de esos suelos, y concluyeron que el problema principal estaba relacionado con la falta de fósforo. Además encontraron que para el P la cebada era una indicadora menos sensible que la lechuga romana.

Parra (34 y 35) en el Departamento de Caldas, Colombia, realizó experimentos con lechuga romana encontrando diferencias altamente significativas en el rendimiento de las plantas (peso seco). Del ensayo biológico y análisis químico concluyó que: a) los suelos eran de baja productividad; b) había una alta capacidad para intercambio iónico; c) había deficiencia de Ca; d) había deficiencia marcada de P, por lo cual las plantas reaccionaron favorablemente a los fosfatos; e) además de su escasez, el punto débil del ciclo del N en estos suelos era su nitrificación deficiente; f) la

deficiencia de K no era evidente. El mismo autor estudió en la zona cafetera de Caldas la fertilidad de los suelos de la Serie 10. Mediante plantitas muy pequeñas de café arábigo, detectó en dichos suelos deficiencias de N, P y K; las plantas dieron respuestas altamente significativas a estos tres elementos, así como al Ca; la respuesta a los elementos menores no fue significativa.

López (27), en un estudio biológico de la Serie de suelos 250 en Chinichiná, Colombia, tendiente a evaluar el estado de N, P y K, también con plantitas de café, pudo comprobar que esos suelos poseían reservas nutritivas suficientes de esos elementos, especialmente de N y K; la disponibilidad del P era menor que la de los otros dos elementos.

Aristizabal (1), usando la técnica de Jenny y lechuga romana como planta indicadora, investigó los suelos de la Estación Agrícola Experimental de Palmira, Colombia. El cálculo del rendimiento relativo y otras observaciones revelaron lo siguiente: los suelos de la Serie Valle, eran deficientes en P, con buen contenido de N, pero con condiciones físicas inadecuadas que afectaban el rendimiento de las plantas. Los suelos de la Serie Ferrocarril, tenían buen contenido de materia orgánica y de N, pero eran deficientes en P; la disponibilidad de K, al igual que la de Ca y Mg, era buena. Se apreciaron deficiencias en elementos menores, Los suelos de la Serie Palmira, eran bajos en materia orgánica, N y P, pero mostraban buena disponibilidad de bases intercambiables. Los suelos de la Estación Palmira, acusaban buena disponibilidad de N, materia orgánica y bases intercambiables, pero una disponibilidad de P apenas mediana. Este tipo de suelo produjo los mayores rendimientos.

Sánchez (37) estudió la fertilidad de los suelos de las Series Gorgona y Estación Palmira con maíz y tomate, y obtuvo los siguientes resultados: Con tomate: a) Aparentemente la Serie Estación Palmira no era deficiente significativamente en ninguno de los nutrientes ensayados, pero a pesar de ello se notaron efectos favorables con algunos tratamientos; b) En la Serie Gorgona, se obtuvieron respuestas significativas a los tratamientos. Con maíz: a) Tanto la Serie Estación Palmira como la Gorgona no respondieron significativamente a la aplicación de los tratamientos ensayados; seguramente entre otras razones, porque el maíz no resultó una buena planta indicadora.

Correa (9 y 10) estudió bajo condiciones de invernadero la fertilidad de seis Series de suelos colombianos. Siguió el método de Jenny con ciertas modificaciones, para adaptarlo a las condiciones locales. Usó tres plantas indicadoras: lechuga romana, maíz y frijol, y diversas fuentes de compuestos de N, P y K, así como una solución madre de elementos menores. Con el cálculo del rendimiento relativo y el análisis de la variación de los resultados comprobó que la fertilidad de los suelos estudiados era variable, mostrando todos ellos deficiencia de P. La lechuga romana fue más sensible a las deficiencias; mientras que el maíz fue sensible principalmente a las deficiencias de N y P; el frijol no fue buena planta indicadora. El mismo autor, con el objeto de determinar posibles deficiencias de N y P, probó en el invernadero tres muestras de suelo de la Serie "Montería", de Montería, Córdoba, Colombia, aplicando la misma técnica en tres ensayos con lechuga romana. No le fue posible comprobar deficiencias de N ni de P. El contenido de K fue muy alto. Se produjo una ligera dismi-

nución en la producción, al agregar al tratamiento completo una mezcla de elementos menores.

Gargantini (12) condujo ensayos de fertilidad con muestras de cuatro Series de suelo de la Estación Experimental de Pindamonhangaba, en el Instituto Agronómico de Sao Paulo, Brasil, usando lechuga romana como planta indicadora. Encontró que en las cuatro Series de suelos, la cal tuvo una marcada influencia sobre el crecimiento de las plantas y con base en los resultados obtenidos recomendó fórmulas básicas de fertilización para cada suelo.

Mc Clung, De Freitas y otros (28) evaluaron seis suelos de "Campos Cerrados", pertenecientes a Sao Paulo y Goias, Brasil, usando pastos y leguminosas en macetas. Los resultados pusieron de manifiesto una severa deficiencia de P. En el caso de los suelos de Goias, cuando se omitieron los elementos menores, se redujo la producción de materia seca del pasto. Resultados similares se obtuvieron con alfalfa en un suelo de Sao Paulo. La omisión de N afectó el crecimiento del pasto, y la omisión de K no afectó la producción de materia seca. La omisión de Ca redujo el crecimiento del alfalfa, del frijol y del pasto.

Contreiras, Silva y Baptista (8), con el objeto de determinar la capacidad nutritiva de seis tipos de suelo de la isla de Sto. Tomás, en el Golfo de Nueva Guinea, utilizaron el método substractivo, sugerido por Webb, con soluciones nutritivas completas y deficientes, así como una solución de elementos menores. Como planta indicadora usaron el tomate. El análisis estadístico del rendimiento de frutos frescos, al igual que el peso fresco y seco de la parte aérea de las plantas, reveló que todos

los elementos nutritivos usados habían afectado de una manera u otra el desarrollo de las plantas. Algunos de esos elementos afectaron principalmente el crecimiento de la planta, mientras que otros mostraron su efecto mayormente en el rendimiento de frutos.

Arnott (3) en un reconocimiento del área de Kelantan, Malaya, por el método anteriormente citado y usando tomate como planta indicadora, detectó en los suelos del área mencionada deficiencias de P, Ca, Mg y elemen-tos menores.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### A. CARACTERISTICAS DEL ENSAYO

El trabajo se realizó en un invernadero perteneciente al Departamento de Fitotecnia y Suelos, del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., en Turrialba, Costa Rica. Según Budowski y Schreuder (7), el área en que se encuentra ubicado el Instituto está a 602 m. de altura sobre el nivel del mar, siendo sus características climáticas más importantes las siguientes: Temperatura media anual 22.6° C\*; Precipitación anual 2,581.3 mm\*\*; Humedad relativa media 86.9%\*\*\*.

Los experimentos con tomate se iniciaron el 15 de junio de 1962 y las plantas se recolectaron el 22 de setiembre (duración 98 días); con el arroz se iniciaron el 2 de julio de 1962 y se finalizaron el 15 de octubre (duración 103 días). En todos los experimentos las semillas se sembraron 7 días después de la primera aplicación de las soluciones nutritivas.

Durante los experimentos se registraron las temperaturas extremas diarias durante 10 semanas consecutivas, usando un termómetro de máxima y mínima, colocado en el centro del invernadero. Los valores promedios que se obtuvieron fueron: Temperatura máxima 34.8° C y Temperatura mínima 19.1° C.

#### 1. Unidad experimental

La unidad de observación (parcela) estaba constituida por una maceta con 5 plantas. Como macetas se usaron latas vacías de aceite, con capacidad para 1 kg. de suelo. Para evitar la oxidación, las latas fueron protegidas interior y exteriormente con pintura asfáltica; y para facilitar el drenaje, se las perforó en el fondo repetidas veces. Las macetas medían 14 cm de altura y 10 cm de diámetro.

---

\* Datos recolectados desde 1957 a 1960

\*\* Datos recolectados desde 1944 a 1960

\*\*\* Datos recolectados desde 1958 a 1960

## 2. Plantas indicadoras

Como plantas indicadoras se utilizaron tomate y arroz. Las semillas se seleccionaron con base en la uniformidad en su forma y tamaño así como de su poder germinativo.

El tomate es una planta que responde con relativa prontitud a las deficiencias de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B, Cu, Zn, y Mo (20); es fácil evaluar su producción (rendimiento en peso seco). Bajo las condiciones de Turrialba el tomate crece bien, tanto en época de sequía como en época lluviosa. Tiene un sistema radical fuerte, y además es relativamente resistente a las enfermedades, con excepción de los virus.

Las características del arroz no son iguales a las del tomate, pero sin embargo es una buena planta indicadora de las deficiencias de N, P y K (26), y por su sistema radical fuerte su crecimiento es rápido.

## 3. Soluciones nutritivas

Para la preparación de las soluciones nutritivas que se aplicaron a los suelos y subsuelos, se utilizaron compuestos químicamente puros, de la siguiente manera:

### Soluciones Madres de Macroelementos (16)

<u>Compuesto utilizado</u>	<u>Concentración</u>	<u>Gramos del comp./litro</u>
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.25 molar	20
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.14 "	20
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.057 "	10



## Solución Madre de Microelementos (20)

<u>Compuesto utilizado</u>	<u>Concentración</u>	<u>Gramos del comp./litro</u>
H <sub>3</sub> B <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	0.046 molar	2.86
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	0.009 "	1.81
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.0007 "	0.22
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0.0003 "	0.08
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O	0.0001 "	0.02

Las soluciones se prepararon cuidadosamente y se pusieron en botellas bien tapadas para evitar contaminaciones.

#### 4. Tipos de Suelo

Los suelos estudiados pertenecen a la Finca Experimental "La Lola". Según Hardy (14), son suelos azonales de carácter aluvial, jóvenes, sin diferenciación en el perfil. Bazán (4) en su trabajo de reconocimiento y clasificación de los suelos de "La Lola", basado en la textura del suelo y en la presencia de una capa de piedras en los diferentes perfiles, encontró 7 clases de suelos claramente diferenciados. Sin embargo, en un estudio anterior llevado a cabo por Hardy, dicho investigador agrupó 9 clases de suelos de "La Lola" en 4 tipos. Para el presente estudio se ha tomado como base ese trabajo de Hardy y por esa razón se han usado estos 4 tipos de suelo, conforme se indica a continuación:

- I. Arcillo-limoso con piedras
- II. Arcillo-limoso sin piedras
- III. Arcillo-limoso sobre areno-arcilloso
- IV. Arena gruesa con piedras

De cada uno de los tipos de suelo indicados arriba, se tomó un pozo representativo de los que antes había usado Hardy para su estudio, y de allí se obtuvieron las muestras de suelo y subsuelo para los experimentos. Esos pozos, cuya descripción detallada aparece en el apéndice a fueron los siguientes:

<u>Tipo de Suelo</u>	<u>Pozo</u>
I	XIII
II	XVIII
III	VIII
IV	XI

Las muestras de suelo se tomaron, siguiendo la técnica aconsejada por Hardy (15), a una profundidad de 0 a 22.5 cm (0 a 9") para el suelo y de 45 a 67.5 cm (18 a 27") para el subsuelo. La región comprendida entre los 22.5 y 45 cm (9 y 18") se desechó por considerarla zona de transición. De cada tipo se recolectaron 75 kilogramos de suelo y 75 kilogramos de subsuelo.

Las muestras fueron secadas al aire, desmenuzadas con rodillo y luego pasadas por un tamíz con aberturas de 2 mm de diámetro. Tanto el suelo como el subsuelo fueron mezclados y homogenizados por separado antes de colocarlos en las macetas. En cada una se utilizó 750 gramos de muestra (suelo o subsuelo). Previamente se colocó en el fondo de cada maceta grava de diorita bien lavada (160 gramos) para facilitar el drenaje.

En el invernadero las macetas se colocaron sobre platillos plásticos. Para el riego, las soluciones nutritivas y el agua se ponían en los platillos plásticos para que el suelo las absorbiera por capilaridad.

Se determinó la capacidad de campo de cada tipo de suelo, encontrándose que era de 300 cc (40% del volumen de suelo en cada maceta)

##### 5. Plan del experimento

Se utilizaron siete combinaciones de elementos nutritivos, tanto para el suelo como para el subsuelo, a saber:

1. C (Testigo)
2. C+ME (Testigo + Microelementos)
3. PK+ME (Completo sin N + Microelementos)
4. NK+ME (Completo sin P + Microelementos)
5. NP+ME (Completo sin K + Microelementos)
6. NPK (Completo sin Microelementos)
7. NPK+ME (Completo + Microelementos)

En los dos experimentos (suelo y subsuelo) se empleó un arreglo factorial 4 x 7 (cuatro tipos de suelo y siete combinaciones nutritivas) para cada una de las especies cultivadas. El diseño experimental que se usó fue de Bloques al Azar con tres repeticiones. Para cada uno de los experimentos se utilizaron 168 macetas. En el apéndice b se enumeran los tratamientos de los dos experimentos y se indican las macetas en que se aplicaron dichos tratamientos.

##### 6. Dosificación y aplicación de sustancias nutritivas

En ambos experimentos las soluciones de nitrato de amonio, fosfato ácido de sodio y sulfato de potasio, se aplicaron en dosificaciones de 10 ml por maceta. La solución nutritiva de microelementos se añadió a razón de 1 ml por maceta. En el Cuadro No. 1, aparecen las cantidades totales de soluciones nutritivas empleadas para las combinaciones ensayadas.

Las dosificaciones totales por hectárea, acre y por maceta de las sustancias nutritivas se pueden apreciar en el Cuadro No. 2.

Siete días antes de la siembra se hizo una primera aplicación de las soluciones indicadas en el Cuadro No. 1, y treinta días después de brotadas las semillas se hizo una segunda aplicación de las mismas soluciones.

Aún cuando originalmente se había pensado que dos aplicaciones eran suficientes, las plantas de los tratamientos con N mostraban una clorosis aparentemente característica de la deficiencia de N. Para corregir esos síntomas se hizo una aspersión foliar de úrea al 1%, pero no se obtuvieron resultados positivos. Por ese motivo los tratamientos que llevaban N recibieron una nueva dosis de 10 ml de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 30 días después de la segunda.

Cuadro No. 1. Combinaciones y cantidades totales de soluciones nutritivas en mililitros por maceta (750 gramos de suelo o subsuelo)

Soluciones nutritivas	Combinaciones						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
$\text{NH}_4\text{NO}_3$				30	30	30	30
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$			20		20	20	20
$\text{K}_2\text{SO}_4$			20	20		20	20
Solución madre microelementos		2	2	2	2		2

Cuadro No. 2. Dosificaciones totales por acre, hectárea y por maceta de las sustancias nutritivas aplicadas

Nutriente	Dosis del nutriente		Fuente del nutriente	Aplicación por maceta	
	Kg/Ha	lbs/A		Nutriente	Fuente
N	267.33	235.20	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.210 g	0.60 g
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	255.60	224.00	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.200 g	0.40 g
K <sub>2</sub> O	137.48	120.96	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.108 g	0.20 g
B	1.27	1.12	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.000 mg	5.72 mg
Mn	1.27	1.12	MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1.000 mg	3.62 mg
Zn	0.13	0.11	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.100 mg	0.44 mg
Cu	0.05	0.04	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0.040 mg	0.16 mg
Mo	0.02	0.02	H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	0.020 mg	0.04 mg

## B. CONDUCCION DEL EXPERIMENTO Y RECOLECCION DE INFORMACIONES

### 1. Siembra

Se sembraron 10 semillas de tomate en cada una de las macetas destinadas a este cultivo y 10 semillas de arroz en cada una de las demás. Cuando las plantas tenían 15 días de edad, se procedió al raleo, dejando en cada maceta únicamente 5 plantitas.

### 2. Cuidados

Entre los cuidados realizados durante el período de cultivo podemos mencionar en primer término el riego diario, con el fin de mantener el suelo humedecido cerca de la capacidad de campo. Para combatir un ligero ataque de insectos se hizo una aspersion con D.D.T. al 1%. Todas las macetas se mantuvieron libres de malas hierbas a fin de evitar competencia

con las plantas indicadoras. Durante el crecimiento de las plantas, tanto en el arroz como en el tomate, se hicieron anotaciones sobre los síntomas foliares de deficiencia que presentaban las plantas.

### 3. Cosecha y mediciones

Las plantas de tomate y arroz fueron cosechadas a la edad de 13 semanas, y se tomaron los siguientes datos:

- a) altura del tallo de las plantas
- b) peso fresco de parte aérea
- c) peso seco, parte aérea y raíces.

Para la obtención del peso seco las respectivas partes de la planta fueron secadas en una estufa a 70° C durante 48 horas. Los pesos y datos de altura obtenidos fueron luego analizados estadísticamente para su interpretación. Se aplicó el concepto de la producción relativa ideada por Jenny (24), y los requerimientos de fertilizantes fueron determinados usando el método de Mitscherlich (11).

### C. ANÁLISIS DE SUELOS

Se efectuaron análisis físicos y químicos de los suelos y subsuelos. Para la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico (36); la materia orgánica se determinó siguiendo el método de Walkley-Black (36); el nitrógeno total se analizó por el método de Kjeldhal (36); el fósforo asimilable fué determinado por el método de Truog (21). Para el desplazamiento de los cationes intercambiables se utilizó el método del acetato de amonio (21); el Ca y el Mg desplazados se determinaron por el método del versenato (36) y el K por el método del fotómetro de llama (21).

En los análisis físicos la textura se determinó siguiendo el método

de Bouyoucos (6). Para el peso específico real, peso específico aparente y porosidad total, se ha recurrido a los valores encontrados por Bazán (4) para estos tipos de suelo.

## IV. RESULTADOS

1. Análisis físicos

En el Cuadro No. 3, están resumidos los valores obtenidos en los análisis mecánicos de los 4 tipos de suelo (suelo y subsuelo).

Tipo I: El suelo presenta textura franco-arcillosa, el subsuelo, arcillosa.

Tipo II: Textura del suelo y subsuelo semejante a la del Tipo I.

Tipo III: Suelo y subsuelo con textura franco-arenosa.

Tipo IV: Textura franco-arcillo-arenosa hacia la superficie; subsuelo con textura franco-arenosa.

2. Análisis químicos

En el Cuadro No. 3 se observan los datos del análisis químico de los 4 tipos de suelo, así como también los patrones de comparación de I.C.T.A. Trinidad. Conforme a éstos, encontramos las siguientes características.

Tipo I: El pH del suelo y del subsuelo muestran valores intermedios entre el pH medio y bajo del patrón, lo cual podría considerarse como una tendencia a ser ácidos. El contenido de materia orgánica es mediano en el suelo, y en el subsuelo tiene un valor bajo. Los valores de N total en el suelo y en el subsuelo son intermedios entre medio y bajo, siendo bastante más bajo en el subsuelo. La relación C/N, es elevada para la muestra superficial, apreciablemente mayor de 10, y para el subsuelo es baja, bastante menor de 10. El fósforo disponible es muy bajo, tanto en el suelo como en el subsuelo. La capacidad total de intercambio de bases es elevada en ambos, suelo y subsuelo. Los contenidos de Ca y Mg intercambiables son elevados, especialmente para el subsuelo; la relación



Cuadro NO 3. Análisis físico y químico de los suelos

Tipo de Suelo	Profundidad de puñadas	Arena Liso		Arcilla		Textura	pH en H <sub>2</sub> O Cl <sub>2</sub> Ca		Materia Orgánica %	Nitrógeno Total %	Relación C/N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> asim. p.p.m.	Capacidad Intercambio M.e./100 g.	Cationes Interc. m.e./100 g.			Relaciones Ca/Mg Ca/K	Saturación Bases %	
		%	%	%	%		C/N	C/N			Ca	Mg			K					
I	0 - 9	40.82	15.02	24.36	Franc-Arcill.	Franc-Arcill. Arcill.	5.2	5.8	1.87	0.17	11.76	1.75	1.75	46.8	1.7	11.5	0.54	1.7	11.5	75.4
	15 - 27	33.45	17.58	34.00	Arcill.		5.0	5.8	1.84	0.06	7.96	3.34	3.34	43.9	1.5	10.6	0.26	1.5	10.6	71.4
II	0 - 9	36.62	19.38	24.00	Franc-Arcill.	Franc-Arcill. Arcill.	5.7	5.3	1.47	0.19	10.59	1.76	1.76	44.4	2.1	5.2	0.43	2.1	77.7	61.5
	15 - 27	43.42	16.58	21.00	Arcill.		5.0	5.4	1.03	0.07	2.53	1.06	1.06	42.9	1.7	11.7	0.32	1.7	116.9	27.9
III	0 - 9	58.14	15.50	16.36	Franc-Arenos	Franc-Arenos Franc-Arenos	5.7	5.4	1.99	0.15	7.31	1.78	1.78	31.2	3.6	6.1	0.46	3.6	11.1	61.5
	15 - 27	57.04	22.72	14.64	Franc-Arenos		6.1	5.4	0.41	0.05	4.75	10.46	10.46	41.7	2.1	4.1	0.17	2.1	25.7	80.6
IV	0 - 9	51.64	25.00	17.36	Fr.-Arc-Arenos	Fr.-Arc-Arenos Franc-Arenos	6.2	5.7	2.00	0.17	11.60	2.53	2.53	40.6	2.7	5.0	0.27	2.7	42.4	75.4
	15 - 27	64.34	16.00	16.0	Franc-Arenos		6.2	5.3	1.41	0.05	4.75	14.06	14.06	37.2	2.7	2.7	0.51	2.7	35.9	41.2
Patrones de Comparación (I.C.T.A. Trinidad) Willy - 1961)																				
Alto	-	-	-	-	-	---	7.5	-	2.1	0.25	11.5	1.0000	-	-	24.0	1.0	1.15	-	-	-
Medio	-	-	-	-	-	---	6.5	-	1.0	0.10	10.0	1.0000	-	-	12.0	1.0	0.75	4.0	40.0	-
Bajo	-	-	-	-	-	---	5.0	-	0.75	0.10	5.5	1.0000	-	-	4.0	1.0	0.20	-	-	-
Límite fijecado	-	-	-	-	-	---	6.5	-	1.75	0.10	10.0	1.0000	-	-	11.0	1.0	0.25	4.0	40.0	-

entre estos dos cationes es inferior a 4 (ideal). La disponibilidad de K intercambiable es muy elevada en el suelo y menor en el subsuelo. La relación entre los cationes divalentes Ca+Mg y el monovalente K, tanto en el suelo como en el subsuelo son superiores al valor más alto del patrón de comparación, especialmente en el caso del subsuelo. El porcentaje de saturación de bases es elevado en el suelo y en el subsuelo.

Tipo II: El suelo y el subsuelo poseen valores de pH intermedios entre medio y bajo, es decir son ligeramente ácidos. El contenido de materia orgánica del suelo es medianamente bajo; en el subsuelo es bajo. El contenido de N total en el suelo y en el subsuelo oscila entre medio y bajo, siendo menor en el subsuelo. La relación C/N del suelo es ligeramente mayor de 10, y la del subsuelo menor. El fósforo disponible es muy bajo, tanto en el suelo como en el subsuelo. La capacidad total de intercambio de bases es elevada para el suelo y para el subsuelo. Los contenidos de Ca y Mg son elevados, especialmente para el subsuelo; la relación entre los dos cationes es inferior a 4. La disponibilidad de K intercambiable va de media a alta en el suelo, y de media a baja en el subsuelo. La relación entre los dos cationes divalentes Ca+Mg y el monovalente K, superan al valor límite del patrón de comparación, especialmente la del subsuelo. El porcentaje de saturación de bases es elevado tanto para el suelo como para el subsuelo.

Tipo III: El suelo y el subsuelo tienen pH intermedio entre medio y bajo, siendo por lo tanto ligeramente ácidos. En el suelo el contenido de materia orgánica es bajo y muy bajo en el subsuelo. El contenido de N total en el suelo oscila entre medio y bajo, y en el subsuelo es bajo.

La relación C/N en suelo y subsuelo es menor de 10. El fósforo disponible es muy bajo, especialmente en el suelo. La capacidad total de intercambio de bases es elevada para suelo y subsuelo. Los contenidos de Ca y Mg son elevados para suelo y subsuelo, particularmente los del segundo; la relación entre los dos cationes es inferior a 4. La disponibilidad de K intercambiable va de media a alta en el suelo y en el subsuelo. La relación entre los dos cationes divalentes Ca+Mg y el monovalente K en el suelo y subsuelo superan al valor límite del patrón de comparación, especialmente la del subsuelo. El porcentaje de saturación de bases es elevado, tanto en el suelo como en el subsuelo.

Tipo IV: El suelo y el subsuelo presentan un pH un poco menor al valor medio del patrón. El contenido de materia orgánica en el suelo es medianamente bajo, y en el subsuelo es bajo. El contenido de N total, aunque menor en el subsuelo, es en general intermedio entre medio y bajo. La relación C/N, es mayor de 10 para el suelo y menor de 10 para el subsuelo. El fósforo disponible es muy bajo en el suelo e intermedio entre medio y bajo en el subsuelo. La capacidad total de intercambio de bases es elevada para suelo y subsuelo. Los contenidos de Ca para el suelo y el subsuelo oscilan entre medio y alto, y los del Mg son sumamente elevados, por lo cual la relación entre los dos cationes es inferior a 4. La disponibilidad de K intercambiable es elevada en el suelo y de media a elevada en el subsuelo. La relación entre los dos cationes divalentes Ca+Mg y el monovalente K es superior al valor límite del patrón de comparación. El porcentaje de saturación de bases es elevado en el suelo y en el subsuelo.

### 3. Análisis biológicos

a. Rendimiento relativo: El peso seco de la porción aérea de las plantas, así como de sus raíces, sirvió para efectuar el cálculo de los rendimientos relativos. Se dividió la producción del tratamiento parcial por la producción del tratamiento completo (NPK ME), y el cociente se multiplicó por 100. De esta manera, para efectos de comparación al tratamiento completo se le asignó un valor igual a 100%.

a<sub>1</sub>. Suelo: En el experimento con suelo los rendimientos relativos en peso seco de la parte aérea y de las raíces de las plantas de arroz y tomate (Cuadros Nos. 4, 5, 6 y 7 y Gráficos Nos. 1 y 2), revelan lo siguiente:

i. En los suelos tipos III y IV la combinación NPK presenta rendimientos relativos de la porción aérea de las plantas de arroz con valores ligeramente superiores a 100%. En los suelos tipos I y II la misma combinación presenta valores ligeramente inferiores a 100. En cuanto al peso seco de las raíces, ese tratamiento presenta valores superiores a 100 en los tipos I, II y III, pero un valor marcadamente inferior en el tipo IV.

ii. La combinación NK+ME mostró rendimientos relativos en peso seco de la parte aérea y de las raíces del arroz, marcadamente superiores a los alcanzados en C, C+ME, PK+ME, NP+ME, aunque variables entre los diferentes tipos de suelo.

iii. En todas las combinaciones antes mencionadas, los 4 tipos de suelo mostraron rendimientos relativos del peso seco de la parte aérea y raíces del arroz bastante comparables, y muy inferiores al 100%;

Cuadro Nº 4. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de parte aérea del arroz cultivado en suelo

Tipo de suelo	Fertilizantes						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
I	27.93	27.72	27.93	71.00	46.69	97.44	100.00
II	24.61	23.50	25.50	64.97	45.90	97.78	100.00
III	18.80	20.05	22.81	85.96	27.32	103.76	100.00
IV	27.64	21.39	27.40	90.14	34.37	102.40	100.00

Cuadro Nº 5. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de parte aérea del tomate cultivado en suelo

Tipo de suelo	Fertilizantes						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
I	21.97	20.29	29.50	33.68	29.29	83.47	100.00
II	17.45	21.88	42.94	27.98	45.71	85.87	100.00
III	17.87	17.12	26.80	95.53	18.86	70.72	100.00
IV	16.56	20.00	30.94	62.81	23.44	103.75	100.00

Cuadro N<sup>o</sup> 6. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de las raíces del arroz cultivado en suelo

Tipo de suelo	Fertilizantes						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
I	43.93	50.64	61.76	89.66	68.99	109.82	100.00
II	12.95	12.68	20.43	48.46	32.04	111.61	100.00
III	30.51	28.44	31.45	62.52	24.10	148.02	100.00
IV	26.05	34.66	46.85	95.80	24.79	64.50	100.00

Cuadro N<sup>o</sup> 7. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de las raíces del tomate cultivado en suelo

Tipo de suelo	Fertilizantes						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
I	16.93	20.16	45.97	45.97	25.00	89.52	100.00
II	28.81	30.51	47.46	45.76	55.93	84.74	100.00
III	18.18	18.18	27.27	105.19	22.08	46.75	100.00
IV	14.77	18.18	29.54	60.23	23.86	87.50	100.00

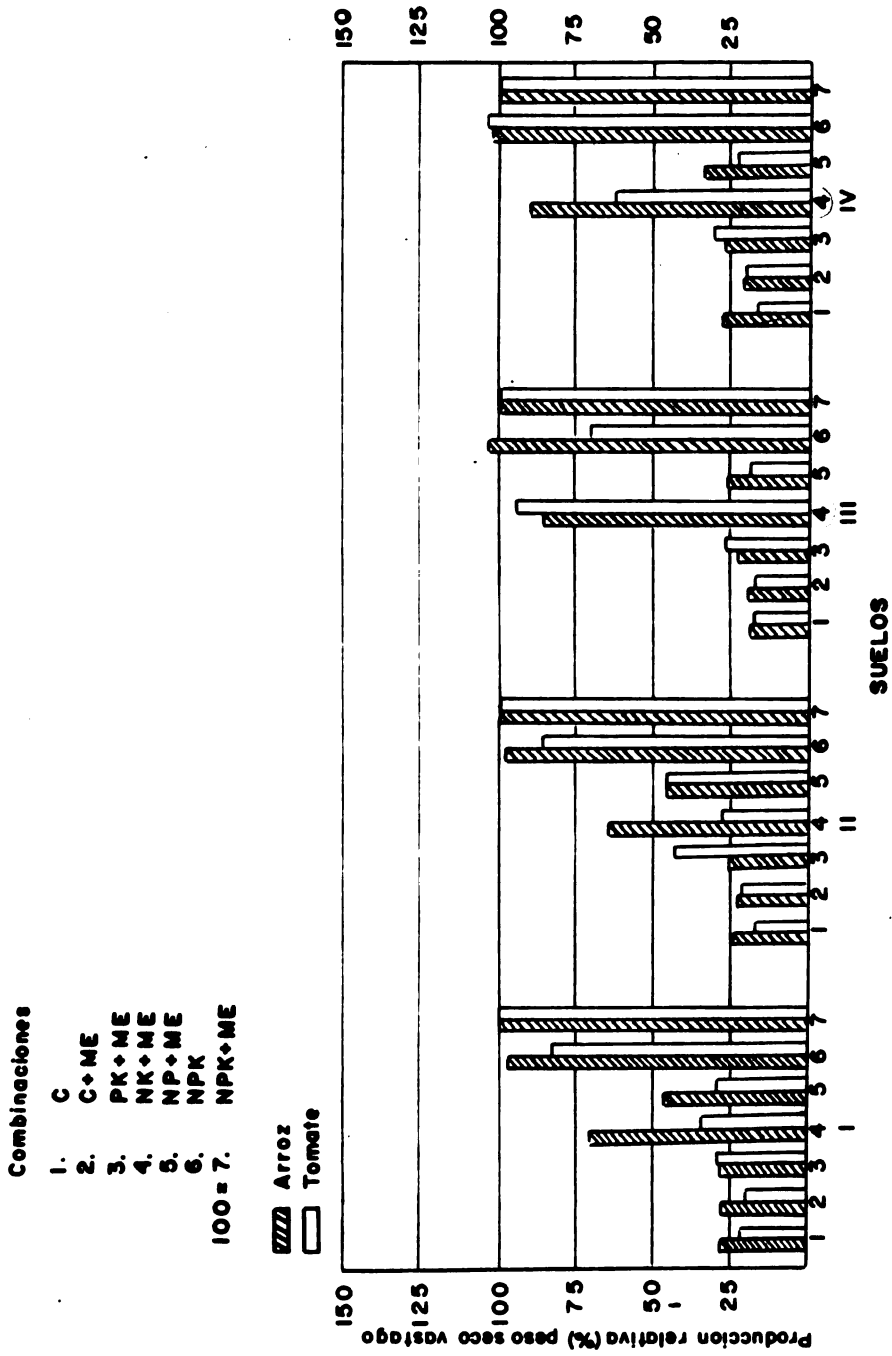


Gráfico No 1. Rendimiento relativo en peso seco de la parte aérea, plantas de arroz y tomate cultivadas en suelo.-

22.5  
11.5  
11.0

4 x 2  
1.8

- Combinaciones
- 1. C
  - 2. C+ME
  - 3. PK+ME
  - 4. NK+ME
  - 5. NP+ME
  - 6. NPK
  - 7. NPK+ME
- 100 = 7.

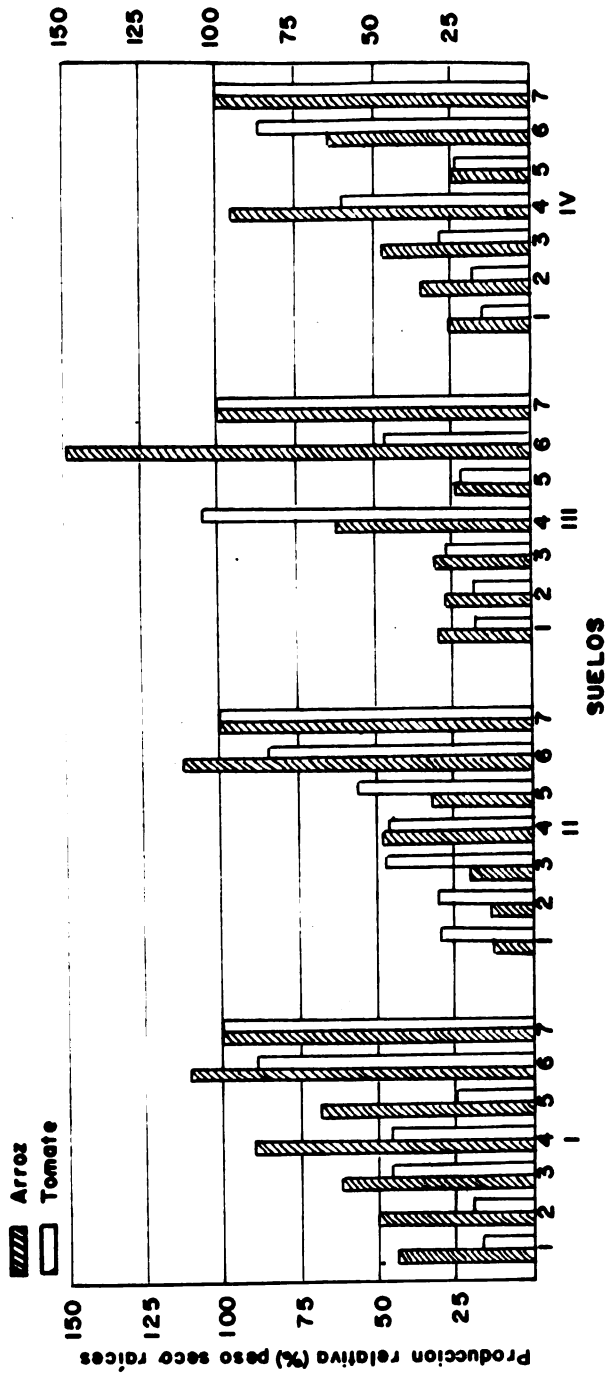


Gráfico No 2. Rendimiento relativo en peso seco de las raíces, plantas de arroz y tomate cultivadas en suelo.-



siendo los valores del testigo los más bajos.

iv. La combinación NPK produjo rendimientos relativos en peso seco de la parte aérea y raíces del tomate inferiores a 100% en los 4 tipos de suelo; pero los valores correspondientes al suelo tipo III, fueron marcadamente más bajos. Sin embargo en el suelo tipo IV, se obtuvo un valor ligeramente más alto que 100 en el rendimiento en peso seco de la porción aérea de las plantas de tomate.

v. La combinación NK ME mostró valores de rendimiento en peso seco de la parte aérea y de las raíces del tomate muy similares a los de las combinaciones C, C ME, PK ME y NP ME en los suelos I y II, pero marcadamente superiores a los de esos mismos combinados en los suelos III y IV.

vi. Como en el caso del arroz, las combinaciones C ME, PK ME y NP ME no provocaron aumento en el rendimiento relativo (peso seco de la parte aérea y raíces) en los 4 tipos de suelo, siendo los valores alcanzados bastante comparables, y los del testigo los más bajos.

a<sub>2</sub>. Subsuelo: En el experimento conducido en el subsuelo los rendimientos relativos de las plantas de arroz y tomate (Cuadros Nos. 8, 9, 10 y 11; Gráficos Nos. 3 y 4), revelaron claramente lo siguiente:

1. El rendimiento relativo en peso seco de la parte aérea del arroz con la combinación NPK fue ligeramente inferior a 100% en el subsuelo I; en los otros alcanzó valores que oscilaron alrededor de 100. Los rendimientos relativos en peso seco de las raíces del arroz en los subsuelos I y II superaron en forma notoria los valores de comparación. En los subsuelos III y IV esos valores fueron inferiores a 100 (79%

Cuadro Nº 8. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de parte aérea del arroz cultivado en subsuelo.

Tipo de suelo	Fertilizantes						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
I	6.82	5.77	7.61	100.26	40.16	97.37	100.00
II	6.30	4.46	5.51	67.98	28.61	102.10	100.00
III	2.56	3.70	3.70	92.59	19.09	101.71	100.00
IV	4.17	4.17	5.55	93.05	27.50	108.05	100.00

Cuadro Nº 9. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de parte aérea del tomate cultivado en subsuelo.

Tipo de suelo	Fertilizantes						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
I	7.04	6.45	9.09	84.16	19.06	48.97	100.00
II	3.32	2.66	6.31	14.28	10.30	64.12	100.00
III	4.68	5.03	7.55	108.99	5.75	58.99	100.00
IV	5.47	5.79	6.11	84.89	6.43	84.56	100.00

Cuadro Nº 10. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de las raíces del arroz cultivado en subsuelo

Tipo de suelo	Fertilizantes						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
I	12.97	10.46	15.06	139.75	51.05	106.28	100.00
II	10.54	9.04	13.25	108.13	37.95	119.88	100.00
III	4.01	6.95	5.61	107.75	18.45	78.88	100.00
IV	8.10	9.78	6.98	136.59	38.27	93.02	100.00

Cuadro Nº 11. Rendimiento relativo en porcentaje del peso seco de las raíces del tomate cultivado en subsuelo

Tipo de suelo	Fertilizantes						
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME
I	13.89	15.28	13.89	163.89	29.17	25.00	100.00
II	3.06	4.08	7.14	20.41	11.22	43.88	100.00
III	5.48	6.85	8.22	93.15	6.85	31.51	100.00
IV	5.71	7.14	8.57	92.86	10.00	61.43	100.00

- Combinaciones**
- 1. C
  - 2. C+ME
  - 3. PK+ME
  - 4. NK+ME
  - 5. NP+ME
  - 6. NPK
  - 100 = 7. NPK+ME

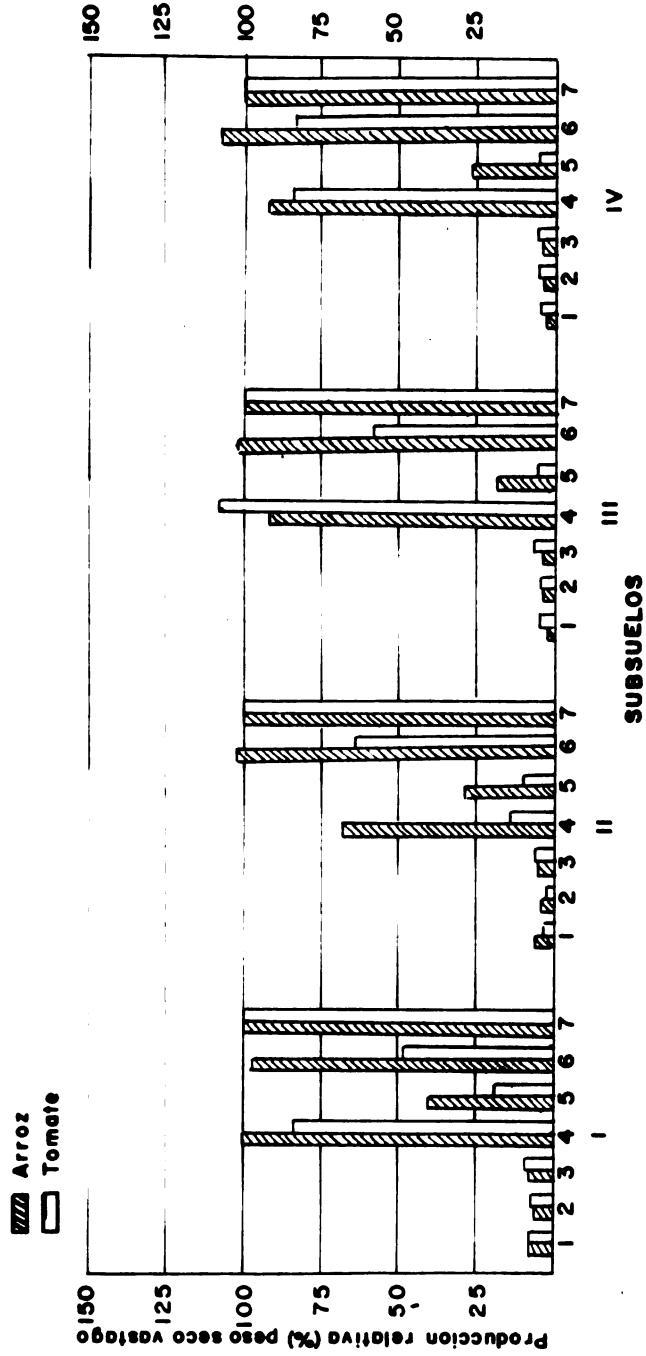
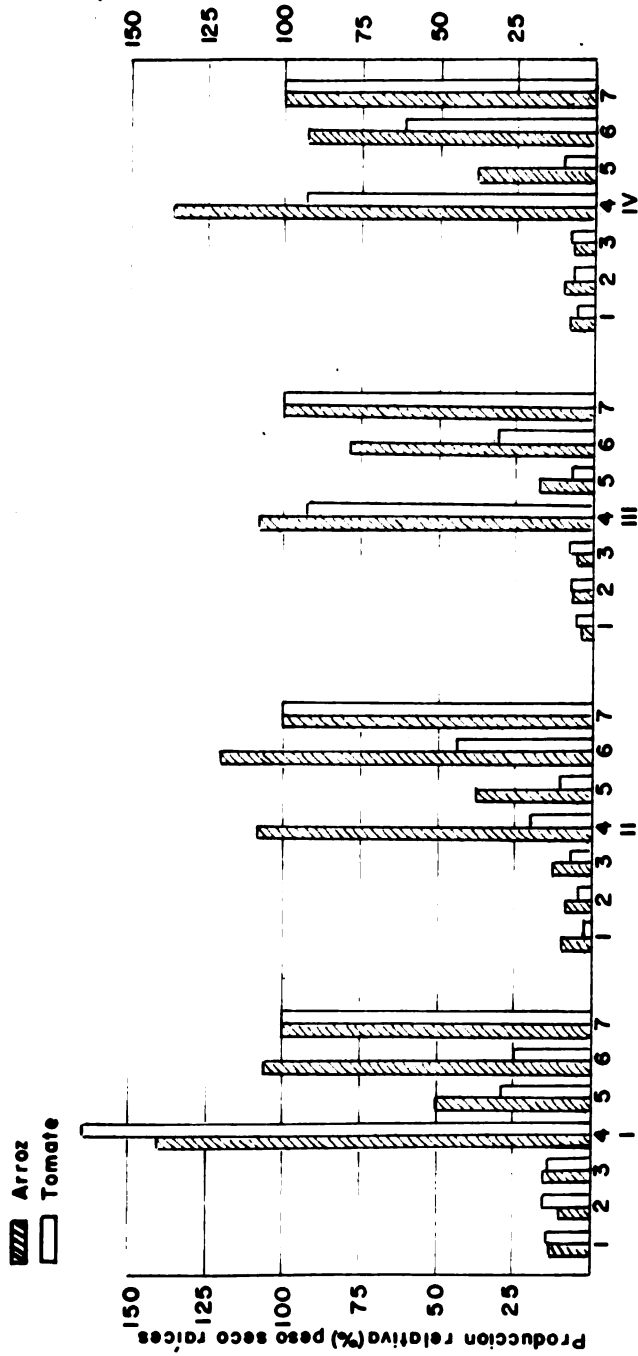


Gráfico No 3. Rendimiento relativo en peso seco de la parte aérea, plantas de arroz y tomate cultivadas en subsuelo.-

**Combinaciones**

- 1. C
  - 2. C+ME
  - 3. PK+ME
  - 4. NK+ME
  - 5. NP+ME
  - 6. NPK
  - 7. NPK+ME
- 100 = 7.



**SUBSUELOS**

Gráfico No 4. Rendimiento relativo en peso seco de las raíces, plantas de arroz y tomate cultivadas en subsuelo.-

y 93% respectivamente).

ii. La combinación NK+ME produjo en el subsuelo I un rendimiento relativo en peso seco de la parte aérea del arroz muy ligeramente superior a 100%. En los otros tipos, los valores oscilaron entre el 68 al 93% del valor de comparación. En cambio los valores del peso seco de las raíces en los subsuelos (I, II, III y IV), fueron muy superiores al valor de comparación.

iii. Con las otras combinaciones (C+ME, PK+ME, NP+ME) se obtuvieron rendimientos relativos en peso seco de la parte aérea y raíces inferiores a 100% en los 4 subsuelos, y los valores alcanzados por el testigo fueron siempre los más bajos.

iv. La combinación NPK produjo en el tomate rendimientos relativos en peso seco de la parte aérea y de las raíces muy inferiores a 100% en los 4 subsuelos; los valores correspondientes a los subsuelos I y III fueron notoriamente más bajos que los de los subsuelos II y IV.

v. En los subsuelos I, III y IV la combinación NK+ME mostró rendimientos en peso seco de la parte aérea y de las raíces de las plantas de tomate con valores superiores al 85%, llegando a ser mayores al valor de comparación en varios casos. Por el contrario los valores correspondientes a esa combinación en el subsuelo II fueron muy bajos, alcanzando valores de solamente un 20% del de comparación.

vi. Como en casos anteriores, con las demás combinaciones las plantas de tomate no respondieron favorablemente en ninguno de los subsuelos; las producciones relativas en peso seco de la parte aérea y de las raíces siempre fueron menores a 100%; el testigó demostró poseer

los más bajos valores.

b. Análisis e interpretación estadística

b<sub>1</sub>. Suelo:

Arroz

Los análisis estadísticos de los datos de longitud del tallo, peso fresco y seco de la porción aérea, y peso seco de las raíces de las plantas de arroz cultivadas en suelo (Cuadros Nos. 12, 13, 14 y 15) muestran claramente que existen diferencias significativas al nivel del 1% entre los 4 tipos de suelo, es decir la fertilidad inicial de cada tipo de suelo es distinta. Parece que el suelo tipo I posee mayor fertilidad; esto se hace evidente cuando se comparan los pesos seco y fresco de la parte aérea, y la altura del tallo. Sin embargo, la mayor fertilidad no se tradujo en un mayor peso seco de las raíces (véase Cuadro No. 14). Entre los tipos II y IV no se detectaron diferencias significativas al comparar peso fresco, peso seco y altura del tallo del arroz cultivado en dichos suelos; pero al comparar los pesos secos de las raíces de las plantas de estos dos suelos, sí se notaron diferencias significativas al nivel del 5%. El tipo III se muestra significativamente menos fértil que los demás cuando se comparan los pesos de la parte aérea y la altura. Sin embargo, el peso seco de las raíces dió un valor superior a la de los suelos de los tipos I y IV.

La fertilización con las combinaciones de N, P, K y ME mostró efectos significativamente diferentes de acuerdo con la clase de combinación.

1. La aplicación de microelementos no tuvo efecto sobre el peso de la parte aérea o de las raíces del arroz, ni tampoco sobre la longitud del

Cuadro Nº 12. Análisis de la variación del peso fresco (en. gramos) de parte aérea del arroz cultivado en suelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F		
				Observada	Tabular	
					5%	1%
Repeticiones	2	0.5006	0.2503	0.90 <sup>N.S.</sup>	3.17	
Tipos de suelo	3	19.6734	6.5578	23.59 <sup>++</sup>		4.16
Fertilizantes	6	1,497.7080	249.6180	897.91 <sup>++</sup>		3.15
Int. Tip. Suelo X Fert.	18	18.6787	1.0377	3.73 <sup>++</sup>		2.23
Error	54	15.0133	0.2780			
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>1,551.5740</b>				

Promedio de rendimientos (Peso fresco, parte aérea)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Pro-medio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	3.83	4.09	3.97	10.62	7.17	13.59	12.99	8.04
II	3.27	3.22	3.53	9.34	6.65	13.20	13.41	7.52
III	2.19	2.37	2.87	10.48	3.99	12.79	12.11	6.67
IV	3.38	2.71	3.43	10.92	5.15	12.92	12.47	7.28
<b>Promedio</b>	<b>3.17</b>	<b>3.10</b>	<b>3.45</b>	<b>10.34</b>	<b>5.74</b>	<b>13.13</b>	<b>12.75</b>	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.33 g.

D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.43 g.

D.M.S. al 5% para Int. tipo suelo. x. Fert. = 1.22 g.



Cuadro Nº 13. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de parte aérea del arroz cultivado en suelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular
					5%
Repeticiones	2	0.0297	0.0148	0.41 <sup>N.S.</sup>	3.17
Tipos de suelo	3	2.8350	0.9450	26.54 <sup>++</sup>	4.16
Fertilizantes	6	171.0221	23.5037	800.66 <sup>++</sup>	3.15
Int.Tip. Suelo x.Fert.	18	3.0712	0.1706	4.79 <sup>++</sup>	2.23
Error	54	1.9215	0.0356		
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>178.8795</b>			

Promedio de rendimientos (peso seco, parte aérea)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	1.31	1.30	1.31	3.33	2.19	4.57	4.69	2.67
II	1.11	1.06	1.15	2.93	2.07	4.41	4.51	2.46
III	0.75	0.80	0.91	3.43	1.09	4.14	3.99	2.16
IV	1.15	0.89	1.14	3.75	1.43	4.26	4.16	2.40
<b>Promedio</b>	<b>1.08</b>	<b>1.01</b>	<b>1.13</b>	<b>3.36</b>	<b>1.69</b>	<b>4.34</b>	<b>4.34</b>	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.12 g.

D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.15 g.

D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo x Fert. = 0.44 g.

Cuadro Nº 14. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de raíces del arroz cultivado en suelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.9002	0.4501	0.92 N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	10.6653	3.5551	7.31++	4.16
Fertilizantes	6	258.1187	43.0198	88.50++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert.	18	84.7710	4.7095	9.69++	2.23
Error	54	26.2481	0.4861		
Total	83	380.7033			

## Promedio de rendimientos (peso seco raíces)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	1.70	1.96	2.39	3.47	2.67	4.25	3.87	2.90
II	0.97	0.95	1.53	3.63	2.40	8.36	7.49	3.62
III	1.62	1.51	1.67	3.32	1.28	7.86	5.31	3.22
IV	1.24	1.65	2.23	4.56	1.18	3.07	4.76	2.67
Promedio	1.38	1.52	1.95	3.74	1.88	5.88	5.36	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.43 g.  
D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.57 g.  
D.M.S. al 5% para Int.Tip. Suelo x. Fert. = 1.62 g.

Cuadro Nº 15. Análisis de la variación de la altura (en cm.) del tallo del arroz cultivado en suelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.62	0.31	0.26 N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	80.70	26.90	22.80 ++	4.16
Fertilizantes	6	1,013.47	168.91	143.14 ++	3.15
Int.Tip.Suelo x Fert.	18	52.82	2.93	2.48 ++	2.23
Error	54	63.91	1.18		
Total	83	1.211.52			

## Promedio de altura (tallo del arroz)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	21.6	21.5	22.2	30.2	25.5	28.4	28.8	25.4
II	22.4	21.8	23.0	29.3	24.6	27.9	26.5	25.1
III	17.2	18.7	20.9	26.9	21.9	27.7	27.6	23.0
IV	20.6	20.0	22.7	29.4	25.4	29.8	28.4	25.2
Promedio	20.4	20.5	22.2	28.9	24.3	28.4	27.8	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.7 cm.  
D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.9 cm.  
D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo x. Fert. = 2.5 cm.

tallo.

ii. Con la combinación NPK se obtuvo los rendimientos más elevados en peso fresco y seco, así como también los valores más altos en la longitud del tallo.

iii. Las combinaciones NP y PK no mostraron efectos muy marcados sobre el peso de la parte aérea y de las raíces en forma constante; a pesar de ello, con el combinado NP, se hizo notorio un incremento en el peso fresco y seco de la parte aérea. En el caso de la altura del tallo, los valores aunque superiores al de las plantas del testigo, son considerablemente inferiores al de las plantas de las otras combinaciones que incluyen N.

iv. La combinación NK tuvo efectos positivos evidentes sobre el peso de la parte aérea y de las raíces lo mismo que sobre el desarrollo y longitud de los tallos del arroz.

v. En forma general, aunque no muy marcada, se aprecia interacción de tipos de suelo y algunas combinaciones nutritivas.

#### Tomate

Los resultados de los análisis estadísticos del peso fresco y seco de la porción aérea, peso seco de las raíces y altura del tallo de las plantas (Cuadros Nos. 16, 17, 18 y 19) muestran que existen diferencias significativas al nivel del 1% entre los 4 tipos de suelo. El suelo tipo I parece poseer la más alta fertilidad, según los resultados obtenidos. Entre los tipos II y IV, no se detectó diferencias significativas al comparar peso fresco, peso seco y altura del tallo de las plantas cultivadas en dichos suelos. Considerando los pesos secos de las

Cuadro Nº 16. Análisis de la variación del peso fresco (en gramos) de parte aérea del tomate cultivado en suelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	2.2051	1.1025	1.09 N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	74.9907	24.9969	24.71 ++	4.16
Fertilizantes	6	2,402.7539	400.4590	395.83 ++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert.	18	300.0982	16.6721	16.48 ++	2.23
Error	54	54.6346	1.0117		
Total	83	2,834.6825			

Promedio de rendimientos (peso fresco, parte aérea)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	5.75	5.03	6.95	9.49	7.92	19.66	20.56	10.69
II	4.15	4.51	6.97	7.21	7.96	15.99	15.72	8.93
III	3.75	3.93	5.45	18.91	5.03	15.90	18.32	10.18
IV	2.95	3.46	5.11	11.39	4.69	16.39	14.85	8.40
Promedio	4.15	4.23	6.12	11.75	6.40	16.98	17.36	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.62 g.  
 D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.82 g.  
 D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo x.Fert.= 2.33 g.

Cuadro Nº 17. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de parte aéreo del tomate cultivado en suelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.0491	0.0245	0.43 N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	3.6339	1.2113	21.32 ++	4.16
Fertilizantes	6	116.1927	19.3654	340.94 ++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert.	18	19.2564	1.0698	18.83 ++	2.23
Error	54	3.0656	0.0568		
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>142.1977</b>			

## Promedio de rendimiento (peso seco parte aéreo)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	1.05	0.97	1.41	1.61	1.40	3.99	4.78	2.17
II	0.63	0.79	1.55	1.01	1.65	3.10	3.61	1.76
III	0.72	0.69	1.08	3.85	0.76	2.85	4.03	2.00
IV	0.53	0.64	0.99	2.01	0.75	3.32	3.20	1.63
<b>Promedio</b>	<b>0.73</b>	<b>0.77</b>	<b>1.26</b>	<b>2.12</b>	<b>1.14</b>	<b>3.31</b>	<b>3.90</b>	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.15 g.  
D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.19 g.  
D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo x.Fert.= 0.55 g.

Cuadro Nº 18. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de las raíces del tomate cultivado en suelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.0531	0.0265	1.23 N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	0.9458	0.3153	14.60 ++	4.16
Fertilizantes	6	5.3333	0.8889	41.15 ++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert.	18	1.4668	0.0815	3.77 ++	2.23
Error	54	1.1670	0.0216		
Total	83	8.9660			

## Promedio de rendimiento (Peso seco raíces)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	0.21	0.25	0.57	0.57	0.31	1.11	1.24	0.61
II	0.17	0.18	0.28	0.27	0.33	0.50	0.59	0.33
III	0.14	0.14	0.21	0.81	0.17	0.36	0.77	0.37
IV	0.13	0.16	0.26	0.53	0.21	0.77	0.88	0.42
Promedio	0.16	0.18	0.33	0.54	0.25	0.68	0.87	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo =0.09 g.

D.M.S. al 5% para fertilizantes =0.12 g.

D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo x.Fert.=0.34 g.

Cuadro Nº 19. Análisis de la variación de la altura (en centímetros) del tallo del tomate cultivado en suelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	81.85	40.92	1.74 N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	1,259.88	419.96	17.83 ++	4.16
Fertilizantes	6	25,243.56	4,207.26	178.65 ++	3.15
Int.Tip.Suelo.x. Fert.	18	3,587.43	199.30	8.46 ++	2.23
Error	54	1,271.91	23.55		
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>31,444.63</b>			

Promedio de altura (tallo del tomate)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP:ME	NPK	NPK+ME	
I	42.3	38.7	42.9	61.2	41.7	78.4	82.4	55.4
II	29.0	29.4	42.2	32.1	42.8	71.8	73.2	45.8
III	32.0	32.3	39.5	78.3	31.7	68.8	83.0	52.2
IV	30.8	31.6	33.8	61.2	33.7	70.6	67.9	47.1
<b>Promedio</b>	<b>33.5</b>	<b>33.0</b>	<b>39.6</b>	<b>58.2</b>	<b>37.5</b>	<b>72.4</b>	<b>76.6</b>	

D. M. S. al 5% tipo de suelo = 3.0 cm.

D. M. S. al 5% para fertilizantes = 4.0 cm.

D. M. S. al 5% para Int.Tip.Suelo x. Fert. = 11.2 cm.



raíces sí se encontró diferencias significativas al nivel del 5%. El suelo tipo III se mostró significativamente superior a los dos anteriores, cuando se comparó los pesos de la parte aérea y la altura de las plantas; pero al considerar el peso seco de las raíces, no se notó diferencias con esos suelos.

La fertilización con N, P, K y ME, en las diferentes combinaciones dieron efectos significativamente distintos.

i. Cuando se agregó una mezcla de microelementos a la combinación NPK se produjo incremento del peso seco de la parte aérea y de las raíces del tomate, así como un aumento de la altura del tallo, en comparación con los valores de NPK.

ii. Las combinaciones PK y NP mostraron efectos favorables sobre el peso de la parte aérea y de las raíces, al igual que sobre la altura del tallo de las plantas de tomate; los valores alcanzados fueron superiores a los del testigo y estadísticamente semejantes entre sí.

iii. La combinación NK, tuvo efectos marcados sobre la altura de las plantas y los pesos de la parte aérea y de las raíces, según se puede observar en los cuadros respectivos.

iv. Como en el arroz, el comportamiento de algunas combinaciones nutritivas, fue diferente en los tipos de suelo estudiados, de allí que se aprecie valores significativos al 1% para la interacción tipo de suelo x fertilizante.



b<sub>2</sub>. Subsuelo:Arroz

En los Cuadros Nos. 20, 21, 22 y 23 los análisis estadísticos del peso fresco y seco de la parte aérea, peso seco de las raíces y altura del tallo, muestran diferencias significativas al nivel del 1% entre los 4 subsuelos de los tipos estudiados, lo cual implica que la fertilidad es diferente. Al comparar peso fresco, peso seco y altura del tallo, el subsuelo I muestra mayor capacidad productiva; sin embargo, en el caso del peso seco de las raíces los valores correspondientes al subsuelo I fueron más bajos que los de los otros tres subsuelos. Entre los subsuelos II y IV no se aprecia diferencias significativas en fertilidad. El subsuelo III, se muestra significativamente menos fértil que los demás, al hacer la comparación de los pesos y la altura de la parte aérea; pero al considerar el peso seco de las raíces, la tendencia no es muy definida.

La aplicación de N, P, K y ME, en diferentes combinaciones produjo efectos distintos, como se indica a continuación:

i. Cuando se agregó microelementos a la combinación NPK no se obtuvo aumento en los rendimientos en peso fresco, y seco de la porción aérea y de las raíces, ni tampoco sobre la altura del tallo. Por el contrario, en unos pocos casos hubo una disminución muy ligera que no alcanzó significación estadística.

ii. Los mayores rendimientos en peso (fresco y seco) de la parte aérea, así como un incremento marcado en la altura del tallo, se obtuvieron en las plantas de arroz con la combinación NPK. Sin embargo el

Cuadro Nº 20. Análisis de la variación del peso fresco (en gramos) de parte aérea del arroz cultivado en subsuelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.1208	0.0604	0.24 N.S.	3.17
Tipo de suelo	3	4.6527	1.5509	6.21 ++	4.16
Fertilizantes	6	1,797.7909	299.6318	1,199.01 ++	3.15
Int.Tip.Suelo.x Fert.	18	23.6611	1.3145	5.25 ++	2.23
Error	54	13.4961	0.2499		
Total	83	1,839.7216			

Promedio de rendimientos (peso fresco, parte aéreo)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C.	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	0.89	0.85	0.97	10.97	5.09	10.35	10.75	5.69
II	0.79	0.79	0.75	8.25	3.83	12.22	11.57	5.46
III	0.51	0.60	0.57	9.57	2.73	10.73	10.57	5.04
IV	0.57	0.63	0.73	9.66	3.70	11.53	10.71	5.36
Promedio	0.69	0.72	0.75	9.61	3.84	11.21	10.90	

D. M. S. al 5% para tipo de suelo = 0.31 g.  
D. M. S. al 5% para fertilizantes = 0.41 g.  
D. M. S. al 5% para Int.Tip.Suelox Fert. = 1.16 g.

Cuadro Nº 21. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de parte aérea del arroz cultivado en subsuelo

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.0322	0.0161	0.38N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	1.1949	0.3983	9.35++	4.16
Fertilizantes	6	214.3890	35.7315	838.77++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert.	18	2.7568	0.1531	3.59++	2.23
Error	54	2.3033	0.0426		
Total	83	220.6762			

Promedio de rendimientos (peso seco parte aérea)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	0.26	0.22	0.29	3.82	1.53	3.71	3.81	1.95
II	0.24	0.17	0.21	2.59	1.09	3.89	3.81	1.71
III	0.09	0.13	0.13	3.25	0.67	3.57	3.51	1.62
IV	0.15	0.15	0.20	3.35	0.99	3.89	3.60	1.76
Promedio	0.18	0.17	0.21	3.25	1.07	3.76	3.68	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.13 g.  
 D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.17 g.  
 D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo x. Fert. = 0.48 g.

Cuadro Nº 22. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de las raíces del arroz cultivado en subsuelo.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.2511	0.1255	0.60N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	3.2430	1.0810	5.17++	4.16
Fertilizantes	6	192.1668	32.0278	153.24++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert	18	8.5888	0.4771	2.28++	2.23
Error	54	11.2872	0.2090		
Total	83	215.5369			

## Promedio de rendimientos (peso seco raíces)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Pro-medio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	0.31	0.25	0.36	3.34	1.22	2.54	2.39	1.49
II	0.35	0.30	0.44	3.59	1.26	3.98	3.32	1.89
III	0.15	0.26	0.21	4.03	0.69	2.95	3.74	1.72
IV	0.29	0.35	0.25	4.89	1.37	3.33	3.58	2.01
Promedio	0.27	0.29	0.31	3.96	1.13	3.20	3.26	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.28 g.

D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.37 g.

D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo.x. Fert. = 1.06 g.

Cuadro Nº 23. Análisis de la variación de la altura (en centímetros) del tallo del arroz cultivado en subsuelo.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	2.10	1.05	1.48N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	26.12	8.71	12.27++	4.16
Fertilizantes	6	4,020.69	670.11	943.82++	3.15
Int.Tip.Suel.x Fert.	18	67.92	3.77	5.31++	2.23
Error	54	38.21	0.71		
Total	83	4,155.04			

Promedio de alturas (tallo del arroz)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	12.3	13.2	14.2	26.3	21.8	27.2	26.6	20.2
II	12.0	11.8	12.5	29.0	20.4	26.6	25.5	19.7
III	10.7	10.6	11.8	25.9	17.3	26.8	27.7	18.7
IV	10.8	11.0	12.4	25.9	21.0	28.2	26.8	19.4
Promedio	11.4	11.6	12.7	26.8	20.1	27.2	26.6	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.5 cm  
 D.M.S. al 5% para Fertilizantes = 0.7 cm  
 D.M.S. al 5% para Int. Tip.Suelo x. Fert. = 1.9 cm.

efecto en el peso seco de las raíces es inferior al de otros tratamientos.

iii. La combinación PK produjo rendimientos en peso de la porción aérea y de las raíces similares a los del testigo, provocando apenas un ligero incremento en la altura de los tallos.

iv. La combinación NP, a diferencia de la anterior, mostró en forma constante efectos favorables sobre el peso de la parte aérea y raíces del arroz, lo mismo que sobre la altura del tallo. Los valores obtenidos superan a los del testigo.

v. La combinación NK afectó positivamente el rendimiento en peso y la altura de las plantas de arroz cultivadas en los subsuelos. Los valores obtenidos superaron a los del testigo y a los observados para las combinaciones PK y NP.

vi. Aunque no muy marcada, se apreció una interacción de tipos de suelo y combinaciones nutritivas al nivel del 1% de significancia estadística. Esto implica que algunas combinaciones nutritivas se comportaron mejor en un tipo de suelo que en otro, produciendo efectos positivos sobre el rendimiento en peso de las plantas o en la altura de sus tallos.

#### Tomate

Los análisis estadísticos de los datos de peso fresco y seco de la parte aérea, peso seco de las raíces y altura del tallo (Cuadros Nos. 24, 25, 26 y 27) muestran diferencias significativas al nivel del 1%, entre los 4 subsuelos bajo estudio. El subsuelo I alcanzó los valores más altos en peso y altura de las plantas, dando evidencia de poseer mayor fertilidad. Comparando los valores encontrados para pesos de la

Cuadro Nº 24. Análisis de la variación del peso fresco (en gramos) de parte aérea del tomate cultivado en subsuelo.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.0558	0.0279	0.05 N.S.	3.17
Tipo de suelo	3	69.4192	23.1397	42.13 ++	4.16
Fertilizantes	6	2,334.3890	389.4631	708.42 ++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert.	18	224.3361	12.4631	22.69 ++	2.23
Error	54	29.6567	0.5492		
Total	83	2,657.8568			

Promedio de rendimientos (peso fresco parte aérea)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	1.75	1.48	1.87	14.07	4.17	10.53	15.17	7.01
II	0.79	0.74	1.32	3.32	2.51	10.31	13.59	4.65
III	0.97	0.99	1.44	14.03	1.87	9.85	12.95	6.01
IV	1.12	1.20	1.46	13.15	2.19	13.63	14.27	6.72
Promedio	1.16	1.10	1.52	11.14	2.68	11.08	13.99	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.46 g.  
 D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.61 g.  
 D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo x. Fert. = 1.72 g.



Cuadro Nº 25. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de parte aérea del tomate cultivado en subsuelo.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C. M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.0266	0.0133	0.42 N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	2.9168	0.9723	30.87 ++	4.16
Fertilizantes	6	108.8078	18.1346	575.70 ++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert.	18	13.4706	0.7484	23.76 ++	2.23
Error	54	1.7003	0.0315		
Total	83	126.9221			

## Promedio de rendimientos (peso seco parte aérea)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	0.24	0.22	0.31	2.87	0.65	1.67	3.41	1.34
II	0.10	0.08	0.19	0.43	0.31	1.93	3.01	0.86
III	0.13	0.14	0.21	3.03	0.16	1.64	2.78	1.15
IV	0.17	0.18	0.19	2.64	0.20	2.63	3.11	1.30
Promedio	0.16	0.15	0.22	2.24	0.33	1.97	3.08	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.11 g.

D.M.S. al 5% para Fertilizantes = 0.14 g.

D.M.S. al 5% para Int.Tip.Suelo x.Fert. = 0.41 g.

Cuadro Nº 26. Análisis de la variación del peso seco (en gramos) de las raíces del tomate cultivado en subsuelo.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	0.0314	0.0157	1.45N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	0.1632	0.5440	50.37++	4.16
Fertilizantes	6	6.9696	1.1616	107.55++	3.15
Int.Tip.Suelo x. Fert.	18	1.6628	0.0924	8.55++	2.23
Error	54	0.5827	0.0108		
Total	83	9.4097			

Promedio de rendimientos (peso seco raíces)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	0.10	0.11	0.10	1.18	0.21	0.18	0.72	0.37
II	0.03	0.04	0.07	0.20	0.11	0.43	0.98	0.26
III	0.04	0.05	0.06	0.68	0.05	0.23	0.73	0.26
IV	0.04	0.05	0.06	0.65	0.07	0.43	0.70	0.28
Promedio	0.05	0.06	0.07	0.68	0.11	0.32	0.78	

D.M.S. al 5% para tipo de suelo = 0.06 g.  
 D.M.S. al 5% para fertilizantes = 0.08 g.  
 D.M.S. al 5% para Int. Tip. Suel.x. Fert. 0.24 g.

Cuadro Nº 27. Análisis de la variación de la altura (en centímetros) del tallo del tomate cultivado en subsuelo.

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F	
				Observada	Tabular 5% 1%
Repeticiones	2	3.01	1.50	0.20 N.S.	3.17
Tipos de suelo	3	2,229.07	743.02	101.09 ++	4.16
Fertilizantes	6	42,136.48	7,022.75	955.55 ++	3.15
Int. Tip. Suelo x. Fert.	18	3,998.72	222.15	30.22 ++	2.23
Error	54	396.98	7.35		
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>48,764.26</b>			

Promedio de alturas (tallos del tomate)

Tipo de suelo	Fertilizantes							Promedio
	C	C+ME	PK+ME	NK+ME	NP+ME	NPK	NPK+ME	
I	19.9	18.2	19.9	71.2	32.0	59.0	75.2	42.2
II	10.4	10.5	13.9	20.9	22.4	50.4	67.5	28.0
III	13.3	13.2	16.4	72.9	20.1	51.9	72.5	37.2
IV	15.6	15.2	15.7	61.7	23.2	61.3	70.9	37.6
<b>Promedio</b>	<b>14.8</b>	<b>14.3</b>	<b>16.5</b>	<b>56.7</b>	<b>24.4</b>	<b>55.6</b>	<b>71.5</b>	

D.M.S. al 5% para Tipo de suelo = 1.7 cm.  
D.M.S. al 5% para Fertilizantes = 2.2 cm.  
D.M.S. al 5% para Int. Tip. SueoloxFert. = 6.3 cm.

parte aérea de las plantas cultivadas en los subsuelos III y IV, se notan diferencias significativas al nivel del 5%. En cambio, al comparar los pesos secos de las raíces y la altura de los tallos no se aprecia la misma tendencia, pues sus valores son estadísticamente similares. El subsuelo II se comportó como el menos fértil.

La fertilización con N, P, K y ME produjo efectos diferentes según la clase de combinación tal como se indica seguidamente:

i. Al agregar microelementos a la combinación NPK se incrementaron considerablemente los pesos de la parte aérea y de las raíces, al igual que la altura de las plantas. Los valores obtenidos fueron los más altos.

ii. La combinación PK no afectó el rendimiento en peso de la parte aérea y de las raíces, ni tampoco provocó incremento en la altura del tallo; todos los valores obtenidos fueron similares a los del testigo.

iii. La combinación NP tuvo efectos variables: Aumentó significativamente el peso fresco y seco de la parte aérea de las plantas, así como la altura del tallo, dando valores superiores a los del testigo. No afectó el peso seco de las raíces, dando valores muy similares a los del testigo.

iv. La combinación NK incrementó notoriamente el rendimiento en peso de la porción aérea y de las raíces de las plantas, así como la longitud del tallo. Todos los valores obtenidos superaron a los del testigo y a los observados con las combinaciones PK y NP.

v. Se nota claramente una interacción de tipos de suelo y fertilizantes al nivel del 1%. Esto significa que algunas combinaciones nutritivas

(NK y NP) se comportaron mejor en un tipo de suelo que en otro, de allí que el rendimiento en peso o la altura de las plantas se incrementaron notablemente.

c. Consideraciones relativas a la Ley de Mitscherlich

El estudio de las dosis óptimas de fertilizantes que deben aplicarse al suelo ha sido una preocupación permanente de los investigadores. Generalmente la estimación de la cantidad de abono a aplicar se basa en la reacción de las plantas, sin embargo, esta apreciación no es correcta; debe considerarse también el costo de los fertilizantes.

Desde el punto de vista anotado, la dosis adecuada de un abono a aplicarse es función de la curva de respuesta de la planta, (cosecha producida) y precio del abono. La curva de respuesta se refiere a la regresión que expresa la relación entre el nivel de abono y la respuesta del cultivo y a los precios vigentes del abono y rendimiento obtenido. Estos últimos están sujetos a fluctuaciones continuas, los primeros tienen un carácter relativamente estable.

La determinación de las curvas de respuesta de las dos plantas indicadoras a la aplicación del N, P, K se efectuó siguiendo el método de Mitscherlich (11), quien formuló la "Ley general de la acción de los factores del crecimiento" expresando que: "cada factor del crecimiento (N, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ejerce un efecto perfectamente definido, que es el mismo bajo todas las circunstancias, ya sean de suelo, clima o condiciones culturales y que es independiente de la naturaleza misma de la planta". Ley cuya expresión matemática está dada por la ecuación:

$\text{Log}(A-y) = \text{Log} A - cx$ , que incluye:

i. Una variable independiente "x", que representa la cantidad de un factor dado (N, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), el cual actúa sobre el rendimiento de la planta. Al aumentar el factor se producirá un aumento proporcional del rendimiento.

ii. Una variable dependiente "y", cuyo valor es el rendimiento real de la planta, el cual está en función de la variable independiente "x".

iii. Una constante "A", que es el rendimiento máximo (100%) o sea el límite al que tiende a aproximarse la variable dependiente "y" (rendimiento real o cosecha), bajo el efecto de la variable independiente "x" (cantidad del factor de crecimiento).

iv. La constante "c" o valor del efecto del factor de crecimiento  $\bar{x}$  y que determina el perfil de la curva de rendimiento. Esta constante "c" es invariable para cada uno de los factores de crecimiento (N, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Su valor fue determinado por Mitscherlich en forma empírica para los tres principales elementos nutritivos. Obtuvo los siguientes valores:

Nitrógeno.....c= 0.122

Potasio en aus. de Na.....c= 0.33 (0.93 en pres. de Na)

Fósforo.....c= 0.600

Los "valores de efecto" se refieren al quintal métrico como unidad de peso y a la hectárea como unidad de superficie.

Dando a "x" valores sucesivos, se pueden calcular los correspondientes a "y" para los diferentes nutrientes: N, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y mediante esta forma Mitscherlich elaboró su "Tabla de Rendimientos" (11).

En este estudio, usando el método descrito, se obtuvieron los resultados que se presentan en los Cuadros Nos. 28, 29 y 30, donde están incluidos los valores estimados del requerimiento en N, P, K asimilables para los 4 tipos de suelo, a fin de obtener una producción de alrededor del 95%. También en los mismos Cuadros se ofrecen las cantidades detectadas por las plantas indicadoras, de cada uno de los nutrientes mencionados.

Con el objeto de obtener una fórmula de dosificación adecuada para la aplicación de fertilizantes, se hizo la representación gráfica de los valores promedios de la cantidad inicial de nutrientes del suelo y subsuelo ( $X_0$ ), y el rendimiento obtenido a este nivel ( $Y_0$ ). En la misma forma se representó la cantidad de nutriente aplicado ( $X_1$ ), y el rendimiento obtenido con esa aplicación ( $Y_1$ ). El valor ( $X_n$ ) que sería la aplicación de nutriente a efectuarse para alcanzar la producción máxima teórica fue obtenido por simple interpolación lineal.

Los Gráficos Nos. 5, 6, 7, 8, 9 y 10 muestran las curvas promedio para los 4 tipos de suelo (suelo y subsuelo), donde:

$X_0$ = Cantidad de nutriente presente en el suelo

$Y_0$ = Rendimiento del testigo

$X_1$ = Cantidad de nutriente aplicado

$Y_1$ = Rendimiento obtenido con la cantidad aplicada ( $X_1$ )

$X_n$ = Cantidad teórica a aplicarse para obtener 95% del rendimiento

$Y_n$ = Rendimiento alcanzado con  $X_n$  de nutriente aplicado.

Cuadro Nº 28. Estimación del requerimiento en nitrógeno asimilable para los 4 tipos de suelo.

Tipo de suelo	Prod. relativa en peso seco		Cont. N. asim. detectado por las plantas		Kg. N/Ha para producir 94% de rend. max.		
	$\frac{PK+ME}{NPK+ME} \cdot 100$		Kg/Ha.		Arroz	Tomate	
	Arroz	Tomate	Arroz	Tomate			
I	Suelo	43.2	32.9	201	142	799	858
	Subsuelo	10.5	9.9	39	37	960	963
II	Suelo	22.3	43.6	90	204	910	796
	Subsuelo	9.1	6.5	34	24	966	976
III	Suelo	27.7	26.9	116	111	884	889
	Subsuelo	4.7	7.7	17	28	983	972
IV	Suelo	37.8	30.6	169	130	831	870
	Subsuelo	6.3	6.6	23	24	977	976

Cuadro Nº 29. Estimación del requerimiento en fósforo asimilable para los 4 tipos de suelo

Tipo de suelo	Prod. relativa en peso seco		Cont. P2O5 Asim. detectado por las plantas		Kg. P2O5/Ha para producir 95.2% de rend. max.		
	$\frac{NK+ME}{NPK+ME} \cdot 100$		Kg/Ha.		Arroz	Tomate	
	Arroz	Tomate	Arroz	Tomate			
I	Suelo	79.4	36.2	117	33	103	187
	Subsuelo	115.5	98.1	600	285	N. Apl.	N. Apl.
II	Suelo	54.7	30.5	57	26	163	193
	Subsuelo	86.7	15.8	146	13	74	207
III	Suelo	72.6	97.1	94	257	126	N. Apl.
	Subsuelo	100.4	105.7	600	600	N. Apl.	N. Apl.
IV	Suelo	93.2	62.2	194	70	26	149
	Subsuelo	114.8	86.3	600	144	N. Apl.	75



Cuadro Nº 30. Estimación del requerimiento en potasio asimilable para los 4 tipos de suelo

Tipo de suelo	Prod. relativa en peso seco		Cont. K <sub>2</sub> O asim. detectado por las plantas		Kg. K <sub>2</sub> O/Ha para producir 95% de rend. max.	
	$\frac{\text{NP+ME}}{\text{NPK+ME}} \cdot 100$		Kg/Ha.			
	Arroz	Tomate	Arroz	Tomate	Arroz	Tomate
I Suelo	56.8	28.4	39	11	101	129
	44.3	20.8	28	11	112	129
II Suelo	37.2	47.1	22	30	118	110
	33.0	10.5	19	5	121	134
III Suelo	25.5	19.4	14	10	126	130
	18.8	6.0	10	3	130	137
IV Suelo	29.3	23.5	16	13	124	127
	32.9	7.1	19	4	121	136

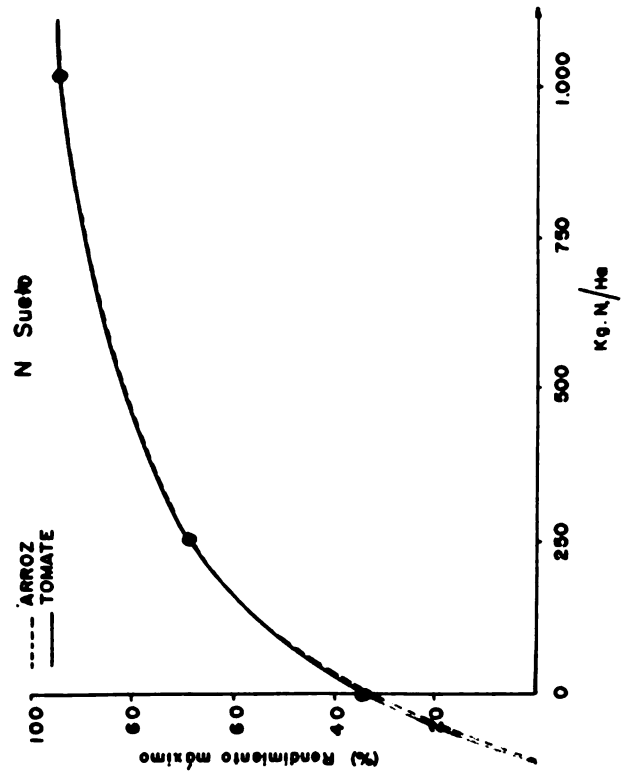


Gráfico No 5. Curvas de respuestas al nitrógeno.

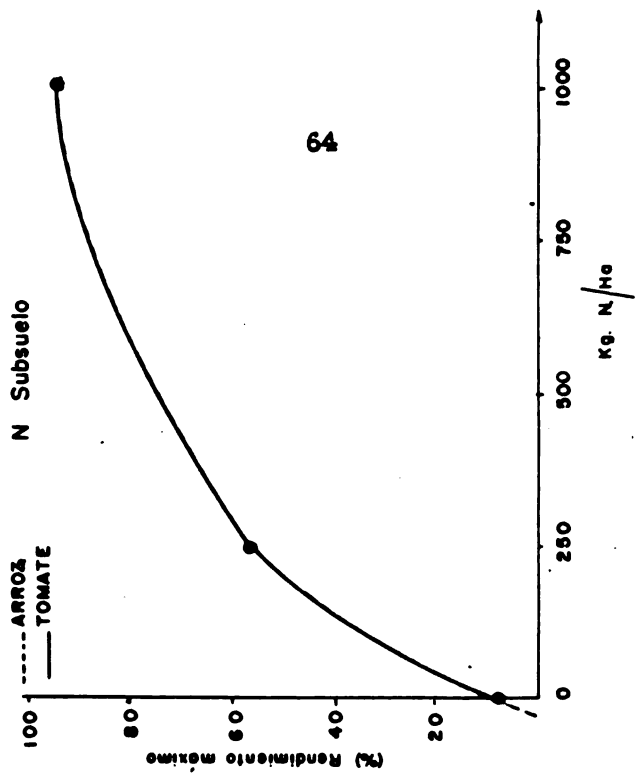


Gráfico No 6. Curvas de respuestas al nitrógeno.

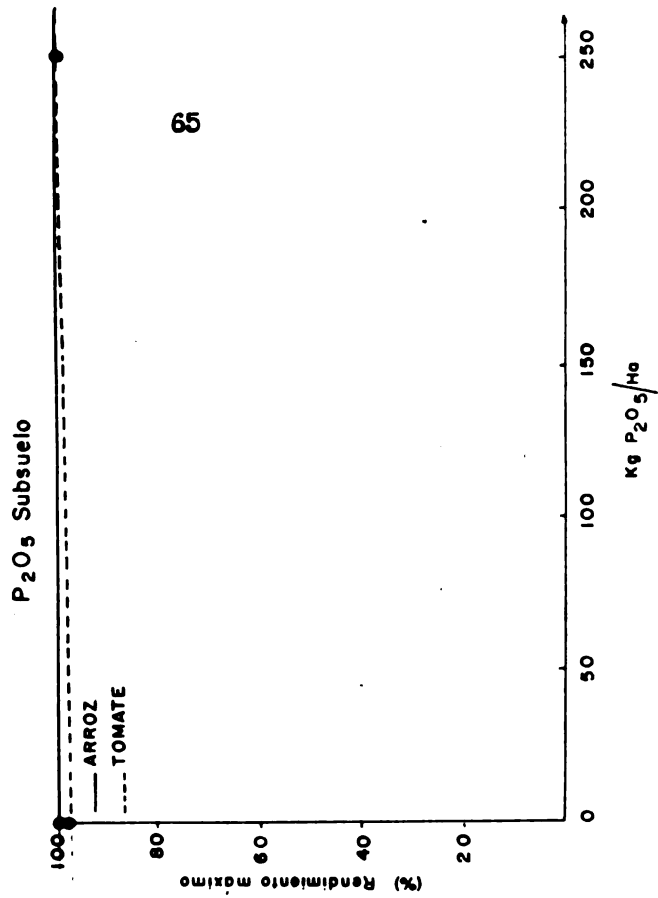


Gráfico No 6. Curvas de respuestas al fósforo.

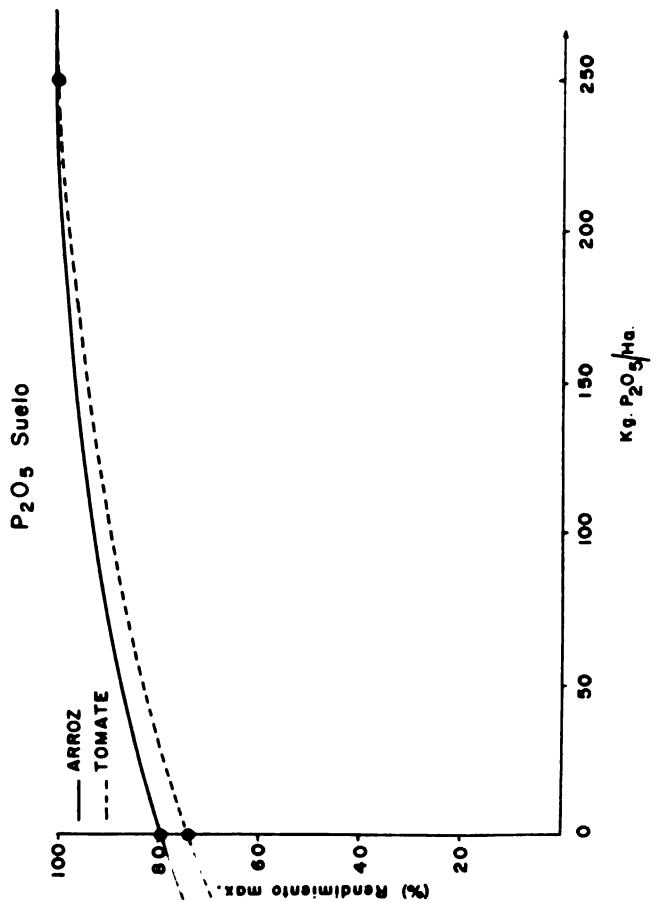


Gráfico No 7. Curvas de respuestas al fósforo.

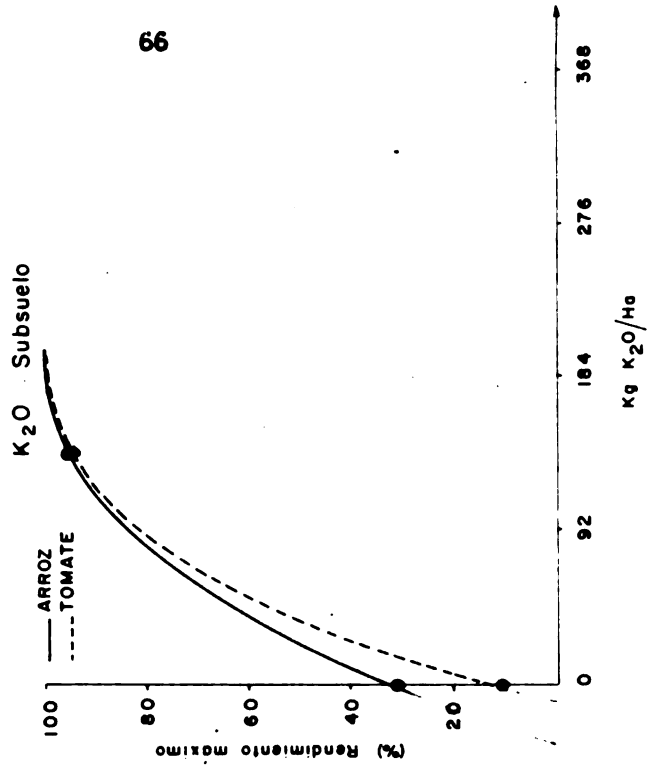


Gráfico No. 1. Curvas de respuestas al K<sub>2</sub>O.

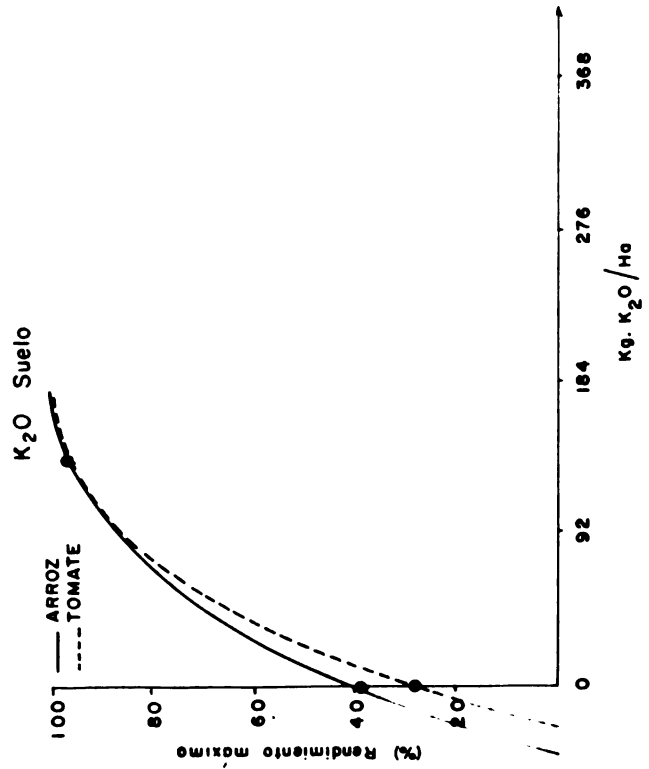


Gráfico No. 9. Curvas de respuestas al K<sub>2</sub>O.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los 4 tipos de suelo de la Finca Experimental "La Lola", los requerimientos en nitrógeno y en potasio son evidentes. En general la aplicación de fósforo no es indispensable para los subsuelos, pero sí para los suelos en cantidad limitada.

Posiblemente una fórmula general de fertilizante completo para aplicarse por hectárea en los suelos de la Finca "La Lola", sería la que contiene: 300 Kg de N; 50 Kg de  $P_2O_5$  y 150 Kg de  $K_2O$ .

4. Apreciación cualitativa visual de las deficienciasa. Deficiencias observadas en arroz y tomate cultivados en suelos

Fertilizantes:	<u>Arroz</u>	<u>Tomate</u>
C	Plantas regularmente desarrolladas. Hojas verde azuladas o verde anarillentas. Macollamiento incipiente.	Desarrollo mediano. Hojas pequeñas, verde-amarillento cenicientas, púrpuras en el envés y en las nervaduras. Bordes necróticos. Tallos color púrpura.
C+ME	Plantas regularmente desarrolladas. Hojas de color verde azulado. Macollamiento incipiente.	Desarrollo mediano. Hojas pequeñas, con bordes necróticos, amarillento-cenicientas, púrpuras en el envés y en las nervaduras. Tallos color púrpura.
PK+ME	Plantas regularmente desarrolladas. Hojas con coloración verde-amarillento intensa. Macollamiento abundante.	Desarrollo deficiente. Hojas pequeñas, color verde amarillento muy intenso, con nervaduras púrpuras. Tallos color púrpura.
NK+ME	Buen desarrollo de las plantas. Hojas y tallos con coloración verde-azulada intensa. Macollamiento pronunciado.	Buen desarrollo. Hojas con bordes necróticos, verde intensas, púrpuras en el envés. Tallos de color verde-púrpura.
NP+ME	Plantas bien desarrolladas. Hojas y tallos de coloración verde-clara. Macollamiento pronunciado.	Desarrollo deficiente. Hojas pequeñas, necróticas, blanco-amarillento-cenicientas, con nervaduras púrpuras. Tallos de color púrpura.
NPK	Plantas muy bien desarrolladas. Hojas y tallos de color verde normal. Macollamiento bien pronunciado.	Muy bien desarrolladas; al final del ensayo hojas tiernas encorvadas, con coloración vinácea en los bordes y ligera necrosis en los ápices. Caída de hojas adultas luego de tornarse amarillento-púrpuras. Tallos de color verde.
NPK+ME	Plantas muy bien desarrolladas. Semejante a la anterior.	Muy bien desarrolladas. Caída de hojas luego de tornarse amarillento-púrpuras. Tallos de color verde.

b. Deficiencias observadas en arroz y tomate cultivados en subsuelos

Fertilizantes:	<u>Arroz</u>	<u>Tomate</u>
C	Desarrollo deficiente. Hojas con coloración verde-amarillenta intensa, necróticas en los ápices. Ausencia total de macollas.	Desarrollo deficiente. Hojas pequeñitas verde-amarillento-cenicientas, con nervaduras púrpuras, necróticas en los bordes. Tallos color púrpura.
C+ME	Desarrollo deficiente. Hojas con coloración verde-amarillenta intensa, necróticas en los ápices. Ausencia total de macollas.	Desarrollo deficiente. Hojas pequeñitas verde-amarillento-cenicientas, con nervaduras púrpuras, necróticas en los bordes. Tallos color púrpura.
PK+ME	Desarrollo deficiente. Hojas con coloración verde-amarillenta intensa, necróticas en los ápices. Ausencia total de macollas.	Desarrollo deficiente. Hojas pequeñitas verde-amarillento-cenicientas, con nervaduras púrpuras, necróticas en los bordes. Tallos color púrpura.
NK+ME	Muy buen desarrollo. Hojas verde-azuladas. Macollamiento abundante.	Buen desarrollo. Hojas medianas, con láminas intensamente verdes, pero con apariencia sucia, nervaduras púrpuras. Tallos color verde-púrpura.
NP+ME	Buen desarrollo. Hojas y tallo con coloración verde amarillenta-clara; más pronunciada en las hojas. Escaso macollamiento.	Desarrollo deficiente. Hojas decoloreadas, amarillo-pálidas, con nervaduras intensamente púrpuras y bordes necróticos. Hojas pequeñas, achaparradas a consecuencia de la necrosis.
NPK	Muy buen desarrollo. Hojas verdes con ligero tinte color verde-azulado. Macollamiento muy pronunciado.	Plantas con desarrollo mediano, achaparradas por debilidad del tallo. Hojas tiernas de color verde intenso, arrolladas, atrofiadas y necróticas.
NPK+ME	Muy buen desarrollo. Hojas verdes con ligero tinte color verde-azulado. Macollamiento pronunciado.	Muy buen desarrollo. Solo al final del ensayo hojas adultas con coloración verde-amarillenta-púrpura. Tallos verdes, ligeramente púrpuras.

Los síntomas de deficiencias observados fueron muy similares en los 4 tipos de suelo (suelo y subsuelo) con ambas plantas indicadoras. Las plantas de tomate, sin embargo, se comportaron como mejores indicadoras del estado de fertilidad de los suelos, pues los síntomas presentados por ellas fueron más notorios y fáciles de identificar.



## V. COMENTARIO

Los resultados del análisis físico indican que las texturas de los suelos tipos I y II son muy parecidas. Debido a la gran cantidad de arcilla presente en el subsuelo, poseen buena capacidad de retención de agua; pero su drenaje es un tanto deficiente. Tienen tendencia a anegarse, apareciendo en el perfil de estos suelos moteamientos rojo-amarillentos y el "gley" azulado grisáceo que indica reducción. El suelo tipo III tiene textura franco-arenosa y por consiguiente presenta una mejor aeración que los anteriores, pero una menor capacidad de retención del agua. El tipo IV, a pesar de que la textura es ligeramente distinta, siendo su capa superficial franco-arcillo-arenosa, parece en general tener las mismas características del suelo tipo III; ambos tienen subsuelo arenoso.

La textura, estructura y consistencia observadas, indudablemente imprimen distintas propiedades a los 4 tipos de suelo; por lo tanto el potencial productivo o fertilidad de los mismos estarán afectadas en mayor o menor grado por las características físicas. En efecto, el tamaño de las partículas y de los poros influye no solo en la absorción de sustancias nutritivas por las raíces de las plantas, sino también en el contenido de dichas sustancias. Se ha encontrado que los agregados de 0.25 mm de diámetro contienen comparativamente más humus, Ca, N móvil y P soluble que los de tamaño menor.

Las características químicas puestas en evidencia por los análisis químicos nos indican que el contenido de elementos nutritivos es semejante en los 4 tipos de suelo. Los contenidos de materia orgánica y de

nitrógeno son en general bajos. Es interesante observar la relación C/N para darse cuenta del comportamiento del N en los suelos y subsuelos estudiados. Para los suelos esta relación es muy alta, especialmente en los tipos I, II y IV, lo cual indica que la mineralización del nitrógeno es muy lenta o ha cesado. Según Thompson (41), a medida que esta relación se acerca a 11.6, la descomposición de la materia orgánica se hace muy lentamente y prácticamente se detiene. Este hecho sugiere que es necesario mantener la materia orgánica en estado activo por medio de prácticas adecuadas en el manejo de los suelos, si se desea obtener mejor utilización del nitrógeno. También Jenny et al. (23) han encontrado valores muy altos para la relación C/N en varios suelos del valle del Cauca, en Colombia.

La relación C/N observada en los subsuelos de "La Lola" fue bastante baja, tal como era de esperar, pues el contenido de materia orgánica era generalmente bajo y el N que se encontraba en esta zona estaba casi totalmente mineralizado, razón por la cual la relación es baja.

La escasez del N asimilable en los suelos y subsuelos es cada vez más marcada con la profundidad, posiblemente debido a la aeración deficiente, así como a exceso de humedad.

Los valores encontrados para el pH, aún cuando podrían considerarse óptimos para el crecimiento de las plantas usadas en este estudio, podrían influir en la solubilidad de ciertas sales de los suelos y subsuelos e indirectamente sobre la nutrición de otras plantas.

La capacidad de intercambio de cationes y la saturación de bases son altas en todos los casos; esto era de esperarse debido al elevado contenido de arcilla de los suelos y subsuelos estudiados, pues, las texturas más

comunes son franco-arcillosa y arcillosa. La capacidad total de intercambio del suelo tipo I y tipo II son idénticas tanto en el suelo como en el subsuelo. El tipo III tiene en el suelo un menor contenido de bases intercambiables, sugiriendo que su constitución es diferente a la del subsuelo que lo soporta. El tipo IV, al poseer menor capacidad de intercambio que los tipos I y II, tanto en el suelo como en el subsuelo, evidencia una fertilidad moderada en razón de sus características físicas peculiares.

A juzgar por el análisis químico había marcada deficiencia de  $P_2O_5$  a similitud. Existe la posibilidad de que una gran cantidad de fósforo se encuentre fijado en los suelos en forma de compuestos insolubles: sales inorgánicas de Ca, Fe o Al.

La riqueza en Ca y Mg se explica por el origen diorítico de los suelos de la zona donde se encuentra localizada la Finca Experimental "La Lola", así como a la excesiva humedad. El elevado contenido de K intercambiable (en cantidad absoluta) detectado por el análisis químico, principalmente para los suelos, nos revela la riqueza de silicatos en los mismos y seguramente la acción del calcio presente, que al favorecer la acumulación del K en dichos suelos confirma las investigaciones de Jenny y Shade (22) respecto a la relación Ca/K.

Considerando las relaciones  $Ca/Mg$  y  $Ca+Mg/K$  se observa en el primer caso un valor bajo, lo cual indica un desbalance en la cantidad de ambos elementos, comparado con el patrón; respecto a la relación  $Ca+Mg/K$  se observa una relación muy alta tanto en los suelos como en los subsuelos. Esto pone de manifiesto que a pesar de que la cantidad absoluta del K es bastante elevada, la cantidad relativa (respecto a sus antagonistas Ca y Mg)

es evidentemente baja.

La determinación de la fertilidad de los 4 tipos de suelo con base a la prueba biológica pone de manifiesto la diferente capacidad productiva de los diferentes tipos estudiados. Los suelos y subsuelos de los tipos I y IV parecen ser más fértiles que los suelos y subsuelos de los tipos II y III (ver Figuras Nos. 1, 2, 3 y 4); sin embargo, el comportamiento de las plantas en todos ellos con la aplicación de fertilizantes fue aparentemente similar.

Los valores del rendimiento relativo en peso seco de la parte aérea y las raíces de las plantas indicadoras muestran que la relación  $NPK/NPK+ME$  es prácticamente 1 e igual que la relación  $C/C+ME$ . Esto podría interpretarse como que la mezcla de micronutrientes no tuvo efectos positivos marcados sobre el rendimiento en peso de las plantas. Estas relaciones fueron más consistentes en la planta de arroz que en la de tomate, donde los micronutrientes parecen haber tenido influencia favorable, especialmente al ser aplicados en los subsuelos en presencia de la combinación NPK. Esta respuesta de las plantas de tomate seguramente se puede explicar por su gran exigencia a macro y microelementos, exigencia comprobada por Hewitt (20) en sus trabajos. Las respuestas a tratamientos sin microelementos revelaron una gran deficiencia de dichos elementos principalmente en los subsuelos, pues se observaron en el tomate, síntomas foliares de deficiencia, tales como cambio de color, variaciones en forma y tamaño, enrrollamiento y necrosis. Existe la posibilidad de que tales síntomas se debieran a la insuficiente cantidad de molibdeno en forma asimilable en estos subsuelos. Según experimentos de Arnon y Stout (2), cuando hay deficiencia

de molibdeno, si éste se agrega al fertilizante completo, se logra aumentar notablemente el rendimiento y crecimiento del tomate, evitando a la vez la aparición de los síntomas antes anotados.

La aplicación en los suelos y subsuelos de fósforo y potasio combinados generalmente no produjo respuestas significativas superiores al testigo en rendimiento relativo en peso seco (parte aérea y raíces), ni en el crecimiento de las plantas de arroz y tomate. En el tomate hubo síntomas marcados de deficiencia, especialmente el color verde-amarillento de las hojas, asociado con la producción de pigmentos púrpuras de antocianina. Esta respuesta, sin lugar a dudas, pone de manifiesto que el factor limitante tanto en suelos como en subsuelos era el nitrógeno, confirmando así los resultados del análisis químico. La poca disponibilidad del nitrógeno en los suelos y subsuelos estudiados se puede atribuir al escaso contenido de materia orgánica y a los factores que limitan su descomposición, conforme se expuso anteriormente.

La poca o ninguna influencia sobre el rendimiento relativo en peso seco (parte aérea y raíces) del arroz y tomate con la aplicación del nitrógeno y fósforo combinados, tanto en los suelos como en los subsuelos, revela con claridad la limitada absorción del potasio por las plantas indicadoras. A pesar de que el contenido de este elemento era alto, tal como indica el análisis químico, no es aprovechado, seguramente por encontrarse fijado en las arcillas y porque el valor de la relación  $Ca+Mg/K$  es muy alto, sugiriendo que se encuentra en cantidad relativa inferior. De acuerdo con esto, es factible que su ausencia en el fertilizante aplicado haya determinado un desequilibrio y en consecuencia la absorción con mayor

intensidad de ión antagónico Ca. La clorosis acentuada (blanqueamiento de las hojas) y la evidente necrosis producida en las plantas de tomate hacen pensar que además de la poca asimilabilidad del K por las plantas, debido a la alta relación Ca/K, su absorción haya disminuído considerablemente debido al exceso de humedad retenida por los suelos y subsuelos ricos en arcilla. Lawton (25), que investigó el cultivo de plantas en macetas con suelos de diferente compactidad, comprobó que la absorción del K disminuyó significativamente en los suelos compactos o con gran cantidad de agua. Reducción significativa del crecimiento y absorción del K, también la observaron Vlamis y Davis (43) en la cebada y el tomate, sobre un suelo inundado con agua.

Las respuestas a la aplicación del nitrógeno y potasio combinados indica por otra parte que el fósforo no constituye factor limitante definido en la producción; así lo comprueban los rendimientos relativos en peso seco de la parte aérea y las raíces de las plantas, excepto en el suelo y subsuelo del tipo II, donde la disponibilidad de este elemento parece ser notoriamente más baja, conforme lo demuestra también el análisis químico.

A pesar de lo dicho, no se descarta la posibilidad de que el fósforo se halle en gran cantidad fijado en forma de compuestos insolubles, difícilmente aprovechables para las plantas, especialmente en los suelos, pues los síntomas característicos de su deficiencia eran notorios con mayor intensidad en el tomate en las primeras etapas de su desarrollo (a los 21 días). Esto significaría que en el primer momento las plantas

sólo utilizaron la pequeña cantidad que se encontraba en solución. La posterior disponibilidad del elemento se puede atribuir a las nuevas cantidades que lograron ser liberadas del complejo insoluble.

Los resultados del rendimiento relativo coinciden con los análisis de la variación y la comparación de promedios del peso seco de la parte aérea y peso seco de las raíces del arroz y tomate cultivados en los suelos y subsuelos estudiados.

De las otras variables que se han analizado estadísticamente, los pesos frescos de la parte aérea del arroz y tomate han mostrado la misma consistencia en la respuesta a los tratamientos; de allí que las diferencias encontradas para tipo de suelo así como para fertilizantes coincidan con las estimadas por los pesos secos. La variable altura del tallo, con siderada para estudiar el efecto de los fertilizantes, no parece ser un dato adecuado para detectar diferencias entre tratamientos; sin embargo, se observan casi las mismas respuestas que con los pesos secos y frescos, pero en este caso los resultados fueron menos consistentes. Esto parece lógico, ya que una planta de mayor altura no siempre posee un mejor estado nutricional. A pesar de lo afirmado, se observa cierto paralelismo en tre los resultados obtenidos con peso seco y fresco y los datos de altura; pero las diferencias promedias debidas a efectos de los tratamientos son mucho menos marcadas en este caso.

Si bien los síntomas de deficiencia o el rendimiento en peso seco de las plantas indicadoras constituyeron informaciones valiosas para el diagnóstico de la fertilidad de suelos y subsuelos, sin embargo, la estimación cuantitativa del contenido de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O fue necesario establecer por

el método de interpolación lineal en la Tabla de Rendimientos de Mitscherlich (11), utilizando los valores del rendimiento relativo en peso seco de las plantas indicadoras.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las necesidades de nutrientes de los suelos y subsuelos estudiados varían de acuerdo al tipo y en menor grado con la especie de planta indicadora. Para obtener una producción superior al 90% del rendimiento máximo las plantas de arroz y tomate necesitarían aplicaciones elevadas de nitrógeno y potasio en los suelos y subsuelos estudiados. La adición de nutrientes fosfatados cobra importancia; su aplicación en proporción adecuada establecería un mejor equilibrio en el desarrollo vegetal. Conviene recordar que el nitrógeno, el fósforo y el potasio están íntimamente asociados en su acción nutritiva y ninguno de ellos produciría sus efectos completos si la proporción de los otros fuese insuficiente; así pues, la aplicación exclusiva de abonos nitrogenados y potásicos podrían producir síntomas de inanición fosfórica al provocar el desequilibrio de nitrógeno-fósforo-potasio.



## VI. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Con el objeto de estimar la capacidad nutritiva de 4 tipos de suelo (suelo y subsuelo) pertenecientes a la Finca Experimental "La Lola", se llevó a cabo un ensayo biológico bajo condiciones de invernadero. Se siguió la técnica de Mitscherlich con ciertas modificaciones. Se utilizaron macetas de 1 kilogramo de capacidad y soluciones nutritivas de macroelementos (nitrato de amonio, fosfato ácido de sodio y sulfato de potasio) y de microelementos (cloruro de manganeso, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácido bórico y ácido molibdico). Se probaron siete combinaciones diferentes de N, P y K, más la mezcla de micronutrientes en los 4 suelos y 4 subsuelos. Se utilizaron dos especies de plantas indicadoras, arroz y tomate. Con cada especie se condujo un experimento con arreglo factorial 4 x 7 en bloques al azar, con tres repeticiones de cada tratamiento. Se tomaron dos clases de datos: cualitativos y cuantitativos. En el primer grupo se consideró el aspecto general de las plantas y en el segundo se consideraron: altura del tallo, peso fresco y seco de la porción aérea de las plantas y peso seco de las raíces. Los datos cuantitativos fueron analizados estadísticamente (análisis de la variación); también se aplicó en su interpretación el concepto del rendimiento relativo a los datos de peso seco. Se estimaron las necesidades de nutrientes en los suelos y subsuelos estudiados por medio del método ideado por Mitscherlich.

De los resultados obtenidos se derivan las siguientes conclusiones:

1. Hay diferencias en la capacidad productiva de los 4 tipos de suelo estudiados. Los suelos y subsuelos de los tipos I y IV parecen ser más fértiles que los suelos y subsuelos de los tipos II y III.

2. Todos los suelos y subsuelos manifiestan deficiencias en materia orgánica, nitrógeno y potasio (en cantidad relativa); por esta razón las plantas indicadoras respondieron significativamente a la aplicación del nitrógeno y potasio combinados.

3. La disponibilidad del fósforo es inferior en los suelos que en los subsuelos; en estos últimos se encuentra en cantidad asimilable suficiente para el buen crecimiento de las plantas.

4. Los suelos mostraron una ligera deficiencia de microelementos, cual fue más marcada en los subsuelos. Sin embargo, el experimento no estaba planeado en forma que permitiera evaluar el comportamiento individual de tales elementos.

5. De acuerdo a la ecuación de Mitscherlich, una fórmula de fertilizante completo para los 4 tipos de suelo podría tener las proporciones 6 : 1 : 3 siendo las cantidades de nutrientes: 300 Kg de N; 50 Kg de  $P_2O_5$ ; 150 Kg de  $K_2O$  por hectárea.

6. Tanto el arroz como el tomate se comportan como plantas indicadoras eficientes para la evaluación de la fertilidad del suelo y subsuelo. El tomate es más sensitivo a las deficiencias minerales que el arroz.

7. En general, los resultados obtenidos en el análisis químico coincidieron con los obtenidos en la prueba biológica, excepto en el caso del fósforo disponible; de acuerdo con el análisis químico pareciera existir deficiencia de este elemento, pero las plantas no respondieron a la aplicación del mismo.

8. La prueba biológica ha verificado tener considerable valor en el reconocimiento de la fertilidad de los suelos y subsuelos de la Finca Experimental "La Lola".

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

In order to estimate the nutrient status of four (4) soil types (top soil and subsoil) represented at "La Lola" cacao farm, a biological test was carried out under greenhouse conditions. Mitscherlich's technique was followed with some modifications. Pots of one kilogram of soil capacity and aqueous solutions of macro-nutrients (ammonium nitrate, sodium phosphate and potassium sulphate) and of micro-nutrients (manganese chloride, copper sulphate, zinc sulphate, boric acid and molybdic acid) were used. Seven different combinations of N, P, K and micro-nutrients were tested in both topsoils and subsoils. Rice and tomato plants were used as test plants. In both experiments (topsoil and subsoil) a factorial randomized 4 x 7 design was used for each indicator plant with three replications of each treatment. Both qualitative and quantitative data were recorded, such as the general aspect of the plants, the height of the stem, the wet and the dry weights of the aerial parts and the dry weight of the roots. Results were statistically analyzed by the analysis of variance method, and also the concept of relative yield was applied, using data for dry weight of the aerial parts and of the roots. Mitscherlich's equation was applied to estimate the nutrient requirement of soils and subsoils studied.

The following conclusions are derived from the results obtained:

1. The four soil types studied gave differences in yield of the test plants. The topsoils and the subsoils of Types I and IV appear to be more fertile than the topsoils and subsoils of Types II and III.

2. All topsoils and subsoils showed deficiencies in organic matter, nitrogen and potassium. For that reason, the plants used as indicators responded significantly to the combined applications of nitrogen and potassium.

3. The availability of phosphorus was found to be less in the topsoils than in the subsoils. It was found to be present in adequate amount for plant requirements in the subsoils.

4. The topsoils showed slight deficiency in micro-nutrients and the subsoils showed marked deficiency, but the identity of the particular micro-nutrients which are deficient could not be ascertained from this experiment.

5. According to the Mitscherlich equation, a complete fertilizer formula for the four soil-types should have the following proportions: 6:1:3, in which the amounts of fertilizers would be 300 kg. of N, 50 kg. of  $P_2O_5$ , and 150 kg. of  $K_2O$  per hectare.

6. Both rice and tomato, behaved as efficient plant indicators in the evaluation of soil fertility. Tomato proved to be the more sensitive to mineral deficiencies than rice.

7. In general, the results obtained by the chemical analysis of the topsoils and the subsoils coincided with those obtained by the pot test except in the case of available phosphorus. According to the chemical analysis, the soils showed a deficiency of this element but the plants did not respond to the application of phosphate to the soils.

8. The biological test proved to have considerable value in the assessment of soil and subsoil fertility at the "La Lola" experimental farm.

## LITERATURA CITADA

1. ARISTIZABAL GALLO, A. Estudio de la fertilidad de los suelos de la Estación Agrícola Experimental de Palmira. *Notas Agronómicas (Colombia)* 7(1, 2 y 3):1-13. 1954.
2. ARNON, D. I. & STOUT, P. R. Molybdenum as an essential element for higher plants. *Plant Physiology* 14:599-602. 1939.
3. ARNOTT, G. W. Soil survey reports, 6. The Kelantan deficiency area. *The Malayan Agricultural Journal* 40(2):60-91. 1957.
4. BAZAN SILVA, R. Reconocimiento de suelos de la finca experimental "La Lola". Comunicación personal. Turrialba, Costa Rica. 1962.
5. BOUSSINGAULT, J. B. Recherches chimique sur la végétation enterprises sur le but d'examiner si les plantes prenent de l'azote á l'atmosphere. *Annales de Chimie et de Physique* 67:5-45. 1838. (Original no disponible para consulta; citado en: SANCHEZ POTTS, C. Fertilidad de dos tipos de suelo de las series Gorgona y Estación Palmira; ensayo en el invernadero. *Acta Agronómica (Colombia)* 4(3):144, 159. 1954.
6. BOUYOUCOS, J. G. Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Science* 42(3):225-228. 1936.
7. BUDOWSKI, G. & SCHREJDER, G. F. The climate at Turrialba. Turrialba, Costa Rica. Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Department of Forestry. Communications from Turrialba no. 68. 1961? pp. 4, 10, 22.
8. CONTREIRAS, J. ET AL. Estado de fertilidade de alguns solos de Sao Tomé. I. Ensaio em vasos pelo metodo substractivo. *Estudos Agronómicos (Portugal)* 1(2):125-183. 1960.
9. CORREA VELASQUEZ, J. Estudio comparativo de la fertilidad de seis series de suelo de Colombia, bajo condiciones de invernadero. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 1(2):61-98. 1957.
10. \_\_\_\_\_. Fertilidad de los suelos de la serie "Montería", del departamento de Córdoba. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía (Colombia)* 20(54):71-75. 1960.
11. DEMOLON, A. *Principes d'agronomie*. Paris, Dunod, 1946-1948. 2:295.
12. GARGANTINI, H. Levantamento da fertilidade de solos de Estação Experimental de Pindamonhangaba. *Bragantia (Brasil)* 17(13):177-193. 1958.

13. HARDY, F. Phosphate deficiency in some West Indian soils as revealed by pot tests. *Tropical Agriculture* 26(7-12):85-92. 1949.
14. \_\_\_\_\_. Soil survey of "La Lola" cacao farm; preliminary report. Turrialba, Costa Rica, Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1961. 34 p. (mimeografiado)
15. \_\_\_\_\_. Información sobre toma de muestras de suelos en un perfil. Comunicación personal. Turrialba, Costa Rica. 1962.
16. \_\_\_\_\_. Preparación de soluciones nutritivas de macroelementos. Comunicación personal. Turrialba, Costa Rica. 1962.
17. HARDY, F., HARPER, A. S. & CRIPPS, E. G. Assessment of fertility of abnormal soils. B. Ferruginous red soils. (Comparison of chemical tests with the Mitscherlich and other pot tests). *Tropical Agriculture* 18(12):238-243. 1941
18. HARDY, F. & HARPER, A. S. Assessment of fertility of abnormal soils. A. Rendzina or humus-carbonate soil; comparison of chemical tests with the Mitscherlich and other pot tests. *Tropical Agriculture* 18(2):214-221. 1941.
19. HARDY, F. & JORDAN, J. W. Soil fertility of some peasant lands in Trinidad; assessment by chemical analysis and pot-tests. *Tropical Agriculture* 23(1):12-19. 1946.
20. HEWITT, L. J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops. Technical Communication no. 22. 1952. 241 p.
21. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1958. pp. 59-220.
22. JENNY, H. & SHADE, E. R. The potassium lime problems in soils. *American Society of Agronomy. Journal* 26:162-170. 1934.
23. JENNY, H. ET AL. Estudio sobre la fertilidad de ocho suelos colombianos. Federación Nacional de Cafeteros, Chinchiná, Colombia. *Boletín Técnico* 1(9):1-16. 1953.
24. JENNY, H., VLAMIS, J. & MARTIN, W. E. Greenhouse assay of fertility of California soils. *Hilgardia* 20(1):1-8. 1950.
25. LAWTON, K. The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plants. *Soil Science Society of America. Proceedings* 10:263-268. 1945.

26. LOCKARD, R. G. The foliar symptoms of deficiencies of the major elements in rice. *The Malayan Agricultural Journal* 39(4):268-276. 1956.
27. LOPEZ A., M. Estudio biológico del suelo de la serie 250; "Informe de Progreso" del Proyecto QA-10 para esta serie de suelo. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia. *Boletín Informativo* 6(61):37-39. 1955.
28. McCLUNG, A. C. ET AL. Alguns estudos preliminares sobre possíveis problemas de fertilidades, em solos de diferentes campos cerrados de Sao Paulo e Goiás. *Bragantia (Brasil)* 17(3):29-44. 1958.
29. McDONALD, J. A. A sensitive pot test for phosphate deficiency in soils. *Tropical Agriculture* 10(4):108-111. 1933.
30. PALTRIDGE, T. B. & SALMOND, B. Studies on the nutrient status of some coconut soils in Ceylon. 3. The forest soil at "Ambakelle". A. Preliminary experiments. *Tropical Agriculturist* 114(1):7-18. 1958.
31. PALTRIDGE, T. B. & SANTHIRASEGARAM, K. Studies on the nutrient status of some coconut soils in Ceylon. 1. The lateritic soils on "Bandirippuwa" Estate. A. "Lateritic gravel". *Tropical Agriculturist* 113(1):7-43. 1957.
32. \_\_\_\_\_. Studies on the nutrient status of some coconut soils in Ceylon. 1. The lateritic soils on "Bandirippuwa" Estate. B. Preliminary experiment with "Lateritic loam" and "Lateritic sand". *Tropical Agriculturist* 113(3):189-210. 1957.
33. \_\_\_\_\_. Studies on the nutrient status of some coconut soils in Ceylon. 2. The "cinnamon sand" on Horrekelly Estate. A. Preliminary experiments. *Tropical Agriculturist* 113(4):261-304. 1957.
34. PARRA H., J. Fertilidad en la serie de suelos Chinchiná. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia. *Boletín Informativo* 3(27):30-38. 1952.
35. \_\_\_\_\_. Las chapolas de café en el estudio de los suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia. *Boletín Informativo* 4(42):15-26. 1953.
36. SAIZ DEL RIO, J. F. & BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 107 p.

37. SANCHEZ POTES, C. Fertilidad de dos tipos de suelo de las series Gorgona y Estación Palmira; ensayo en el invernadero. *Acta Agronómica (Colombia)* 4(3):143-160. 1954.
38. SCHROO, H. The use of pot tests in research on the fertility of sugar-cane soils. II. A pot test with potash, lime and magnesio on the early response of cane grown on Talparo Red Clay. *Tropical Agriculture* 30(10-12):206-215. 1953.
39. \_\_\_\_\_. The use of pot tests on research on the fertility of sugar-cane soils. III. A pot experiment on the loss of effectiveness of ammonium sulphate and superphosphate. *Tropical Agriculture* 31(1):71-78. 1954.
40. \_\_\_\_\_. The use of pot tests in research on the fertility of sugar-cane soils. VI. The effect of increasing phosphate dressings and various methods of placement on the phosphate status of Red Ferruginous Clay and on the growth of cane. *Tropical Agriculture* 31(4):327-241. 1954.
41. THOMPSON, L. M. *Soils and soil fertility*. New York, McGraw-Hill, 1952. p. 139.
42. VLAMIS, J. Growth of lettuce and barley as influenced by degree of calcium saturation of soil. *Soil Science* 67(6):453-466. 1949.
43. VLAMIS, J. & DAVIS, A. R. Effects of oxygen tension on certain physiological responses of rice, barley and tomato. *Plant Physiology* 19(1):33-51. 1944.
44. WASOWICZ, T. Notes on the fertility of cacao soils. A. Diminishing fertility of successive soil layers. B. Effect of drying on soil fertility. *Tropical Agriculture* 29(7-12):156-162. 1952.



APPENDICE a

Descripción de los perfiles de los pozos representativos de los cuatro tipos de suelo, según Hardy (14).

Tipo I.

Pozo XIII, ubicado en la sección 14, al lado norte de la Finca, contiguo a la línea principal del ferrocarril. (Al este de un pastizal grande y cerca a un arroyo. Cultivo: cacao).

(0-7.5 cm) Arcillo-limoso-húmico, abundancia de raicillas superficiales y residuos vegetales.

(7.5-15 cm)	}	Arcillo-limoso uniforme con estructura granular fina, se
(15-30 cm)		torna compacto en la parte inferior. Falsa arena.
(30-45 cm)		Friable cuando seco, plástico cuando húmedo.
(45-60 cm)		Color, 10 Yr 4/4.
(60-90 cm)		Unidades de estructura subangular bastante duras.

Barreno: Piedras a 120 centímetros.

Principales características: (1) Integramente arcillo-limoso  
 (2) Zona radical no bien definida  
 (3) Drenaje libre  
 (4) Capa pedregosa bajo la base del pozo.

Clase 2 (Arcillo-limoso)

Tipo II.

Pozo XVIII ubicado en la sección 27 N. Extremo N.E., esquina de la Finca. Pozo en una pequeña elevación. Cerca al poblado de Waldeck. (Cacaotal viejo).

(0-7.5 cm) Gris-azúl oscuro, arcillo-limoso compacto, finamente agregado, ausencia de raicillas superficiales; residuos vegetales esparcidos. Poca infiltrabilidad.

- (7.5-15 cm) Arcillo-limoso. Transición. Color 10 YR 3/4 (café oscuro)
- (15-30 cm) } Cambio a agregado granular, arcillo-limoso (pseudo arena).
- (30-45 cm) } Friable. Mas bien en bloques con unidades de estructura  
subangular en forma de cuadrados.
- (45-60 cm) Transición; arcillo-limoso. Color 10 YR 5/8.
- (60-100 cm) Cambio a un arcillo-limoso de color café brillante, posiblemente con un poco de arena gruesa.

Barreno: Ausencia de piedras hasta 180 centímetros. Arena gruesa.  
Arenisca gruesa moteada, azul gris en la base.

Principales características: (1) Compacto, reducido, arcillo-limoso  
sobre arcillo-limoso.

- (2) Zona radical no bien definida
- (3) Drenaje interno y superficial posiblemente impedido
- (4) Ausencia de capa de piedras.

Clase 1 (Arcillo-limoso)

Tipo III.

Pozo VIII, ubicado en la sección 1. Próximo al límite oeste.

- (0-7.5 cm) Arcillo-limoso, altamente húmico, con un poco de arena gruesa. Agregados de pseudo arena.
- (7.5-15 cm) Menos húmico, en todo lo demás similar.
- (15-30 cm) } Cambio a arena bastante suelta y medianamente gruesa, con
- (30-45 cm) } minerales frescos, incluyendo magnetita. Ligera cantidad  
de suelo arcillo-limoso. Lestructura débil.
- (45-60 cm) Cambio a arena más gruesa y más suelta. Apariencia moteada.

(60-80 cm) Sin cohesión.

(80-100 cm) Cambio a suelo areno-arcilloso, plástico y viscoso.

Barreno: Piedras a 120 centímetros.

Principales características: (1) Arcillo-limoso sobre arena gruesa,  
sobre arcillo-arenoso plástico.

(2) Zona radical no bien definida

(3) Drenaje imperfecto

(4) Capa de piedras debajo de la base  
del pozo.

Clase 5 (Arcillo-limoso sobre arcillo-arenoso plástico).

Tipo IV.

Pozo XI, ubicado en la sección 3: Extremo noroeste de la esquina de la Finca, al norte del pozo X. Próximo a la cerca de la casa. Línea ferroviaria al norte, y a poca distancia.

(0-7.5 cm) } Ligeramente húmico, arcillo-limoso-arenisco

(7.5-15 cm) }

(15-30 cm) } Similar pero menos húmico; arcillo-limoso-arenisco unifor

(30-45 cm) } me.

(45-63 cm) Cambio a arcillo-limo-arenoso más grueso.

(63-70 cm) Cambio a arena gruesa con inclusiones de grava; arcillo-  
limoso suelto.

(70-94 cm) Cambio a arcillo-limoso.

Barreno: Piedras a 125 centímetros.

Principales características: (1) En su mayor parte arena gruesa, con arcillo-limoso.

(2) Zona radical no bien definida

(3) Drenaje ligeramente impedido

(4) Capa de piedras debajo de la base del pozo.

Clase 6 (Arena gruesa).

APENDICE b

Ensayo biológico en el invernadero. Tratamientos combinados e identificación de macetas en los experimentos para suelo y subsuelo.

<u>Tratamientos</u>	<u>Macetas Nos.</u>	<u>Tratamientos</u>	<u>Macetas Nos.</u>
I A P1	1; 57; 113	III A P1	29; 85; 141
I A P2	2; 58; 114	III A P2	30; 86; 142
I B P1	3; 59; 115	III B P1	31; 87; 143
I B P2	4; 60; 116	III B P2	32; 88; 144
I C P1	5; 61; 117	III C P1	33; 89; 145
I C P2	6; 62; 118	III C P2	34; 90; 146
I D P1	7; 63; 119	III D P1	35; 91; 147
I D P2	8; 64; 120	III D P2	36; 92; 148
I E P1	9; 65; 121	III E P1	37; 93; 149
I E P2	10; 66; 122	III E P2	38; 94; 150
I F P1	11; 67; 123	III F P1	39; 95; 151
I F P2	12; 68; 124	III F P2	40; 96; 152
I G P1	13; 69; 125	III G P1	41; 97; 153
I G P2	14; 70; 126	III G P2	42; 98; 154
II A P1	15; 71; 127	IV A P1	43; 99; 155
II A P2	16; 72; 128	IV A P2	44; 100; 156
II B P1	17; 73; 129	IV B P1	45; 101; 157
II B P2	18; 74; 130	IV B P2	46; 102; 158
II C P1	19; 75; 131	IV C P1	47; 103; 159
II C P2	20; 76; 132	IV C P2	48; 104; 160
II D P1	21; 77; 133	IV D P1	49; 105; 161
II D P2	22; 78; 134	IV D P2	50; 106; 162

<u>Tratamientos</u>	<u>Macetas Nos.</u>	<u>Tratamientos</u>	<u>Macetas Nos.</u>
II E P1	23; 79; 135	IV E P1	51; 107; 163
II E P2	24; 80; 136	IV E P2	52; 108; 164
II F P1	25; 81; 137	IV F P1	53; 109; 165
II F P2	26; 82; 138	IV F P2	54; 110; 166
II G P1	27; 83; 139	IV G P1	55; 111; 167
II G P2	28; 84; 140	IV G P2	56; 112; 168

### Tipos de suelo

- I= Arcillo-limoso con piedras
- II= Arcillo-limoso sin piedras
- III= Arcillo-limoso sobre areno-arcilloso
- IV= Arena gruesa.

### Fórmulas nutritivas

- A= Testigo
- B= Microelementos (ME)
- C= PK+ME
- D= NK+ME
- E= NP+ME
- F= NPK
- G= NPK+ME

### Plantas indicadoras

- P1= arroz
- P2= tomate