

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE UTILIZACION DE NUTRIMENTOS EN
VARIETADES DE CAFE Y CACAO Y SU RELACION
CON EL RENDIMIENTO

Por

JORGE GUTIERREZ GALLARDO

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica
Agosto, 1964

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE UTILIZACION DE NUTRIMENTOS EN
VARIETADES DE CAFE Y CACAO Y SU RELACION
CON EL RENDIMIENTO

Tesis

Sometida al Consejo de Estudios Graduados
como requisito parcial para optar al grado


de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

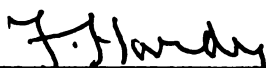
APROBADA:


E. JIMENEZ S.
FARSANTE


Consejero



Comité



Comité



Comité

Agosto, 1964

A mi esposa

A mis hijos

AGRADECIMIENTOS

El autor deja constancia de sus agradecimientos a su Consejero Principal Dr. Eduardo Jiménez, bajo cuya dirección se llevó a cabo el presente trabajo. A los miembros de su Comité Consejero Drs. Pierre G. Sylvain, Ludwig Müller y Profesor Frederick Hardy; así como también al Dr. Elemer Bornemisza e Ing. Edilberto Camacho, quienes se sirvieron reemplazar a los Sres. Sylvain y Müller, durante la ausencia de ellos. Al Ing. Rufo Bazán por su gentil colaboración. Al Ing. Gilberto Páez por sus valiosos comentarios acerca de la parte de estadística.

A USAID-Ecuador, entidad que proporcionó la beca. Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, por haberle facilitado la realización de los estudios postgraduados. Al Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura de Ecuador (entidad que dejó de operar en ese país), por haberle brindado la oportunidad para efectuar estos estudios.

Al personal de ayudantes del Laboratorio de Fisiología del IICA, en especial al Sr. Joaquín Salazar por su colaboración en la parte práctica.

A los compañeros de estudio y demás miembros del personal del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas que en una u otra forma le prestaron gentil ayuda durante su permanencia.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Riobamba, Ecuador, en el año de 1933.

Realizó sus estudios universitarios en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Guayaquil, en donde obtuvo su título de Ingeniero Agrónomo en el año de 1959.

De 1959 a 1962 trabajó en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, del mismo país.

En octubre de 1962, se trasladó al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, para realizar estudios postgraduados, de donde egresó en agosto de 1964.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	2
Mejoramiento: Cacao, Café y otros cultivos	2
Fisiología y Nutrición	4
MATERIALES Y METODOS	9
Descripción del material	10
Experimentos en café	16
Experimentos en cacao	18
RESULTADOS	20
Experimentos en café	20
Experimentos en cacao	37
DISCUSION	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
RESUMEN	48
SUMMARY	50
LITERATURA CITADA	52
APENDICE	57

INTRODUCCION

Uno de los factores que limita el desarrollo rápido de los programas de mejoramiento de los cultivos perennes, tales como cacao y café, es el tiempo prolongado de observación a que debe someterse el material para su evaluación.

Los fitomejoradores generalmente están interesados en obtener clones, variedades, líneas o individuos de alto rendimiento y/o con resistencia a alguna enfermedad o plaga. La evaluación de estas características casi siempre se realiza en períodos que oscilan entre 5 y 15 años.

Si fuere posible abreviar esta prolongada espera, los programas de mejoramiento de cultivos perennes recibirían un notable impulso.

Se estima que la producción alta y precoz así como otras manifestaciones del vigor, están reguladas por la constitución genética de las plantas, la misma que determinaría las características fisiológicas y metabólicas.

La presente investigación tuvo como objetivo principal buscar un método que permita la evaluación temprana de clones de cacao y variedades de café, en un período corto, mediante la determinación de la capacidad de asimilación de nutrimentos y su correlación con el rendimiento.

REVISION DE LITERATURA

Mejoramiento: Cacao, Café y otros cultivos

Trinidad, Ecuador, Costa Rica y otros países de América Tropical (15, 24, 44, 45, 46, 47), vienen desarrollando actualmente diferentes experimentos de comparación de clones y de híbridos interclonales de cacao, bajo condiciones de campo y a largo plazo. Igualmente, varios países cacaoteros de Africa, están llevando a cabo programas similares (17).

En varios países productores de café, se vienen desarrollando programas de mejoramiento de este cultivo. Los trabajos que se conducen en Brasil, El Salvador, Costa Rica y varios países de Africa entre otros, son de enorme importancia. Igual que en cacao, la evaluación de este material requiere períodos largos.

En Trinidad, Cheesman y Pound (9, 49) desarrollaron el primero y más aceptado de los métodos para seleccionar árboles de cacao basándose en la producción total por árbol. Las medidas de calificación usadas fueron números de mazorcas por árbol, peso de las almendras, número de mazorcas necesario para hacer una libra de cacao seco (Índice de mazorca), y peso promedio de una almendra seca (Índice de semilla).

Este mismo método modificado o sin modificar, es el que se usa actualmente, en los países cacaoteros para evaluar árboles individuales o poblaciones de cacao.

Anleú, citado por Soria (45), utilizó el mismo criterio seguido por Cheesman y Pound, incluyendo además otras medidas como grado de compatibilidad, vigor aparente, extensión del tronco, etc.

Van der Knaap (28), en Java, propuso un método de selección tomando en consideración el número de mazorcas producidas por un árbol, en dos años consecutivos y el diámetro del tronco.

Ascenso citado por Vello (55), en cambio, concedió mayor importancia al criterio de selección basado en medidas de altura del tallo.

Soria (49), describe un nuevo método valiéndose de la información proporcionada por los otros métodos más otras características adicionales, lo que, según su opinión, permite refinar la evaluación de los árboles.

Algunos países cuentan con un buen número de clones de alto rendimiento, seleccionados a base de los métodos mencionados; sin embargo, este material no ha sido usado extensamente por los agricultores, por que éstos prefieren las plantas de semilla. Esta es una de las razones por las que los programas de este cultivo han orientado sus investigaciones hacia la obtención de semilla híbrida de características sobresalientes (47); pero la evaluación de este material, también requiere períodos largos de tiempo y grandes áreas de terreno. Refiriéndose a este problema, Vello (55) manifiesta que si se pudiera comprobar la existencia de una asociación entre el vigor temprano de las plantitas de cacao y su futura habilidad de rendimiento, se obtendría una ayuda efectiva en los programas de selección.

Igualmente Bartley (3), al comentar acerca de las primeras informaciones del West African Cocoa Research Institute relacionadas con la aparente asociación positiva entre el diámetro del tronco y el rendimiento, sugiere que esta relación podría ser de valor en la predicción temprana del rendimiento de árboles individuales.

Uno de los primeros intentos para buscar una evaluación temprana de progenies híbridos de cacao, lo realizó Glendinning (16) en Ghana. Este investigador determinó algunos caracteres indicadores del vigor híbrido, los que mostraron tener correlaciones positivas y altamente significativas con la futura capacidad de rendimiento.

Posteriormente Vello (55), estudió en Costa Rica el valor de diferentes medidas que se utilizan para estimar el vigor híbrido en temprana edad y concluyó que el índice de asimilación neta y el índice de crecimiento relativo podrían servir para estimar el vigor híbrido en cacao, siempre que tales medidas fueren debidamente probadas.

El índice de asimilación neta equivale al aumento en peso seco de la planta por unidad de área foliar y por unidad de tiempo (1). El índice de crecimiento relativo representa el aumento de peso por unidad de tiempo.

Respecto a herencia cuantitativa en *Coffea*, Sybenga (53) expone que hay pocos informes de estudios genéticos sobre caracteres que tengan variación continua, tales como rendimiento, tamaño del árbol, intensidad de crecimiento, tamaño del grano, etc. Sin embargo, este tipo de herencia es la que generalmente, interesa más a los mejoradores.

Fisiología y nutrición

Según Murray (39) el estudio de un organismo vivo, tal como un árbol, requiere una interrelación muy compleja de todos los factores envueltos en el crecimiento. El mismo autor al referirse al rendimiento, indica que éste es el producto de la absorción de nutrimentos del suelo por medio de las raíces y la producción de carbohidratos en las hojas a través de la fotosíntesis. Estas dos fuentes de materia

cruda deben estar bien balanceadas para que se obtengan los mejores resultados. Bridgland (5) subraya la influencia de la constitución genética de cada planta, junto con la acción de los diferentes factores del medio ambiente, como responsables del rendimiento.

Sylvain (51) concuerda con la opinión de Murray al exponer que una producción eficiente de carbohidratos en las hojas de café, parece ser un factor responsable de altos rendimientos, de lo cual deduce que una planta con un alto índice de asimilación neta o una superficie foliar muy extensa podría ser más productiva que otra que no posea estas características. Con estas premisas, Sylvain sugiere que en los programas de mejoramiento actuales, se debiera buscar correlaciones entre altos rendimientos con las características fisiológicas y anatómicas de las plantas.

Las medidas más usualmente empleadas para determinar la mayor actividad fisiológica (8, 20, 21), o para estimar la expresión de mayor vigor son: la altura total de la planta, el diámetro del tallo, el índice de asimilación neta, el índice de crecimiento relativo.

Varios investigadores (23, 31, 37) manifiestan que el análisis químico de los tejidos foliares o de otros tejidos vegetales es un método útil para conocer el estado nutricional de una planta y sus necesidades. Según la opinión de Colonna (13) y Hardy (19) este procedimiento podría servir para estimar la capacidad de una planta para absorber los nutrimentos minerales del suelo y la aptitud del suelo para ceder tales nutrimentos. Sin embargo, en la opinión del autor, para conocer la capacidad de absorción de una planta se considera más indicado el uso de un método directo, como el descrito y empleado en la presente investigación.

Las medidas descritas antes, lo mismo que la capacidad fotosintética, la intensidad transpiratoria, o cualesquiera medida fisiológica, presentan valores diferentes en cada especie (1) y aún dentro de una misma especie fluctúan alrededor de un valor promedio (19). No se conoce con claridad la causa de esas fluctuaciones o variaciones dentro de una misma especie; sin embargo la mayoría de los investigadores sostiene que se deben a causas genéticas. Cualquiera que fuere la causa, los efectos sobre el rendimiento parecen siempre los mismos. Fennah (14) expresó que las variaciones de rendimiento entre árboles pertenecientes a clones de cacao conocidos como buenos productores, bajo circunstancias apropiadas y ubicados en sitios aceptados como fértiles, serán un reflejo de las diferencias en los índices de asimilación neta.

Pound (43) al analizar separadamente los rendimientos de árboles de cacao de alta y de baja producción de una sola parcela, en un suelo uniforme, observó que los árboles respondieron de manera diferente a la aplicación de varios fertilizantes. De este hecho dedujo que los mecanismos de absorción eran diferentes; pero no pudo precisar si tales diferencias eran debidas a variaciones genéticas o a otras causas. En cambio Goodall (18), atribuye a causas genéticas las diferencias significativas encontradas en las medidas del índice de crecimiento relativo de cuatro progenies de cacao, provenientes de cuatro árboles de la variedad amelonado. Una tendencia similar encontró en las medidas de proporción de asimilación neta y proporción de incremento en área foliar.

Taschdjian, citado por Sylvain (52) encontró diferencias estadísticamente significativas en las medidas de la intensidad

transpiratoria de dos progenies de Coffea arabica. Según Sylvain (52) estos resultados podrían ser atribuidos a causas genéticas.

Colonna (13) estudió las diferencias en el contenido de minerales de los tejidos foliares de cinco clones de café de la variedad Robusta, seleccionados en razón de sus diferencias en rendimiento, y observó la existencia de diferencias notables en la capacidad de acumulación de los diversos elementos en los tejidos foliares de cada clon. Resultados similares fueron obtenidos en la Estación Experimental del Distrito Chikmalagur, India (11), al comparar la composición foliar de algunas variedades de café.

En cambio Malavolta y colaboradores (33), del Brasil, constataron que no existía diferencias significativas en el contenido de macro y micro nutrimentos de la pulpa y semilla de tres variedades comerciales de café.

Respecto al tipo de correlación que se ha podido determinar entre las diferentes medidas fisiológicas y el rendimiento, se destaca la obtención de correlaciones positivas y significativas entre producción y diámetro del tallo, encontradas por varios investigadores en diferentes lugares (5, 16, 26, 28, 48).

Varios investigadores (6, 12, 13, 32, 34, 35, 41, 54) también han demostrado la existencia de correlaciones estrechas entre el rendimiento y el contenido de varios nutrimentos en los tejidos foliares o en otros tejidos. Estas relaciones han sido demostradas en cacao, café, maíz, caña de azúcar, tomates y otros cultivos.

En estudios realizados con plantas de diferentes especies, Watson (56) demostró que el área foliar es por lo general el factor más

íntimamente relacionado con la capacidad de producción. Correlaciones similares fueron encontradas por Bridgland (5) entre tamaño del árbol de cacao, en los primeros estados de crecimiento y la producción. Resultados contrarios a los de Bridgland fueron observados por Garner en plantas de café, según una cita de Sybenga (53).

MATERIALES Y METODOS

En base a su rendimiento se seleccionaron 6 clones de cacao y 8 variedades de café.

Los siguientes clones de cacao fueron escogidos por alto rendimiento: UF-221, UF-667, UF-677 y UF-613; por bajo rendimiento se escogió un árbol de semilla de polinización abierta del clon UF-650 y otro árbol similar de la variedad local conocida como matina.

El material clonal forma parte de dos ensayos de comparación de estacas de clones y plantas de semillas provenientes de esos mismos clones, que se conducen simultáneamente en terrenos del IICA en Turrialba y en la Finca La Lola ubicada en la costa atlántica.

Las plantas de semilla clonal se seleccionaron en una plantación localizada en La Hulera (Turrialba), en la cual se toman anualmente datos de producción por árbol. Los promedios de varios años de producción de estos árboles corresponden a los más bajos de la plantación, a pesar de que las plantas presentan características externas normales.

La información para clasificar los clones de alta producción se obtuvo de los Informes Anuales del Centro de Cacao del IICA (1959-1963). Los promedios más altos corresponden a los clones UF-221 y UF-667, ocupando el tercero y cuarto lugar los clones UF-677 y UF-613, respectivamente.

Los cultivares de café seleccionados por alto rendimiento (clase I) bajo las condiciones de la colección de especies y variedades de café del IICA, fueron: Bourbon rojo, Caturra rojo, Mundo Novo, K-P-427 y Geisha. Entre las de bajo rendimiento (clase II) se escogieron: Maragogipe, Purpuracens y typica.

Descripción del material

a) Cacao:

UF-221. De origen Trinitario, seleccionado en Costa Rica. Este clon presenta un crecimiento vigoroso, alto porcentaje de autocompatibilidad y es aparentemente heterocigoto.*

UF-667. De origen Trinitario, seleccionado en Costa Rica. Presenta un crecimiento vigoroso y abundante floración. Además, posee buen grado de autocompatibilidad y de compatibilidad cruzada*.

UF-677. Trinitario, seleccionado en Costa Rica. Su crecimiento es menos vigoroso que los anteriores. Es autocompatible*.

UF-613. De igual origen que los anteriores. Presenta un crecimiento vigoroso, alto grado de autocompatibilidad y abundante floración*.

Arbol de semilla del clon UF-650. Posee características de Trinitario; su crecimiento es vigoroso y su floración abundante. Se encuentra bajo sombra de Hevea, y los árboles vecinos parecen normales en cuanto a su desarrollo y producción.

b) Café

Bourbon. Choussy citado por León (30) estableció el tipo

Bourbon considerando además de la diferencia en color de

* Información tomada de los archivos del Centro de Cacao del IICA.

las hojas nuevas, cerca de 17 características adicionales que lo diferencian del typica. Entre ellas, mayor crecimiento vegetativo, mayor número de axilas florales, y precocidad más marcada. Esta variedad es la segunda más ampliamente cultivada de C. arabica (30).

Caturra. Variedad originada en el Brasil, es posiblemente una mutación de Bourbon. Se caracteriza por su porte bajo y aspecto vigoroso y compacto. Es más precoz que las líneas comunes de typica y Bourbon (29, 30, 53).

Mundo Novo. Es una variedad aparecida en el Brasil, probablemente como un cruce entre Bourbon y Sumatra. Se caracteriza especialmente por un crecimiento sumamente vigoroso (29, 30).

K-P-427. (Kent Plots). Cultivar seleccionado en la India. Se originó de progenies de typica escogidas por varias características sobresalientes, entre ellas marcada resistencia a Hemileia (30).

Geisha. Esta variedad se caracteriza por presentar plantas altas y de follaje compacto (30).

Maragogipe. Presenta plantas de gran tamaño y de aspecto muy vigoroso. Los internudos son largos, el número de flores por axila es bajo, los frutos y semillas son grandes (7, 30, 53).

Purpuracens. Es una mutación de typica. Las hojas flores y frutos son menores que en la variedad anterior (30, 53). No tiene prácticamente ningún interés comercial (29).

Typica. Corresponden a esta variedad varias poblaciones de C. arabica ampliamente distribuida en América Tropical, donde se la conoce por diferentes nombres. En algunos países ha sido reemplazada, o se halla en proceso de reemplazo. Algunos mejoradores consideran esta variedad como norma para comparar otras variedades (29, 30, 57).

\ Las plantas de cacao fueron preparadas por el sistema de acodos, siguiendo el método corriente. El enraizamiento fue completamente satisfactorio, pero durante el período de aclimatación ocurrieron muchas pérdidas, por lo cual fue necesario proceder a la preparación de un segundo grupo de acodos. Se empleó el mismo método, excepto que esta vez, se inyectó en los acodos, 6 días antes de separarlos de los árboles, 40cc. de solución nutritiva preparada según la fórmula Nº 2 de Hoagland and Arnon (22) diluida 1:2. La inyección se practicó en el medio enraizante. Se esperaba con esto que las raíces comenzaran a ambientarse y a la vez se estimularan en el medio en que posteriormente habrían de desarrollarse*. Sin embargo, también en esta ocasión la mortalidad de los acodos durante la aclimatación fue alta.

Se debe indicar que a partir de diciembre de 1963 hasta marzo de 1964, época en la cual se desarrollaron estas investigaciones, se presentó un período de extrema sequía, en comparación con épocas similares de años anteriores. La temperatura dentro del invernadero donde se mantenían las plantas subió sobre los 37°C, en horas de fuerte brillo solar. Se considera que los excesos de temperatura contribuyeron al desarrollo de trastornos fisiológicos graves.

* Jiménez, Eduardo. Comunicación personal. 1963.

Las plantas de café se trasladaron de los semilleros al invernadero a los 5 meses de edad. Se colocaron en frascos con solución nutritiva preparada según la fórmula N^o 2 de Hoagland and Arnon, diluida 1:2. Después de un período de aclimatación de 8 semanas se cambió la solución y se iniciaron las mediciones experimentales.

Los frascos usados para cacao y café fueron de 3,5 litros de capacidad, los que se forraron exteriormente con una lámina de polietileno negro para impedir el paso de la luz. Se mantuvo una corriente de aire constante en el interior de los frascos a través de capilares de vidrio, mediante una bomba de funcionamiento automático.

En el momento de iniciar cada uno de los experimentos se analizó la solución nutritiva para determinar el contenido de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, y después de períodos determinados se volvió a analizar la solución nutritiva para determinar la concentración de los mismos elementos. Las diferencias en concentración de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, con respecto al contenido de la solución original, se supuso que correspondían a las cantidades* absorbidas por las plantas en los diferentes ensayos.

Originalmente se planeó determinar el contenido de potasio, pero por falta de un fotómetro de llama se prescindió de esta determinación.

En general el pH de la solución fresca era 5,8 y se mantuvo alrededor de este valor por medio de correcciones periódicas. El volumen de la solución en cada frasco también se mantuvo más o menos constante agregando agua destilada según las necesidades.

* El término "cantidad" usado en el presente trabajo se refiere a la diferencia entre la concentración inicial y la final para cada uno de los nutrimentos estudiados expresada en mg/l o ppm.

Los elementos químicos fueron analizados por los siguientes métodos: Micro Kjeldahl (38, 57) para el nitrógeno, colorimétrico para el fósforo (57), y el método del Versenato para el calcio y magnesio (10, 57). El método usado para la determinación del magnesio a pesar de no ser el mejor para esta clase de determinaciones, se consideró de utilidad en esta investigación.

El estudio de la capacidad de utilización del nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio por las plantas se realizó de dos maneras diferentes, estableciendo las siguientes relaciones:

$$1) \frac{\text{Cantidad de nutrimento absorbida (mg/l)}}{\text{Peso fresco inicial (g)}}$$

$$2) \frac{\text{Incremento relativo del peso fresco (\%)}}{\text{Cantidad de nutrimento absorbida (mg/l)}}$$

Además se consideró independientemente el incremento del peso fresco expresado en porcentaje para estudiar la habilidad de las variedades para aumentar su propio peso.

En vista de que todos los nutrimentos necesarios para el desarrollo y normal funcionamiento de las plantas se encontraban disponibles en la solución nutritiva, y puesto que éstas se encontraban bajo condiciones ambientales idénticas, se supuso que todas las plantas habían tenido exactamente las mismas oportunidades para tomar los nutrimentos del medio. Por lo tanto, la velocidad de absorción y la cantidad absorbida debió estar regulada principalmente por las características genéticas de las plantas.

Debido a que los tamaños y pesos de las plantas en el momento de iniciar el ensayo no fueron idénticos, y por suponerse que esas

diferencias influenciarían sobre la cantidad total de nutrimento absorbida, se decidió dividir la absorción total de cada uno de los nutrientes entre el peso fresco inicial correspondiente. En esta forma se consideró que la relación 1 podía ser una medida justa para estimar la capacidad de utilización de nutrientes por las plantas.

Otra manera de estimar la capacidad de utilización de los minerales que se usaron en este trabajo, fue calcular la eficiencia relativa con que las plantas de alta y baja productividad, metabolizaron los nutrientes absorbidos por las raíces (relación 2). Esta medida se basa en la idea de que el incremento de peso de una planta no sólo es función de la cantidad de nutrientes tomados por las raíces, sino que también depende de una serie de factores internos y externos. Por lo tanto se juzgó que el cálculo de la relación Nº 2 podría proporcionar una estimación más acertada de la manera como las plantas aprovechan cada unidad de nutrimento disponible.

Para el cálculo de esta relación se usó el incremento relativo de peso fresco, expresado en porcentaje, en vez del incremento absoluto, pues este último no toma en cuenta el peso inicial de la planta. Dicho incremento relativo se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$IR = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$$

en donde

IR = Incremento relativo

P_f = Peso fresco final

P_i = Peso fresco inicial

Los resultados obtenidos fueron analizados por medio del análisis de la variancia, y los promedios de cada una de las medidas fisiológicas mencionadas se relacionaron con los promedios (ponderados) de los rendimientos de cada una de las variedades a fin de establecer las líneas de regresión y los coeficientes de correlación respectivos.

Experimentos en café

Prueba N^o 1

Este ensayo se llevó a cabo con siete variedades distribuidas de acuerdo a un diseño de bloques completamente al azar. Se usaron 12 plantas de café por variedad, colocándose dos plantas por frasco. Al momento de iniciar el experimento se tomaron los pesos individuales de las plantas, y se llenaron los frascos con 3,5 litros de solución nutritiva completa de la cual se tomaron muestras para determinar el contenido de los ~~siguientes~~ elementos mencionados anteriormente.

Después de ciertos períodos se realizaron muestreos de la solución nutritiva para determinar las variaciones de las concentraciones de los elementos analizados en la solución fresca. El primer muestreo se realizó después de 4 días, y los posteriores con intervalos de 1 semana, excepto los dos últimos que se efectuaron con 2 semanas de intervalo. En total se realizaron 8 muestreos, pero sólo se utilizaron los datos correspondientes al último. La duración de la prueba fue de 67 días. Al finalizar el experimento se volvieron a tomar los pesos de las plantas para calcular el incremento del peso fresco en ese período.

En el transcurso de este experimento se perdieron algunas plantas, lo cual obligó a eliminar la variedad Mundo Novo.

CUADRO Nº 1. Promedios (ponderados) de los rendimientos anuales expresados en Kg. de cerezas por árbol para las variedades de café utilizadas en esta investigación.

Variedad	Rendimiento anual en Kg. cerezas por árbol
ALTA PRODUCCION	
Bourbón rojo	5,233
Caturra rojo	3,257
K-P-427	2,794
Geisha	4,806
Mundo Novo	4,421
BAJA PRODUCCION	
Maragogipe	1,382
Purpuracens	0,574
Typica	2,359

Una estimación de los promedios de rendimiento anual para cada una de las variedades de café, fue hecha con base en los datos de cosecha tomados ~~dentro~~ de la colección de especies y variedades del IICA. Estas estimaciones (ver cuadro Nº 1) concuerdan con la información general acerca de la capacidad de rendimiento de tales variedades.

Prueba Nº 2

Usando el material de la prueba anterior que manifestaba crecimiento satisfactorio se inició un segundo experimento bajo los mismos lineamientos. El material se redujo a las siguientes variedades: 1) Caturra rojo; 2) Mundo Novo; 3) Geisha; 4) Purpuracens y 5) typica corriente.

Para cada variedad se usó una planta por frasco y 5 repeticiones, de acuerdo a un diseño de bloques irrestrictamente al azar. Se pesaron las plantas y se colocaron en solución nutritiva Hoagland Nº 2 diluída 1:2, de la cual se tomó una muestra para determinar el contenido de los mismos elementos estudiados anteriormente.

Después de 4 semanas se volvieron a pesar las plantas y se tomó una muestra de la solución de cada frasco para determinar las concentraciones de los nutrimentos en referencia. Se cambió la solución vieja y se repitieron exactamente las mismas operaciones.

El tiempo de duración total de esta prueba fue de 8 semanas.

Experimentos en cacao

Prueba Nº 1

La investigación en cacao se inició con 6 plantas del clon UF-221, 4 plantas del clon UF-667, y 4 plantas del árbol de semilla del clon UF-650, distribuídas completamente al azar.

Se tomaron los pesos de las plantas y se colocaron en solución nutritiva Hoagland Nº 2 diluída 1:2. En la solución original se determinó la concentración total de N, P, Ca, y Mg. Al cabo de 3 y 5 semanas, desde el comienzo del ensayo, se pesaron las plantas nuevamente y

se tomaron muestras de la solución de cada frasco para realizar idénticas determinaciones químicas.

Se cambió la solución vieja y se repitieron exactamente las mismas operaciones.

El tiempo de duración total de esta prueba fue de 10 semanas.

Prueba Nº 2

En vista de que el número de plantas con que se realizó la prueba anterior fue bajo, se planeó repetir este ensayo utilizando el material proveniente de la segunda preparación de acodos, sin embargo también este material se redujo considerablemente. Cuando las plantas sobrevivientes estuvieron en pleno crecimiento se pesaron y se colocaron en la solución nutritiva. Después de 3 y 5 semanas se tomaron datos de pesos individuales y se determinó la concentración de N, P, Ca, y Mg, en la solución nutritiva de cada frasco.

La información útil que pudo registrarse en este segundo ensayo con plantas de cacao, fue inferior a la que se obtuvo en la primera prueba. Únicamente se consideraron aceptables los datos correspondientes a los clones UF-667 y UF-613, que contaron con 4 y 7 plantas respectivamente.

RESULTADOS

Experimentos en café

Prueba N° 1

Estudio de la capacidad de utilización de nutrimentos de acuerdo con la relación N° 1

Al estudiar la capacidad de utilización de las distintas variedades en función de la cantidad absorbida o removida de los diferentes nutrimentos por unidad de peso fresco inicial (relación N° 1), se pudo observar que la absorción de nitrógeno en general fue más alta en las variedades de mayor rendimiento. Hubo una excepción presentada por la variedad Maragogipe perteneciente a la clase II, la cual en diferentes momentos alcanzó valores más altos que algunas variedades de alto rendimiento.

En el cuadro N° 2 constan los valores de la relación mencionada calculados con los datos de absorción de nitrógeno durante 67 días. El análisis estadístico de esta relación reveló la existencia de diferencias significativas al nivel del 5% entre variedades. La diferencia entre la clase I y la clase II fue altamente significativa.

La absorción de fósforo por unidad de peso fresco inicial presentó una tendencia similar a la del nitrógeno, aunque de menor magnitud. El análisis estadístico indicó que las diferencias entre los promedios para las variedades y para las clases no eran significativas.

Tendencias marcadamente similares a las anotadas para el fósforo se encontraron al estudiar separadamente los valores relacionados con la absorción de calcio y de magnesio por unidad de peso inicial. Al

CUADRO Nº 2. Promedios de la relación: cantidad absorbida de nutri-
mento (mg/l)/Peso fresco inicial (g), correspondientes
a siete variedades de café.

Variedad	t) <u>Cantidad absorbida de nutrimento (mg/l)</u> <u>Peso fresco inicial (g)</u>			
	Nitrógeno	Fósforo	Calcio	Magnesio
ALTA PRODUCCION				
Bourbón rojo	1.682	0.297	1.117	0.204
Caturra rojo	1.542	0.234	1.156	0.242
K-P-437	1.503	0.280	1.218	0.215
Geisha	1.942	0.318	1.145	0.255
Promedio	1.667**	0.282	1.159	0.229
BAJA PRODUCCION				
Maragogipe	1.601	0.381	1.203	0.252
Purpuracens	1.165	0.197	0.881	0.153
Typica	1.345	0.187	0.944	0.238
Promedio	1.370	0.225	1.009	0.178

** Significativo al nivel del 1%

analizar estadísticamente cada una de estas relaciones, se observó que en ningún caso las diferencias entre los promedios de absorción de estos nutrimentos por unidad de peso inicial fueron significativas. La comparación entre clases tampoco mostró diferencias significativas. A pesar de esta falta de significación estadística se hizo evidente la tendencia entre las variedades agrupadas dentro de la clase I por

absorber o remover mas nutrimentos que entre las variedades de la clase

II. (Promedios para clases ver en gráfico N^o 1).

Relación entre el rendimiento potencial de las variedades y su capacidad de absorción de los nutrimentos: Regresión y correlación

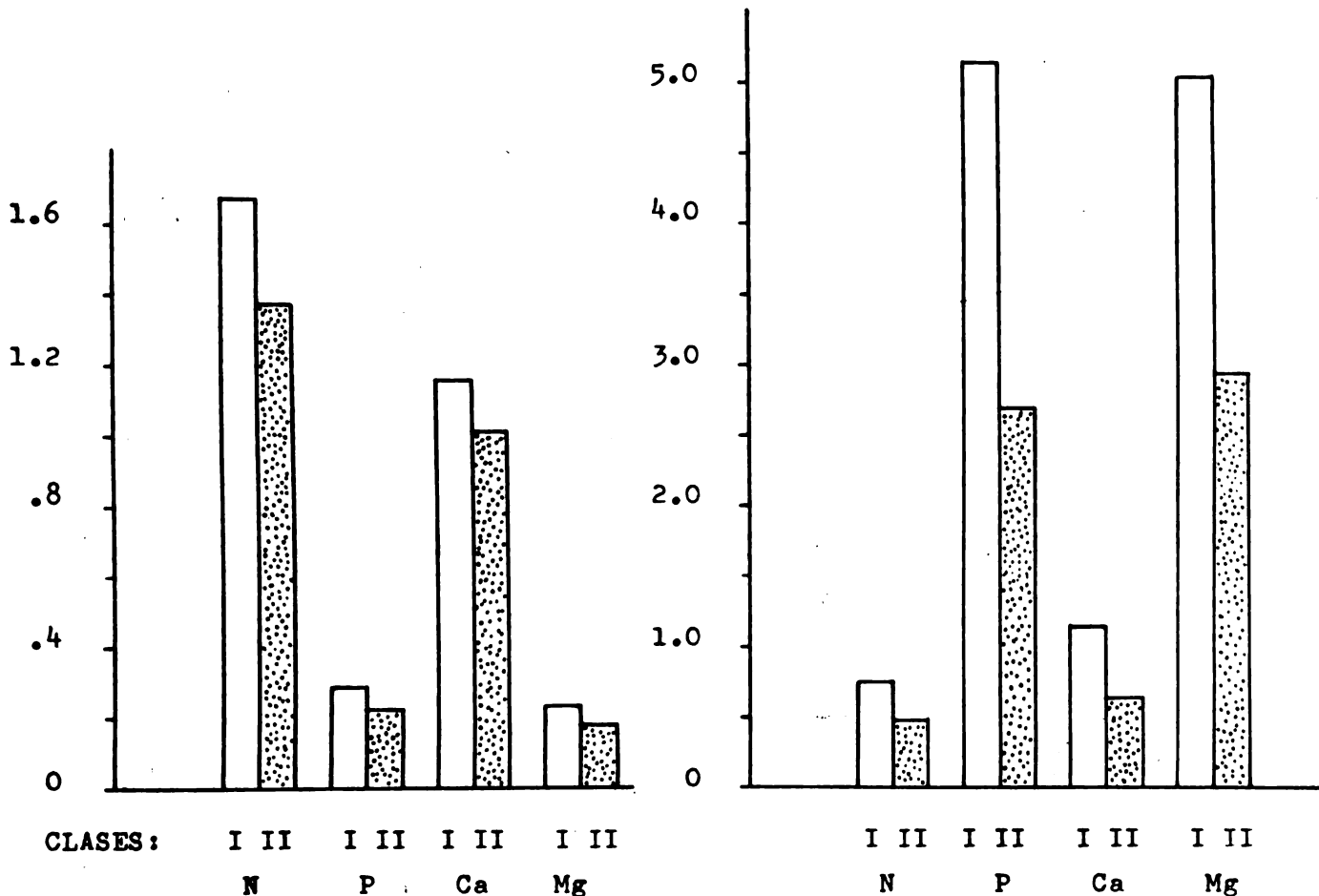
La regresión de la variable Y (representativa del rendimiento potencial de las diferentes variedades) sobre la variable X (representativa de los valores promedios de la absorción o remoción de los nutrimentos por unidad de peso inicial), fue lineal y positiva en todos los casos.

En el gráfico N^o 2 se presenta la curva de regresión del rendimiento en función de la relación Nitrógeno absorbido/Peso fresco inicial. El coeficiente de regresión fue significativo al nivel del 5% y alcanzó el siguiente valor: $b = 5.429$, el cual significa que por cada aumento de una unidad de la relación N absorbido/Peso fresco inicial, el rendimiento de las variedades debe aumentar 5.429 unidades.

El coeficiente de correlación calculado entre las variedades en referencia también fue significativo al nivel del 5%, y alcanzó el siguiente valor: $r = 0.792$. La significación estadística de este coeficiente demuestra que existe un fuerte grado de asociación o dependencia entre el rendimiento potencial de las diferentes variedades y la absorción de nitrógeno por unidad de peso inicial.

En los gráficos Nos. 3, 4 y 5 se presentan las curvas de regresión del rendimiento de las distintas variedades en función de la capacidad de utilización del fósforo, calcio y magnesio por unidad de peso fresco inicial, respectivamente. Como se puede observar en los mencionados

Clase I : Alta producción
 Clase II: Baja producción



1.- $\frac{\text{Nutrimiento removido (mg/l)}}{\text{Peso fresco inicial (g)}}$

2.- $\frac{\text{Incremento relativo de peso fresco (\%)}}{\text{Nutrimiento removido (mg/l)}}$

GRAFICO Nº 1.- Promedios por clase de las relaciones : 1.-Nutrimiento removido (mg/l)/ Peso fresco inicial (g) y 2.- Incremento relativo de peso fresco (%) / Nutrimiento removido (mg/l)

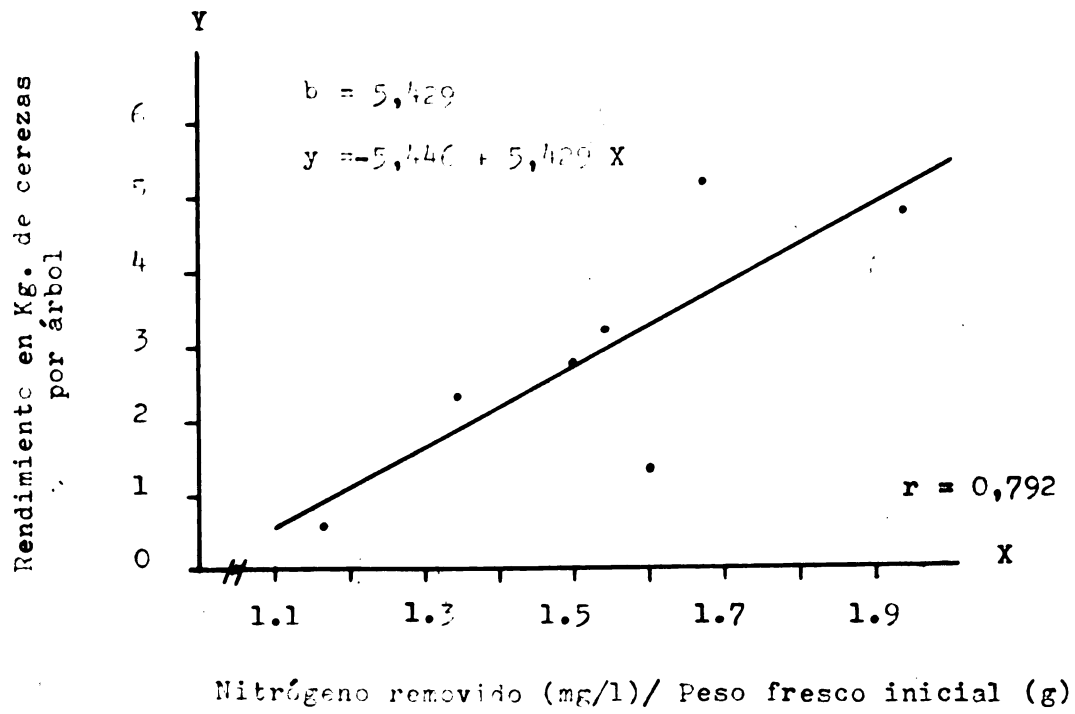


GRAFICO Nº 2.- Regresión del rendimiento potencial de siete variedades de café expresado en Kg. de cerezas por árbol, sobre la relación: Nitrógeno removido (mg/l)/ Peso fresco inicial (g).

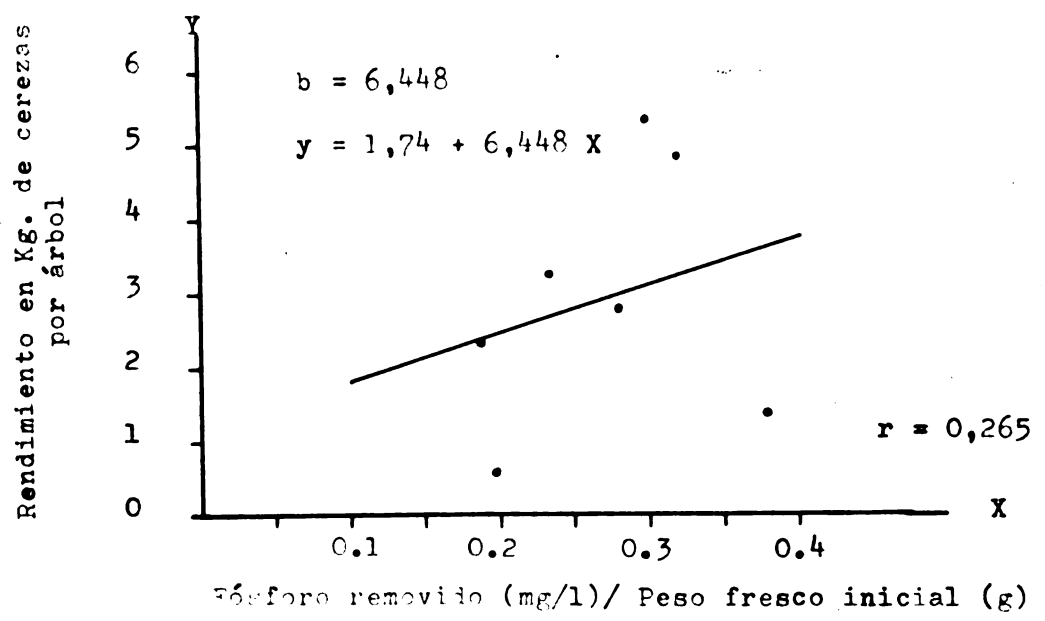


GRAFICO Nº 3.- Regresión del rendimiento potencial de siete variedades de café expresado en Kg. de cerezas por árbol, sobre la relación : Fósforo removido (mg/l)/ Peso fresco inicial (g).

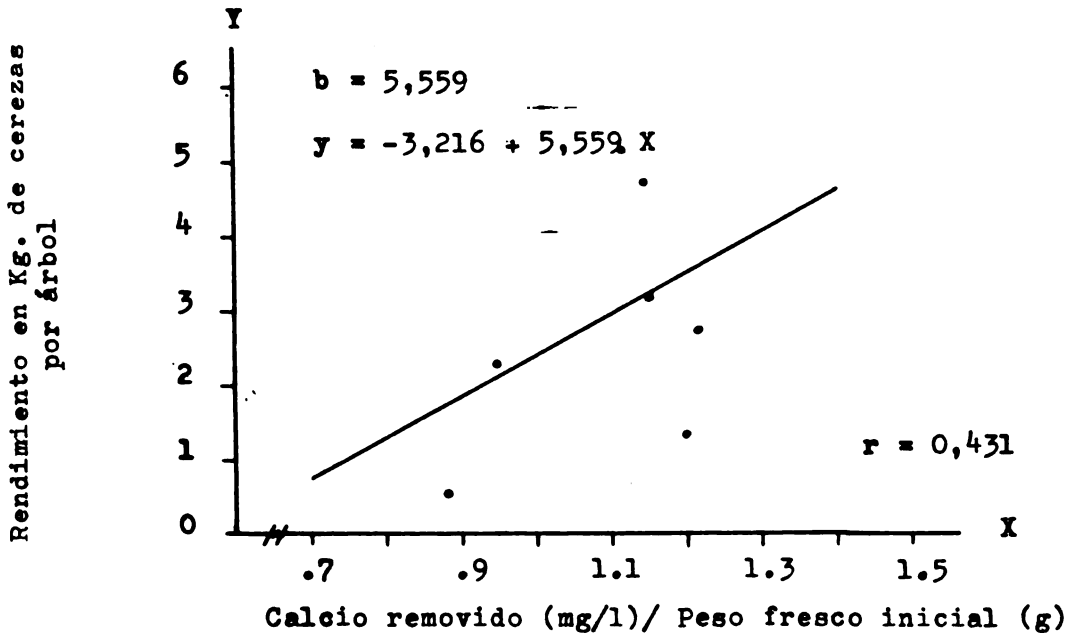


GRAFICO Nº 4.- Regresión del rendimiento potencial de siete variedades de café expresado en Kg. de cerezas por árbol, sobre la relación: Calcio removido (mg/l)/Peso fresco inicial (g)

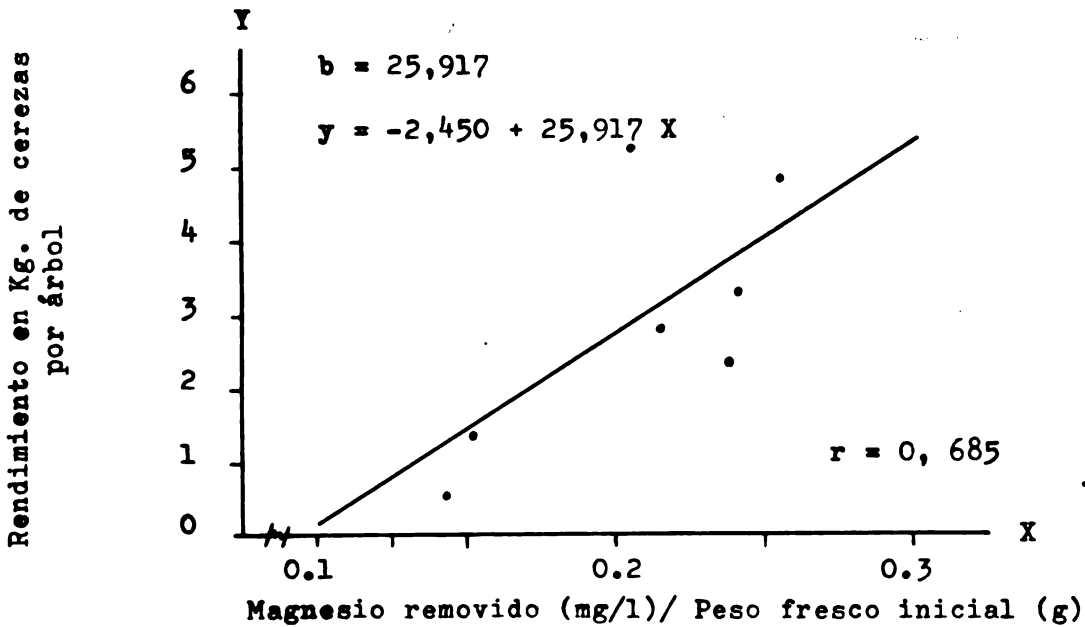


GRAFICO Nº 5.- Regresión del rendimiento potencial de siete variedades de café expresado en Kg. de cerezas por árbol, sobre la relación: Magnesio removido (mg/l)/Peso fresco inicial (g).

gráficos, a mayores valores de la relación N^o 1, correspondieron mayores valores del rendimiento potencial, o sea que las regresiones fueron positivas, pero estadísticamente no llegaron a ser significativas.

El grado de asociación entre las variables Y y X, en cada caso, fue determinado mediante el cálculo de los respectivos coeficientes de correlación. Según las pruebas estadísticas, estos coeficientes no fueron significativos.

En el cuadro N^o 3 se presentan todos los coeficientes de regresión y correlación calculados en este ensayo.

Estudio de la eficiencia metabólica relativa de las plantas

El estudio de la utilización de los nutrimentos mediante la relación N^o 2, descrita en el capítulo anterior, se denominó eficiencia metabólica relativa. Con este procedimiento se trató de conocer la capacidad de las plantas para transformar los nutrimentos absorbidos por las raíces en materia fresca.

En el cuadro N^o 4 se presentan los valores correspondientes a la relación mencionada. Tales datos permiten apreciar con claridad que las variedades de alta producción aprovecharon con mayor eficiencia los nutrimentos tomados del medio.

Los análisis estadísticos revelaron que las diferencias de eficiencia metabólica relativa entre variedades eran altamente significativas. Al comparar los promedios de eficiencia correspondientes a las clases se volvió a observar notables diferencias significativas al nivel del 1%.

CUADRO Nº 3. Resumen de los coeficientes de regresión y coeficientes de correlación de las diferentes relaciones estudiadas.

Relación	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación
Rendimiento potencial sobre:		
Absorción de N/Peso fresco inicial	5.429*	0.792*
Absorción de P/Peso fresco inicial	6.448	0.265
Absorción de Ca/Peso fresco inicial	5.599	0.431
Absorción de Mg/Peso fresco inicial	25.917	0.685
<u>Incremento relativo de peso fresco N/absorbido</u>	3.279	0.390
<u>Incremento relativo de peso fresco P/absorbido</u>	0.763	0.648
<u>Incremento relativo de peso fresco Ca/absorbido</u>	3.968	0.741
<u>Incremento relativo de peso fresco Mg/absorbido</u>	0.885	0.658
Incremento relativo de peso fresco	0.073*	0.785*

* Significativo al nivel del 5%

CUADRO Nº 4. Promedios de la relación incremento relativo de peso fresco/Cantidad absorbida de nutrimento, correspondientes a siete variedades de café.

Variedad	2)	Incremento de peso fresco			
		Cantidad absorbida de nutrimento			
		Nitrógeno	Fósforo	Calcio	Magnesio
ALTA PRODUCCION					
Bourbon rojo		0.687	5.115	1.090	5.009
Caturra rojo		0.764	5.185	1.072	4.327
K-P-427		0.911	5.268	1.065	5.015
Geisha		0.651	4.871	1.334	5.496
Promedio		0.753**	5.105**	1.141**	4.961**
BAJA PRODUCCION					
Maragogipe		0.334	1.586	0.465	2.660
Purpuracens		0.617	3.745	0.806	3.916
Typica		0.393	2.735	0.551	2.161
Promedio		0.448	2.688	0.607	2.912

** Significativo al nivel del 1%

Relación entre el rendimiento potencial y la eficiencia metabólica relativa: Regresión y correlación

Se calculó la curva de regresión del rendimiento potencial en función de la eficiencia relativa de las variedades de café. En los gráficos Nos. 6, 7, 8 y 9 se presentan las curvas correspondientes a

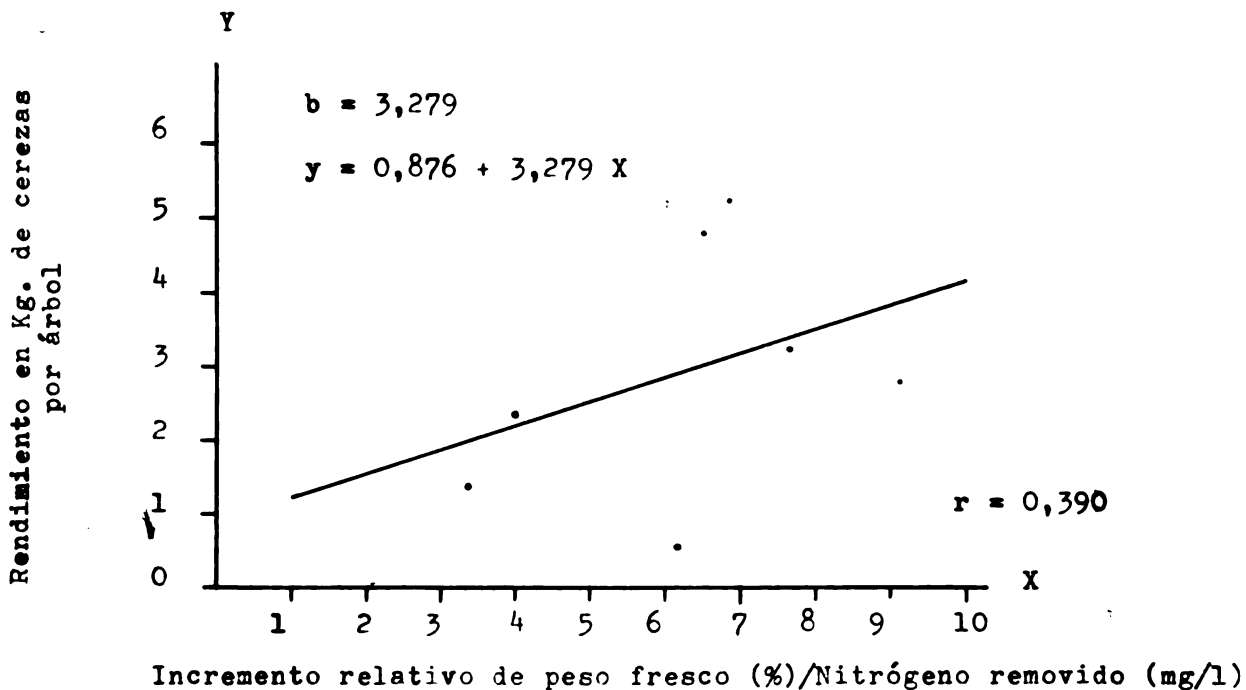


GRAFICO Nº 6.- Regresión del rendimiento potencial de siete variedades de café expresado en Kg. de cerezas por árbol, sobre la relación : Incremento relativo de peso fresco (%) / Nitrógeno removido (mg/l).

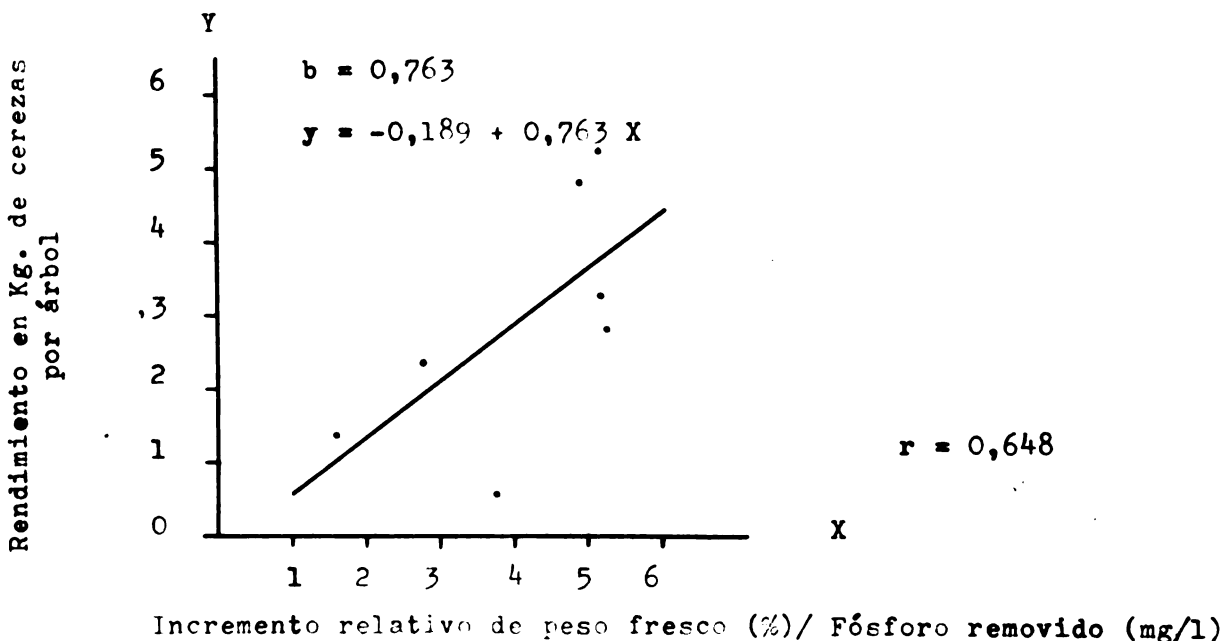
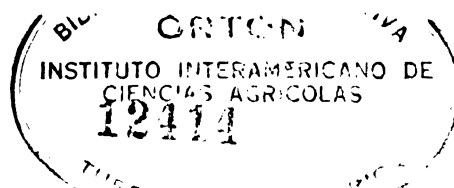


GRAFICO Nº 7.- Regresión del rendimiento potencial de siete variedades de café expresado en Kg. de cerezas por árbol, sobre la relación: Incremento relativo de peso fresco (%) / Fósforo removido (mg/l).



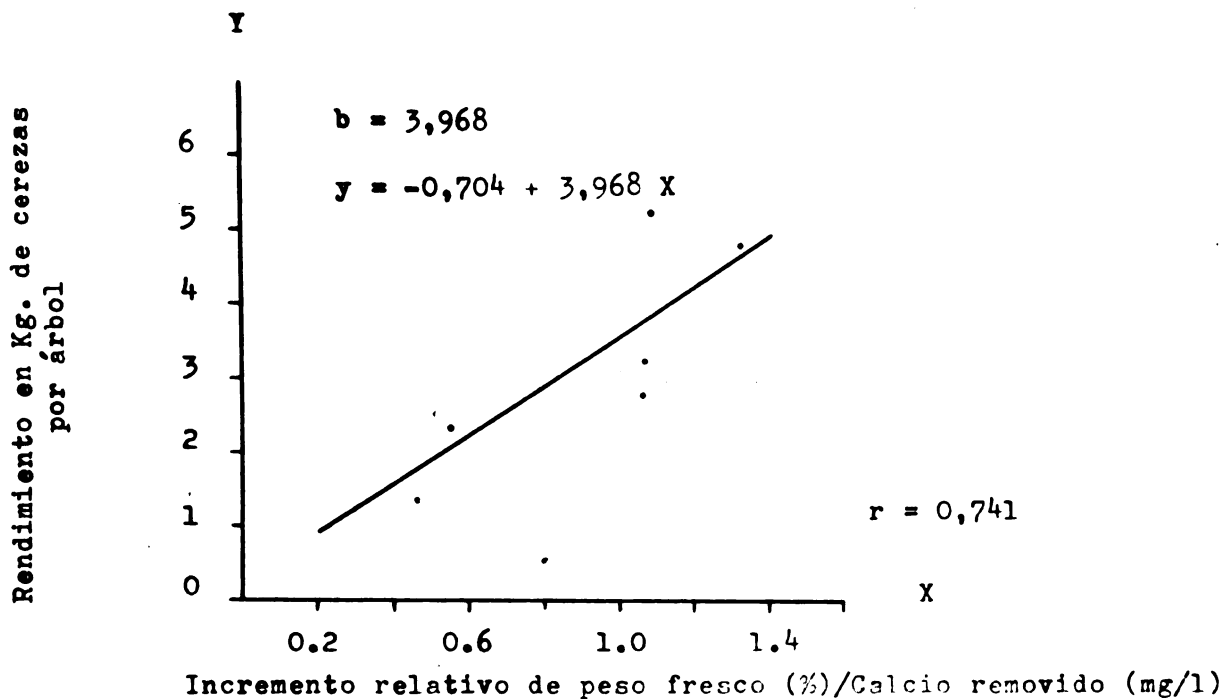


GRAFICO Nº.8.- Regresión del rendimiento potencial de siete variedades de café expresado en Kg. de cerezas por árbol, sobre la relación: Incremento relativo de peso fresco (%) / Calcio removido (mg/l)

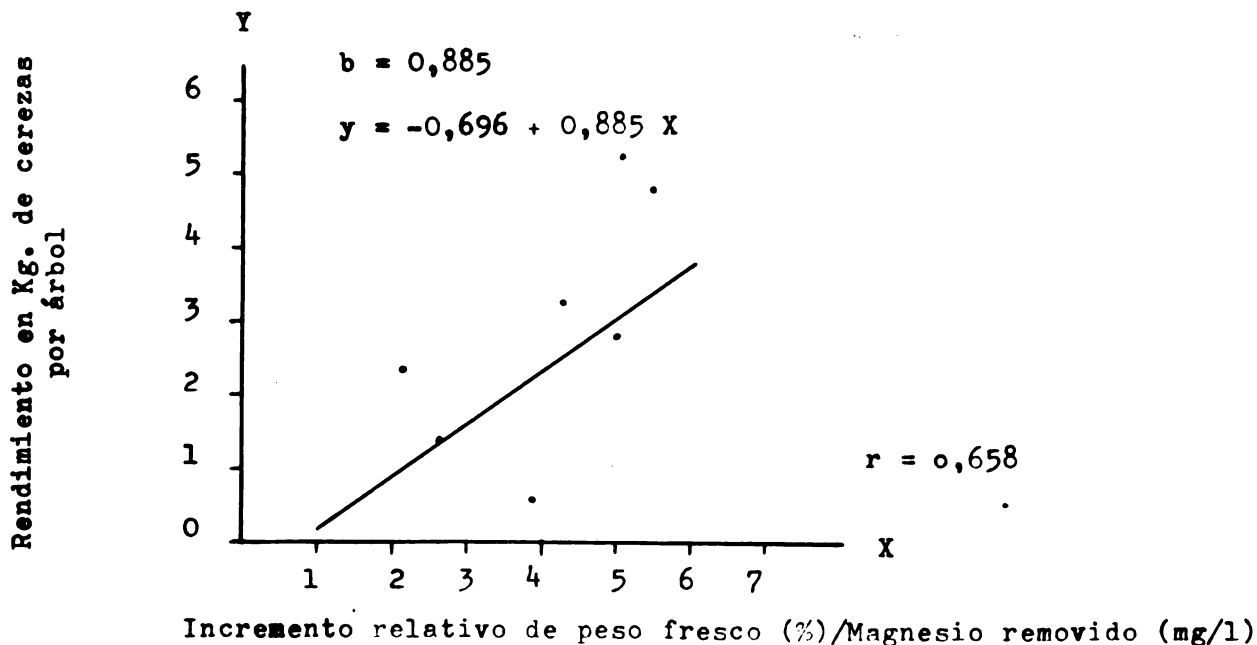


GRAFICO Nº 9.- Regresión del rendimiento potencial de siete variedades de café expresado en Kg. de cerezas por árbol, sobre la relación: Incremento relativo de peso fresco (%) / Magnesio removido (mg/l)

esta regresión con respecto al aprovechamiento del nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio respectivamente.

La intensidad de agrupamiento de las variables Y y X, en cada una de las relaciones, fue interpretada mediante el coeficiente de correlación. Las correlaciones entre el rendimiento potencial y la capacidad de aprovechamiento del fósforo, calcio y magnesio respectivamente, fueron ligeramente altas; en cambio el coeficiente relacionado con el aprovechamiento del nitrógeno fue bajo.

Los análisis estadísticos de las regresiones y correlaciones referentes al rendimiento potencial de las diferentes variedades sobre la eficiencia metabólica relativa, en ningún caso produjeron significación estadística.

Comparación entre los incrementos relativos de peso

Los pesos promedios de las plantas de café no mostraron diferencias notables al momento de iniciarse el experimento, tal como puede observarse en el cuadro N^o 5. Sin embargo después de 67 días las variedades de alta producción mostraron un incremento de peso muy superior al de las otras variedades. Tal como se aprecia en dicho cuadro el promedio de crecimiento para la clase I fue de 55.3%, mientras que el de las otras variedades fue únicamente de 28.6% (diferencia significativa al nivel del 1%).

CUADRO Nº 5. Promedio en gramos del peso fresco de las plantas de café al comienzo del experimento, e incremento relativo de peso durante 67 días.

Variedad	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Incremento relativo de peso (%)
ALTA PRODUCCION			
Bourbon rojo	59.7	95.6	62.1
Caturra rojo	38.5	56.5	47.0
K-P-427	40.5	59.4	47.8
Geisha	56.0	94.3	71.9
Promedio	48.7	76.5	55.3** ✓
BAJA PRODUCCION			
Maragogipe	50.5	78.2	53.2 33.2
Purpuracens	50.3	68.2	35.2
Typica	34.8	40.7	17.1
Promedio	48.2	62.3	28.6 ✓

** Significativo al nivel del 1%

Relación entre el rendimiento potencial y el incremento relativo de peso fresco: Regresión y correlación

Al relacionar los promedios del rendimiento potencial de las siete variedades de café con los incrementos relativos de peso fresco, se constató la existencia de una regresión lineal positiva y significativa al nivel del 5%.

El grado de asociación entre las variables rendimiento potencial e incremento de peso fresco se estudió mediante el cálculo del coeficiente de correlación. Estadísticamente, este coeficiente alcanzó significación al nivel del 5% (gráfico N^o 10).

En el cuadro N^o 3 se resumen los coeficientes de regresión y los coeficientes de correlación para cada una de las relaciones estudiadas.

Prueba N^o 2

En el cuadro N^o 6 se puede apreciar que los promedios de los pesos iniciales de las variedades estudiadas, no guardan la misma uniformidad que se observó en la prueba anterior; en el mismo cuadro, se constata que los incrementos relativos de peso no mantienen la misma tendencia registrada anteriormente. La variedad typica, de baja producción, presentó el peso inicial más bajo, sin embargo, al cabo de cuatro semanas acusó el mayor incremento de peso fresco. Este fuerte aumento de peso se reflejó claramente sobre el valor de la relación Incremento relativo de peso/Cantidad absorbida de nutrimento. La otra variedad de baja producción, Purpuracens a pesar de presentar un incremento relativo de peso bastante pequeño, alcanzó valores elevados en esta relación. Se debe subrayar que durante el tiempo en que se condujo esta prueba, las plantas manifestaron síntomas de trastornos fisiológicos fuertes, probablemente debidos a las condiciones de temperatura sumamente alta y bajo porcentaje de humedad relativa en el interior del invernadero.

Los incrementos de peso, en ciertos casos, no pudieron registrarse con fidelidad, por cuanto, algunas plantas perdieron parte de su área foliar y consecuentemente disminuyeron su peso, por efectos de los trastornos anotados. Además en varios casos al analizar la solución

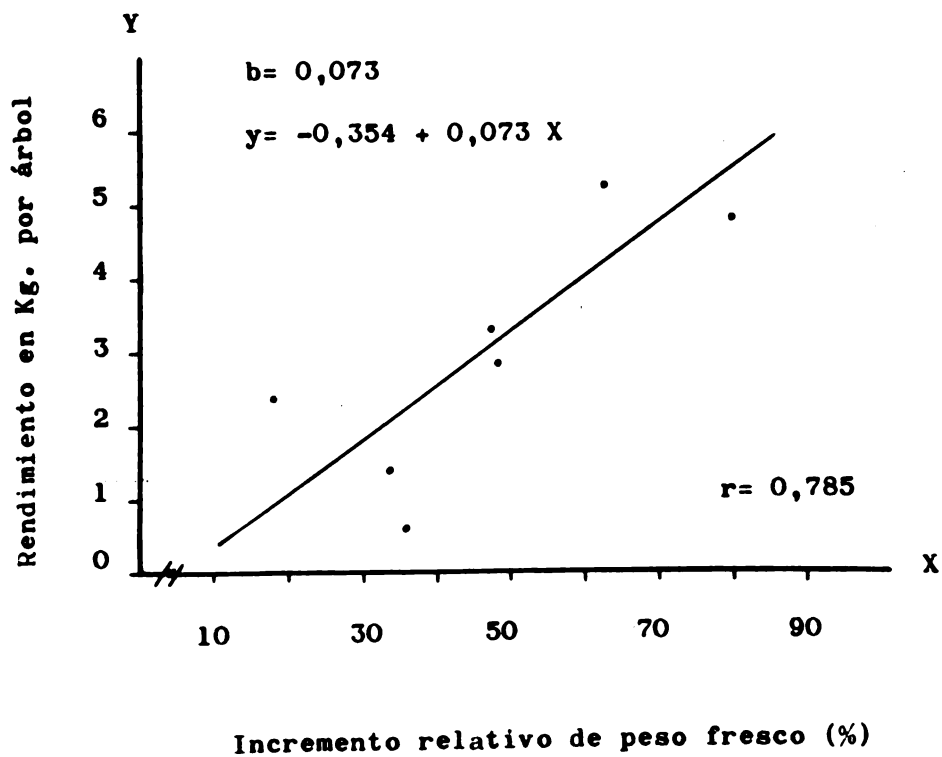


Gráfico N°10 .- Regresión de los promedios de rendimiento potencial sobre el incremento relativo de peso fresco, en siete variedades de café.

CUADRO Nº 6. Promedios de los pesos de las plantas al comienzo de la prueba Nº 2, e incrementos relativos de peso fresco durante cuatro semanas.

Variedad	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Incremento relativo de peso fresco (%)
Caturra rojo	58.6	67.8	16.2
Mundo Novo	46.8	45.5	10.4
Geisha	75.2	82.0	9.0
Purpuracens	45.6	47.2	3.5
Typica	14.5	17.0	17.2

nutritiva se observó que el nivel de algunos elementos fue más alto al finalizar la prueba, que en el momento inicial. Esto sugiere el paso de elementos desde los jugos celulares hacia el medio exterior. Por las causas anotadas no fue posible registrar el valor de la relación Incremento relativo de peso/Fósforo absorbido en la variedad typica (cuadro Nº 7).

Los promedios de la relación Elemento absorbido/Peso inicial guardaron una tendencia acorde con los resultados de la relación anterior, excepto en el caso del nitrógeno y fósforo; sin embargo por las consideraciones anteriores, se juzgó convenientemente guardar mucha reserva respecto de esta información (cuadro Nº 8).

CUADRO Nº 7. Promedios de la relación Incremento relativo de Peso fresco (%)/Cantidad absorbida de nutrimentos (mg/l) para cinco variedades de café, durante cuatro semanas.

Variedad	Incremento relativo de peso fresco/Nutrimento absorbido			
	Nitrógeno	Fósforo	Calcio	Magnesio
Caturra rojo	29.05	470.69	1.70	6.83
Mundo Novo	21.61	370.87	2.10	4.80
Geisha	20.13	346.64	0.78	2.86
Purpuracens	28.87	529.06	1.55	0.91
Typica	54.68		6.62	4.38

CUADRO Nº 8. Promedios de la relación Cantidad absorbida de nutrimento (mg/l)/Peso fresco inicial (g), para cinco variedades de café, durante cuatro semanas.

Variedad	Cantidad absorbida de nutrimento/Peso fresco inicial			
	Nitrógeno	Fósforo	Calcio	Magnesio
Caturra rojo	0.41	0.03	0.17	0.04
Mundo Novo	0.52	0.03	0.21	0.11
Geisha	0.42	0.06	0.21	0.04
Purpuracens	0.17	0.01	0.11	0.06
Typica	0.29		0.24	0.14

Se realizaron los análisis estadísticos de todas las relaciones, así como también se establecieron los coeficientes de regresión y correlación, entre los promedios de rendimiento y los incrementos de peso, la capacidad de absorción y eficiencia metabólica. En ningún caso se registró significación estadística.

Experimentos en cacao

Prueba Nº 1

Estudio de la relación absorción de nutrimentos por unidad de peso fresco inicial

En el cuadro Nº 9 se resumen los promedios de la relación Cantidad absorbida de nutrimento/Peso fresco inicial, después de 3 y 5 semanas a partir del momento de iniciar el experimento.

De lo expuesto en el mencionado cuadro se desprende que el clon de alta producción UF-667 presentó la mayor capacidad de absorción por unidad de peso fresco inicial. Las plantas provenientes del árbol de semilla del clon UF-650, seleccionado por baja producción, presentaron valores más altos que el clon UF-221, a pesar de ser éste de gran rendimiento.

Debido al pequeño tamaño de la muestra y a la calidad de los resultados, no se consideró justificable efectuar los análisis estadísticos, ni calcular los coeficientes de regresión y correlación.

CUADRO Nº 9. Promedios de la relación: Cantidad absorbida de nutri-
mento (mg/l)/Peso fresco inicial (g), para cinco clones
de cacao al cabo de tres y cinco semanas, a partir de la
iniciación de la prueba.

Clones	Cantidad absorbida de nutrimento/Peso fresco inicial							
	Nitrógeno		Fósforo		Calcio		Magnesio	
	3 sem	5 sem	3 sem	5 sem	3 sem	5 sem	3 sem	5 sem
UF-221	0.318	0.440	0.076	0.120	0.225	0.375	0.051	0.103
UF-667	0.496	0.737	0.106	0.161	0.146	0.576	0.069	0.157
UF-650	0.343	0.557	0.048	0.103	0.187	0.331	0.058	0.123
UF-677*	0.262	0.438	0.039	0.077	0.194	0.207	0.041	0.075
UF-613*	0.399	0.750	0.073	0.093	0.251	0.442	0.077	0.138

* Material correspondiente a prueba Nº 2.

Estudios de la eficiencia metabólica relativa

Los promedios de la relación Incremento relativo de peso fresco/
Cantidad absorbida de nutrimentos, se presentan en cuadro Nº 10. Los
clones de alta producción presentaron valores más altos de eficiencia
metabólica, en las relaciones correspondientes al nitrógeno y magnesio,
e inferiores en fósforo y calcio.

CUADRO Nº 10. Promedios de la relación: Incremento relativo de peso fresco (%)/Cantidad absorbida de nutrimento (mg/l), para cinco clones de cacao, después de tres y cinco semanas, a partir de la iniciación de la prueba.

Clones	Incremento de peso fresco/Cantidad absorbida de nutrimento							
	Nitrógeno		Fósforo		Calcio		Magnesio	
	3 sem	5 sem	3 sem	5 sem	3 sem	5 sem	3 sem	5 sem
UF-221	0.371	0.619	1.360	2.180	0.466	0.701	2.202	2.750
UF-667	0.425	0.605	1.890	2.524	0.549	0.732	3.018	2.768
UF-650	0.283	0.570	2.011	2.848	0.525	0.937	1.615	2.560
UF-677*	0.381	0.399	2.471	2.906	0.505	0.552	4.197	2.714
UF-613*	0.892	0.757	4.677	5.558	1.479	4.350	4.375	4.740

* Material correspondiente a prueba Nº 2.

Comparación de los pesos iniciales y de los incrementos de peso

Los pesos iniciales de las plantas de cacao y sus correspondientes incrementos, se presentan en el cuadro Nº 11. El mayor incremento relativo de peso fue exhibido por el clon UF-667. No se encontró diferencia notable entre los incrementos de los clones UF-221 y UF-650.

Prueba Nº 2

La única información aceptable derivada de esta prueba, correspondió a los clones UF-613 y UF-677, ambos de buena producción.

CUADRO Nº 11. Promedio del peso inicial de las plantas de cacao y sus correspondientes incrementos de peso, durante tres y cinco semanas, a partir de la iniciación de la prueba.

Clon	Peso inicial (g)	Incremento relativo de peso fresco (%)	
		3 semanas	5 semanas
UF-221	135.50	13.91	23.43
UF-667	78.75	16.29	36.20
UF-650	112.50	11.12	24.52
UF-677*	124.33	9.03	20.26
UF-613*	68.00	19.57	34.85

* Material correspondiente a prueba Nº 2.

Los datos correspondientes a estos clones se incluyen separadamente en los cuadros correspondientes Nos. 9, 10, y 11. Con esta información no fue posible realizar ningún tipo de comparación.

La reducción en el número de plantas de cacao, se inició durante el período de aclimatación en el invernadero, y prosiguió aún después. Posiblemente las condiciones del invernadero no fueron las más recomendables para desarrollar este tipo de investigaciones en cacao, a lo que se unió las condiciones climáticas adversas durante el período experimental.

Además la dificultad de retirar todo el material enraizante (musgo) entrecruzado con las raíces de los acodos, pudo haber introducido errores de consideración.

DISCUSION

En la primera prueba realizada con café las variedades de mayor productividad absorbieron más nutrimentos que las de menor producción. El nitrógeno fue el único elemento que presentó diferencias estadísticamente significativas. Probablemente el crecimiento activo de las plantas, en razón de su edad, determinó que este elemento fuese tomado en mayor proporción.

La obtención de una regresión lineal positiva y significativa del rendimiento potencial sobre la capacidad de absorción del nitrógeno por unidad de peso inicial permite deducir que la capacidad de las plantas de café de edad temprana para utilizar nitrógeno, aparentemente tiene relación directa con la potencialidad de rendimiento.

Los demás nutrimentos, a pesar de que fueron tomados en menor cantidad, guardaron la misma tendencia observada con el nitrógeno. Probablemente las plantas de café en sus primeros estados de desarrollo requieren estos elementos en cantidades mínimas, lo cual no permitió encontrar diferencias estadísticas.

Por otro lado el estudio de la eficiencia metabólica relativa de las plantas de café, proporcionó una indicación muy prometedora de que se puede desarrollar un método fisiológico para predecir con suficiente anticipación la productividad de las plantas jóvenes. Esta deducción se basa en el hecho de que se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los valores de la eficiencia metabólica relativa de las variedades más productoras.

Si bien es cierto que al relacionar el rendimiento potencial con esta medida fisiológica no se encontró significación estadística, ésto

no indica que los resultados sean desechables, puesto que la correlación representa únicamente el grado de acercamiento de los puntos de intersección de las variables Y y X hasta la curva de regresión calculada, o sea el grado de asociación o correspondencia entre las variables estudiadas, y son numerosos los factores que pueden ocultar el verdadero grado de asociación entre tales variables.

El estudio de los incrementos de peso de las plantas de café produjo resultados que corroboraron lo expuesto anteriormente acerca de la mayor capacidad de las variedades de alta producción para utilizar mejor los nutrimentos.

Considerando el hecho de que la regresión y correlación de la productividad potencial de las variedades de café sobre el incremento relativo de peso fresco fue significativa al nivel del 5%, y además tomando en cuenta que las variedades de la clase I tienen en promedio un índice de eficiencia metabólica relativa muy superior (diferente al 1%) al de la clase II, se podría deducir que la regresión y la correlación de la productividad potencial sobre el índice antes mencionado, deberían ser significativas estadísticamente.

La falta de significación estadística de estos coeficientes, podría atribuirse a una determinación defectuosa de los promedios de rendimiento ponderado de las variedades; tal vez los datos de producción disponibles, no fueron lo suficientemente confiables. Además se supone que ejerció alguna influencia en la obtención de tales resultados el hábito de crecimiento muy vigoroso de las plantas de las variedades Maragogipe y Purpuracens. Estos factores pudieron ser los responsables de la falta de correspondencia entre algunos valores pertenecientes a las variables correlacionadas.

A lo anterior se suma el reducido tamaño de la muestra. Este último factor en muchos casos puede ser la única causa de la reducción en el valor del coeficiente de correlación.

Como otras posibles causas responsables de la obtención de valores aislados de la tendencia general, podrían citarse, fallas de operación, errores analíticos, o trastornos fisiológicos sufridos por las plantas durante el período experimental. Además la disminución rápida de una determinada sal y la acumulación de otra, pudieron ser causa de errores considerables, según lo exponen Hoagland and Arnon (22) y Withrow (58). En ciertos casos se encontraron incrementos en la concentración de algún elemento en la solución nutritiva, después de un período de absorción. Este efecto aparentemente contradictorio, también fue encontrado por Rodríguez* trabajando con plantas de cacao en condiciones similares.

Resumiendo, se observa que la tendencia general de las medidas fisiológicas referidas guardan relación con los resultados de otros investigadores, quienes obtuvieron correlaciones significativas al relacionar la capacidad de producción con diferentes medidas fisiológicas o anatómicas, tales como diámetro y/o altura del tallo, contenido de diferentes nutrimentos en los tejidos foliares o en otros tejidos etc. (5, 26, 28, 36, 41, 48, 54). Posiblemente el contenido de nutrimentos en los tejidos vegetales debe tener relación directa con la cantidad de elementos absorbidos por las raíces. Aunque según Ulrich citado por Capó y Samuels (6), la concentración de nutrimentos en

* Rodríguez, María Rosa. Universidad de San José. Comunicación personal. 1963.

los tejidos de la planta, podría depender no solamente de la concentración de sales en el suelo, sino de factores tales como clima, tiempo, condiciones de la planta, manejo de la planta y otros.

Los resultados alcanzados con las plantas de cacao, deben observarse con mucha cautela, por cuanto la pequeñez de la muestra y las posibles causas de error anotadas antes, pudieron ser los factores que determinaron la obtención de tales respuestas.

Los resultados correspondientes a la segunda prueba con cacao y café no se consideraron discutibles.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De acuerdo con los resultados preliminares obtenidos en la presente investigación, tanto la capacidad de absorción de nitrógeno por unidad de peso fresco inicial, así como la eficiencia metabólica relativa de las plantas y la determinación del incremento relativo de peso, constituyen medidas fisiológicas prometedoras para evaluar la productividad potencial de plantas de café en edad temprana.
2. La determinación de la eficiencia metabólica relativa de las plantas jóvenes es una medida muy satisfactoria desde el punto de vista de los objetivos propuestos, por que permite reconocer claramente diferencias entre variedades en la capacidad para utilizar los nutrimentos.
3. En general, las variedades de mayor productividad utilizan más eficientemente los nutrimentos en comparación con las variedades de baja productividad.
4. La mayor capacidad de absorción de nutrimento por unidad de peso fresco inicial y la mayor eficiencia metabólica relativa presentadas por las variedades de café de rendimiento alto, permite suponer la existencia de algún mecanismo fisiológico o metabólico que induce un mayor aprovechamiento de los nutrimentos.
5. El presente trabajo constituye solamente el paso inicial hacia los objetivos propuestos y deja el camino abierto para nuevas investigaciones.
6. Se considera recomendable que sobre la base de los presentes resultados se planeen nuevas investigaciones hasta llegar a dar forma al método que se busca.

7. En los futuros trabajos convendría introducir modificaciones tales como: a) aumento en el número de variedades tanto de alta producción, como de baja producción. Esto permitiría la reducción del error experimental dando oportunidad para detectar diferencias más finas entre las variedades. b) Eliminar de la investigación aquellas variedades con características alejadas de la tendencia general, como la presentada por las variedades Maragogipe y Purpuracens, que a pesar de tener baja producción, tienen un hábito de crecimiento muy vigoroso. Estos casos excepcionales introducen serios inconvenientes en el cálculo de las correlaciones y dificultan la interpretación correcta de los resultados.
- ✓ 8. La investigación con plantas de cacao convendría efectuarla con ramillas enraizadas en vez de acodos, a fin de evitar los problemas que ocasiona el musgo que no puede ser retirado de entre las raíces de estas últimas plantas. De ser posible las ramillas que vayan a ser enraizadas deberían ser de una sola hoja y de edad uniforme. Esto evitaría los efectos de la diferencia en el número de hojas y edad de las ramas que generalmente se usan para acodos.
- ✓ 9. En vista de que las plantas de semilla, aparentemente se adaptan mejor a las condiciones hidropónicas dentro del invernadero, sería preferible trabajar con plantas de cacao provenientes de semilla autopolinizada.
10. En los trabajos futuros convendría utilizar solamente la medida fisiológica que proporcione la mayor sensibilidad en la comparación de los resultados. La eficiencia metabólica parece ser la

medida más recomendable; sin embargo se considera importante comprobarla debidamente.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal buscar un método que permita evaluar las plantas de cacao y de café en edad temprana,

Para tal objeto se seleccionaron cuatro variedades de café de alto rendimiento y tres variedades de bajo rendimiento. En cacao se seleccionaron cuatro clones de buen rendimiento y un árbol proveniente de semilla clonal de baja producción.

Las plantas de café se obtuvieron a partir de semillas y las de cacao se propagaron vegetativamente por el método de acodos.

Los trabajos experimentales se condujeron bajo condiciones de invernadero, colocando las plantas en frascos con soluciones nutritivas preparadas según la fórmula N^o 2 de Hoagland and Arnon. Para el cacao la solución se diluyó 1:2. Periódicamente se determinó la concentración de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio en la solución nutritiva, y las diferencias en el contenido de estos elementos con respecto al nivel original, se supuso que equivalían a las cantidades absorbidas o removidas por las plantas.

Esta información se utilizó para determinar la capacidad de absorción de nutrimentos por unidad de peso fresco inicial y la eficiencia metabólica relativa de las plantas mediante las relaciones 1 y 2 respectivamente:

1.
$$\frac{\text{Cantidad absorbida de nutrimentos (mg/l)}}{\text{Peso fresco inicial (g)}}$$
2.
$$\frac{\text{Incremento relativo de peso fresco (\%)}}{\text{Cantidad absorbida de nutrimentos (mg/l)}}$$

Los resultados obtenidos permitieron establecer notables diferencias entre las variedades de café. Los promedios más altos en cada una de las medidas fisiológicas mencionadas correspondieron a las variedades de elevada productividad.

Al correlacionar los promedios de rendimiento potencial de cada variedad con las medidas en referencia, se observaron regresiones lineales positivas y coeficientes de correlación elevados, aunque la mayor parte no alcanzó significación estadística. Desde el punto de vista fisiológico estos coeficientes tienen valor, y su falta de significación puede atribuirse especialmente al pequeño tamaño de la muestra.

Las respuestas en cacao no concordaron con las de café. Este hecho podría ser atribuible a los trastornos fisiológicos que sufrieron las plantas en el invernadero, los mismos que redujeron notablemente el tamaño de las muestras.

SUMMARY

The main objective of the present work was to investigate a method which would make possible the evaluation of coffee and cacao plants in their early stages.

Four high-yielding and three low-yielding coffee varieties were selected, while in cacao, four well-productive clones and one tree originated from clonal seed of low production were considered.

Coffee plants were grown from seeds and cacao plants were obtained from cuttings.

The experimental work was carried out under greenhouse conditions and plants were maintained in solutions following Hoagland and Arnon's formula N^o 2. For cacao, solutions were diluted in a 1:2 ratio. Nitrogen, phosphorus, calcium, and magnesium concentrations were periodically analyzed in the nutrient solution. The difference in the content of those elements as compared to the original level was assumed to be equivalent to the amount of elements removed by the plant; the difference was expressed in mg/l.

The capacity of the plants to utilize the nutrients observed was estimated according to two different procedures:

1.
$$\frac{\text{Amount of nutrients absorbed (mg/l)}}{\text{Initial fresh weight (g)}}$$
2.
$$\frac{\text{Relative fresh weight increase (\%)}}{\text{Amount of nutrients absorbed (mg/l)}}$$

According to the results, great differences could be established among coffee varieties. In each of the physiological measurements

indicated above the highest mean values corresponded to those varieties regarded as the most productive. Statistically, positive lineal regressions and high correlation coefficients were obtained, though not all were significant. From the physiological point of view, both coefficients appear to be valuable, and the lack of statistical significance can be due, at least in part, to the relatively small size of the sample.

The differential response of the cacao plants was probably due to their inability to adapt to nutrient solution culture.

LITERATURA CITADA

1. ALVIM, P. Recent advances in our knowledge of coffee trees. Physiology. I. Coffee and Tea Industries and the Flavor Field 11(81):17-25. 1958.
2. BARTLEY, B. G. D. A review of progeny trial performance, 1956-60. Imperial College of Tropical Agriculture. Trinidad. Report on Cacao Research. 1960. pp. 5-8. 1961.
3. _____ Recent advances in genetics selection plant improvement and propagation. Conferencia Interamericana de Cacao. 7a. Palmira, Colombia. 13-19 Julio. 1958. Bogotá, Ministerio de Agricultura. 1960. pp. 521-523.
4. _____ Single plant selection in cacao improvement. Reuniao do Comité Técnico Interamericano de Cacao da Bahia, Brasil. 1957. pp. 177-183.
5. BRIDGLAND, L. A. Cacao improvement programme, Keravit. Papua and New Guinea Agricultural Journal 12(4):149-167. 1960.
6. CAPO, B. G. y SAMUELS, G. The development of a mathematical concept to interpret the relation between plant composition and crop yield. Journal of Agriculture of University Puerto Rico. nº 37:249-264. 1955.
7. CARVALHO, A. Advances in coffee production technology. Genetics. II. Coffee and Tea Industries and the Flavor Field 11(81):30-36. 1958.
8. CHAPMAN, H. D. y PARKER, E. R. Weekly absorption of nitrate by young bearing orange trees growing out of doors in solution cultures. Plant Physiology 17(3):366-376. 1942.
9. CHEESMAN, E. E., y POUND, F. J. Further notes on criteria of selection in cacao. Imperial College of Tropical Agriculture. Trinidad. Annual Report on Cacao Research. 1933. pp. 22-24. 1934.
10. CHENG, K. L., KURTZ, T. y BRAY, R. H. Determination of calcium, magnesium and iron in limestone. By titration with Versenate. Analytical Chemistry 24(10):1640-1641. 1952.
11. COFFEE BOARD RESEARCH DEPARTMENT. Fourteenth Annual Report. Coffee Research Station. Chikmagalur District. (South India). pp. 106. 1960-1961.

12. COOIL, B. J. Leaf composition in relation to growth and yield of coffee in Kona. Coffee Information Exchange. Kona, Hawaii. 1954. 13 p.
13. COLONNA, J. P. Differences dans la nutrition minerales et dans la production de clones adultes de Coffea Canephora var. Robusta. Academie d'Agriculture de France. Comptes Rendus 48(12): 615-628. 1962.
14. FENNAH, R. G. An analysis of yield variation in a sample of cacao trees. Imperial College of Tropical Agriculture. St. Augustine, Trinidad. Report on Cacao Research, 1957. pp. 9-20.
15. FOWLER, R. L. Cacao cultivation and improvement programs. U.S. Department of Agriculture. Foreign Agriculture Report n^o 26. 1948. 17 p.
- X 16. GLENDINNING, D. R. The relationship between growth and yield in cacao varieties. Euphytica 9(3):351-355. 1960.
17. _____ y EDWARDS, D. F. The development and production of the new W.A.C.R.I. hibrid varieties. Report of the Cacao Conference, London. 1961, London, 1962. pp. 137-140.
18. GOODALL, D. W. Growth analysis of cacao seedlings. Annals of Botany (n.s.) 14(54):291-306. 1950.
- ✓ 19. HARDY, F. The chemical and ecological researches. Five year of cacao research. 1930-1935. Imperial College of Tropical Agriculture. St. Augustine, Trinidad. 1935. pp. 9-10.
- 20. HEATH, O. V. S. y GREGORY, P. G. The constancy of the mean net asimilation rate and its ecological importance. Annals of Botany (n.s.) 2(8):811-818. 1938.
21. HEWITT, H. J. Sand and water culture methods used in the study of plants nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux. England Technical Communication n^o 17. 1952. 85 p.
22. HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. Circular n^o 347. 1950. 32 p.
- X 23. HOMES, V. M. The mineral nutrition of cacao. Report of the Cacao Conference. London, 1957. London, 1958. pp. 257-259.
24. HUNTER, R. S. The status of cacao variety improvement work in the Western Hemisphere. Cacao 4(4):1-14. 1962.

25. IGUE, K. Reutilización del Fe⁵⁹ en cacao y café. Tesis M.S. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1963. 44 p.
26. JONES, T. A. y MALIPHANT, G. K. High yields in cacao field experiments and their significance in future cacao research. Conferencia Interamericana del Cacao. 7a. Palmira, Colombia. 13-19 de Julio 1958. Bogotá. Ministerio de Agricultura, 1960. pp. 321-325.
27. _____ y MALIPHANT, G. T. Yield variation in tree crop experiments with specific reference to cacao. Nature 182(4649): 1613-1614. 1958.
28. KKNAP, W. P. VAN DER. Algemene Beschouwingen over factoren, clonen. (General considerations on the factors that influence the productive capacity of cacao clones). Archief voor de Koffiecultuur en Nederland Indie 17(2):121-140. 1953.
29. KRUG, C. A. Advances in coffee production technology. The supply of better planting material. Coffee and Tea Industries and the Flavor Field 81(11):52-57. 1958.
30. LEON, J. Especies y cultivares (variedades) de café. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Materiales de Enseñanza de Café y Cacao n° 23. 1962. 69 p.
- X 31. LOUE, A. Estudio de las carencias y de las diferencias minerales en cacao. Fertilité n° 14. 1962. 63 p.
32. MACY, P. R. The quantitative mineral requirement of plants. Plant Physiology 11(4):749-764. 1936.
33. MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. Extração de macro e micro nutrientes, na colheita, pelas variedades "Bourbon Amarello", "Caturra Amarelo", e "Mundo Novo". Turrialba 3(13):188. 1963.
34. MALIPHANT, G. K. The nutrition of cacao. Bark nitrogen and phosphorus levels. III. Imperial College of Tropical Agriculture. Trinidad. Report on Cacao Research 1959-1960. pp. 73-76. 1961.
35. MCDONALD, J. A. A study of the relationship between nutrient supply and the chemical composition of the cacao tree. Imperial College of Tropical Agriculture. Trinidad. Report on Cacao Research. 1933. pp. 50. 1934.

36. MCDONALD, J. A. y RODRIGUEZ, G. The effect of material treatments on the chemical composition of cacao leaves. The diagnosis of soil and crop nutrient requirements by means of Leaf analysis. Imperial College of Tropical Agriculture. Trinidad. Report on Cacao Research, 1934. pp. 75-82. 1935.
37. MULLER, L. E. Algunas deficiencias minerales comunes en el cafeto (*Coffea arabica* L.). Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico nº 4. 1959. 41 p.
38. _____ Un aparato micro Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba 11(1):17-25. 1961.
- X 39. MURRAY, D. B. A shade and fertilizer experiment with cacao. Progress Report. Imperial College of Tropical Agriculture. Trinidad. Report on Cacao Research, 1952. pp. 14-15. 1953.
40. _____ The role of shade and fertilizers in the cultivation of cacao. Journal of the Agricultural Society of Trinidad and Tobago 57(2):193-208. 1957.
41. PAEZ, G. Regresión de la producción de café sobre el contenido de nitrógeno foliar y del suelo. Resumen de Seminario, Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1964. 4 p. (mimeografiado)
42. POUND, F. J. Criteria and methods of selection in cacao. Imperial College of Tropical Agriculture. Trinidad. Annual Report on Cacao Research, 1932. pp. 27-29. 1933.
43. _____ Studies of fruitfulness in cacao, IX. Differences between high-bearing and low-bearing cacao trees in response to inorganic manures. Imperial College of Tropical Agriculture. Trinidad. Report on Cacao Research, 1935. pp. 20-21. 1936.
44. SORIA, V. J. Informe del viaje realizado a Ecuador y Colombia. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Informe nº 36-E. 1959. 9 p.
45. _____ Report on a visit to Los Brillantes Experimental Station in Guatemala. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Report nº 43. 1961. 10 p.
46. _____ Informe sobre el estado de las investigaciones en cacao en Brasil. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Informe nº 48-E. 1963. 10 p.

- x 47. SORIA, V. J. y ESQUIVEL, O. Comparación de vigor de plantas híbridas y no seleccionadas de cacao. In Reunión Latinoamericana de Fitotecnia 6a. Buenos Aires. 5-18 Noviembre, 1961. Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria 2:19-20. 1963.
- x 48. _____ El vigor híbrido y su uso en el mejoramiento genético de cacao. Fitotecnia Latinoamericana 1(1):59-78. 1964.
- x 49. _____ The method of accumulative character scores to select superior individual cacao trees. Turrialba Cacao Programme. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1963. 5 p.
50. SYLVAIN, P. G. Advances in coffee production technology. Coffee and Tea Industries and the Flavor Field 11(81):133-135. 1958.
51. _____ The photosynthesis of Coffea arabica L. A review of the pertinent literature. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Coffee and Cacao Reviews. 1958. 14 p.
- x 52. _____ El cafeto en relación con el agua. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Materiales de Enseñanza de Café y Cacao n° 11. 1959. pp. 28-29.
53. SYBENGA, J. Genética y citología. Una revisión de literatura. Turrialba 10(3):82-137. 1960.
54. TYNER, E. H. The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus, and potassium content. Soil Science Society of America. Proceedings 11:317-323. 1946.
55. VELLO, F. Estudio preliminar sobre la influencia del origen de los padres en la expresión del vigor híbrido en plántulas de cacao. Tesis Mag. Agric. sin publicar. Turrialba, C. R. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1963. 61 p.
- x 56. WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy 4:101-144. 1952.
57. WILLIARD, H. H., FURMAN, N. H. y BRICKLER, C. E. Análisis químico cuantitativo. 3a. ed. México, Editorial Marín, S. A. 1956. 126-135, 159-161, 482-499.
58. WITHROW, R. B. y WITHROW, A. P. Nutriculture. Indiana. Agricultural Experiment Station. Circular n° 328. 1948. 59 p.
59. WOOD, G. A. R. Cocoa growing in Venezuela, Colombia y Ecuador with notes on three cocoa diseases. Bournville, England. Cadbury Brothers Ltd. 1959. 57 p.

A P E N D I C E

Procedimiento usado para las determinaciones del contenido de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio en las soluciones nutritivas

a) Nitrógeno: la determinación del nitrógeno total contenido a la solución nutritiva se realizó por el método de micro Kjeldahl, utilizando un aparato similar al descrito por Müller (38). Se omitió el proceso de digestión puesto que el material objeto de análisis era la solución nutritiva, ejecutándose únicamente el proceso de destilación.

Los pasos seguidos fueron:

1. Se tomó una alícuota de la solución igual a 5cc., por duplicado, la cual se colocó en un balón Kjeldahl de 100 cc.
2. Se añadieron 2 cc. de alcohol de 95°.
3. Se añadió una pizca de Davarda's Alley (reductor metálico).
4. Se insertó el balón en el aparato destilador, dejando caer sobre la muestra, antes de la destilación, una alícuota de 2 cc. de una solución de hidróxido de sodio 1:1.
5. Se destiló por espacio de 5 minutos.

El NH_3 desprendido del medio alcalinizado se recogió en un erlenmeyer que contenía 4 cc. de ácido bórico al 2% con una mezcla de indicadores rojo de metilo y azul de metileno.

6. Se tituló por retroceso con ácido sulfúrico 0.02N en una micro-bureta.
7. El contenido de nitrógeno total se expresó en ppm por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{ppm N} = \frac{\text{cc Ver.} \times \text{N Ver.} \times 0.014 \times 10^6}{\text{alícuota}}$$

b) Fósforo: Las determinaciones del contenido de fósforo en las soluciones nutritivas se realizaron con el uso de un espectrofotómetro "Coleman" modelo 6-A. Los pasos seguidos durante el proceso, fueron:

1. Se tomó una alícuota de la solución nutritiva igual a 1 cc. por duplicado, y se colocó en tubos de colorímetro.
2. Se añadió 9 cc. de agua destilada.
3. Se agregó 0.5 cc. de una solución de molibdato de amonio.
4. Se agregó 0.5 cc. de una solución de ácido 1-amino-2 naphthol-sulfónico.
5. Se agitó bien y se esperó 30 minutos antes de realizar las lecturas en el espectrofotómetro.

Al mismo tiempo se preparó una serie de estándares con una solución patrón conteniendo 5 ppm. de fósforo. La serie de estándares correspondió a los siguientes volúmenes de solución patrón: 0, 2, 4, 6, 8 y 10 cc.

La luz transmitida a través de las disoluciones estándar sirvió de base para calcular la concentración de fósforo en las soluciones nutritivas, mediante el empleo de papel semilogarítmico.

c) Calcio. Se utilizó el método del Versenato de sodio para la determinación de este elemento. Se siguió el siguiente procedimiento.

1. Se tomó una alícuota de la solución nutritiva igual a 5 cc. por duplicado, y se colocó en un erlenmeyer de 125 cc.
2. Se agregó 5 cc. de una solución de hidróxido de potasio al 12%.

4. Se agregó 1 cc. de hidroxilamina disuelta al 5%.
5. Se diluyó con 25 cc. de agua destilada.
6. Se añadió al final 1 pizca del indicador Calcom.
7. Se tituló con Versenato de sodio 0.02 N en una bureta de 25 cc.
8. Se expresó la concentración de Ca en términos de ppm. por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{ppm Ca} = \frac{\text{cc. Ver} \times \text{N Ver} \times 0.020 \times 10^6}{\text{alícuota}}$$

d) Magnesio. Se determinó este elemento por el método del Versenato de sodio. En realidad este método proporciona la concentración total de Calcio más Magnesio, y por diferencia se obtiene el contenido de magnesio.

Los pasos seguidos fueron los siguientes:

1. Se tomó una alícuota de la solución nutritiva, igual a 5 cc. por duplicado, y se colocó en un erlenmeyer de 125 cc.
2. Se agregó 5 cc. de una solución Buffer de pH 10 ($\text{NH}_4\text{Cl}-\text{NH}_4\text{OH}$).
3. Se añadieron 5 gotas de una solución de cianuro de potasio al 2%.
4. Luego, 1 cc. de una solución de clorhidrato de hidroxilamina al 5%.
5. Se diluyó con 25 cc. de agua destilada.
6. De inmediato se agregó 4 gotas del indicador eriocromo negro.

7. Se tituló con Versenato de sodio 0.02 N.
8. Las concentraciones de magnesio se expresaron en ppm. por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{ppm Mg} = \frac{\text{cc. Ver. (para total)} - \text{cc. Ver. (Ca)} \times N \text{ Ver.} \times 0.012 \times 10^6}{\text{alícuota}}$$