

Rev. Fac. Agron. (Maracay), XIV (3-4): 99-131
Diciembre, 1986

DETERMINACION DE LOS NIVELES DE REFERENCIA
DE N, P, K, Ca y Mg EN HOJAS DE PLANTAS DE
CARAOTA (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVADAS
EN SOLUCIONES NUTRITIVAS *

JOCELYNE ASCENCIO**

COMPENDIO

En el presente trabajo se determinan los niveles o concentraciones de referencia de N, P, K, Ca y Mg en la materia seca de plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris* cv 'Tacarigua'). Las plantas se cultivaron en soluciones nutritivas estáticas en recipientes individuales de plástico de 6.l, dentro de un cobertizo adaptado para este sistema de cultivo. Siguiendo la metodología propuesta por Ulrich, se prepararon las series de soluciones para los diferentes nutrimentos utilizándose como base la solución Hoagland II. Las plantas se cosecharon al aparecer los botones florales y el análisis químico se realizó utilizando hojas seleccionadas por tamaño y también las hojas 1ª y 2ª más recientemente expandidas a partir del ápice. Del análisis de los resultados, se dedujeron los niveles de suficiencia de N, P, K, Ca y Mg como porcentaje de la materia seca de láminas y pecíolos de las hojas 1ª y 2ª como sigue: 4,18; 0,60; 4,55; 1,96; 0,41; y 1,60; 0,63; N.D.; 1,67; 0,14, respectivamente. Se analizan las curvas de calibración desarrollo de las plantas-concentración de nutrimentos en la materia seca y los problemas de utilizar "hojas representativas" para el análisis foliar con fines de diagnóstico, cuando éstas provienen de una selección que pudiera no haber sido la más adecuada. También se analizan relaciones nutricionales debido a posibles interacciones entre nutrimentos y a efectos de dilución.

ABSTRACT

Reference nutrient concentration values were established in this study for bean plants (*Phaseolus vulgaris* var 'Tacarigua') grown in well aerated static nutrient solutions under greenhouse conditions. Individual 6-liters ca-

* Financiado en parte por el CONICIT, Proyecto S1-514. Trabajo presentado para su publicación el 31-01-86.

** Profesor Asociado, Instituto de Botánica Agrícola. Facultad de Agronomía. UCV.

capacity plastic pots were used and different series of solution concentration were prepared for N, P, K, Ca and Mg following the procedures outlined by Ulrich. Plants were sampled at the early flower bud stage and chemical analyses performed on leaves of different size and also for the uppermost "fully mature" leaves, for which sufficiency levels were established, for blades and petioles, as follows: 4,18; 0,60; 4,55; 1,96; 0,41 and 1,60; 0,63; N.D.; 1,67; 0,14% DW respectively. Nutrient calibration curves are analyzed and the hazards of sampling "representative" leaves are discussed. Nutrient interactions and dilution effects are as well evaluated.

INTRODUCCION

En el estudio de los requerimientos nutricionales de las plantas, muchas veces se confunde la interpretación de los valores obtenidos de la determinación de niveles de concentración de nutrientes para el suelo o para la solución nutritiva con los obtenidos del análisis de la planta. También existe confusión en el establecimiento de la validez del análisis de la planta cuando los resultados provienen de investigaciones realizadas con soluciones nutritivas. En primer lugar, si el problema es determinar la concentración crítica u óptima de un nutriente en el suelo para un cultivo dado, este resultado debe provenir de ensayos realizados directamente en el suelo, ya que el valor estará determinado por la dinámica del nutriente en el suelo y al ser determinado *in situ* bajo determinadas condiciones del medio ambiente, no es por lo tanto extrapolable. En segundo lugar, para establecer rangos o niveles de concentraciones de referencia en la planta, el ensayo se puede realizar tanto en suelo como en soluciones nutritivas, ya que el análisis se hace sobre el tejido vegetal y no utilizando muestras de sustrato. El fundamento de este método es el de que la planta responde con el proceso de crecimiento una vez que el nutriente entra a la raíz, independientemente si éste proviene de la solución del suelo o de una solución nutritiva.

El primer paso en la determinación de los requerimientos nutricionales de una especie, variedad o cultivar, es la determinación de las concentraciones o niveles de referencia en la planta, los cuales se obtienen bajo condiciones semicontroladas ya que se requiere de concentraciones conocidas de nutrientes en el sustrato, con el fin de establecer las relaciones entre el desarrollo de las plantas y la concentración de nutrientes en los tejidos, la cual se expresa en la curva de calibración respectiva. Esta relación es generalmente curvilínea, pero podría ser lineal o también una combinación de ambas (Bouma, 1982). La técnica experimental que permite el control satisfactorio de la concentración del medio donde se desarrollan las plantas, es el cultivo en soluciones nutritivas estáticas o en flujo continuo, cuyas diferentes modalidades técnicas se detallan en Hewitt, 1966.

La determinación de los niveles de referencia de nutrientes para un cultivo se lleva a cabo generalmente siguiendo la metodo-

logía de Ulrich, 1952, fundamentada en el establecimiento de una concentración externa en el medio de crecimiento, capaz de producir una disminución en el desarrollo o en el rendimiento de la planta y en la concentración del nutriente en los tejidos, generalmente de las hojas. Cuando se utiliza el análisis de tejidos, uno de los principales problemas es el muestreo, ya que la concentración de nutrientes en la materia seca es una cantidad fluctuante determinada fundamentalmente por la edad del órgano que se muestrea, por la fase de desarrollo de la planta y por la tasa de exportación e importación de nutrientes entre órganos. Los diferentes investigadores han establecido criterios de muestreo fundamentalmente de hojas de acuerdo a su posición en el tallo, lo cual es en sí un criterio de edad de las hojas. De igual forma se han establecido correlaciones entre la concentración de nutrientes en las diferentes partes de la hoja (pecíolos, láminas foliares, vainas foliares) y el desarrollo de la planta para escoger el órgano o parte del mismo que pudiera ser el más representativo del estado nutricional de la planta (Ulrich y Hills, 1952; Ulrich, 1956, 1961; Ulrich y Fong, 1973; Ulrich y Berry, 1961).

La caraota (*Phaseolus vulgaris*) ha sido estudiada más ampliamente con fines de diagnóstico desde el punto de vista de las prácticas de fertilización del suelo y de la respuesta del cultivo a las mismas. El programa frijol (caraota) del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (Colombia) ha venido investigando los requerimientos de este cultivo para macro y microelementos con miras hacia la evaluación de métodos de aplicación y manejo de suelos. Sin embargo, se le ha prestado poca atención al análisis de la planta, aunque se recomienda la necesidad de determinar los requerimientos de algunos elementos, el fósforo específicamente, analizando la planta y la inconveniencia de utilizar únicamente el análisis convencional del suelo para estos fines (CIAT, 1975, 1976, 1977). Por otra parte, investigaciones realizadas en Centroamérica, Méjico, Colombia y Brasil utilizando plantas de caraota cultivadas tanto en soluciones nutritivas como en suelo, han permitido establecer los patrones de consumo de nutrientes; Ascencio y Fargas (1973) determinaron la absorción de N, P, K, Mg y S en plantas de caraota, var. "Turrialba-4", durante el ciclo del desarrollo, encontrando que los elementos cuyo consumo total fue mayor fueron $K > N > Ca$, en el rango de 4,6 a 2,2 g/planta. El resto de los macroelementos fueron absorbidos en cantidades significativamente menores y en el rango de 0,8-0,7 g/planta para $Mg > P > S$. Los períodos de mayor demanda fueron durante la fase vegetativa inmediatamente antes de la floración y durante el período de crecimiento activo de los frutos, siendo los aumentos en esta fase significativamente mayores a los del período anterior. Esto genera patrones de consumo característicos en picos cuando se registra el consumo de estos macronutrientes por planta para los diferentes períodos de tiempo. Este mismo patrón se ha encontrado en otras

investigaciones con la misma planta (Sotomayor, 1972; Chávez, 1973; Masaya, 1971) y en diferentes variedades. Gallo y Miyasaka (1961) encontraron las mismas tendencias de consumo bajo condiciones de campo para el período floración-maduración de los frutos, siendo el fósforo el elemento absorbido en menor cantidad. De acuerdo con los resultados preliminares de Masaya (1971) con la variedad "Turrialba-4", las plantas consumen más activamente antes y al inicio de la floración, disminuyendo posteriormente para volver a aumentar en forma notoria durante el período de crecimiento de los frutos. Chávez (1973) en una evaluación de tres líneas de variedades de caraota '27-R', 'St' y 'C-1', encontró diferencias significativas en cuanto al consumo de macroelementos entre la línea '27-R' y las otras dos, diferencias éstas muy notables durante el período de formación de los frutos para los elementos potasio y nitrógeno. Las plantas de la línea '27-R' mostraron un consumo hasta de un 100% menor, el cual se reflejó también en el menor rendimiento de estas plantas, el cual fue de un 30% menor al compararlo con el de las otras dos líneas. En una investigación realizada por Shea (1966) se seleccionaron diferentes líneas de *Phaseolus vulgaris* en base a la eficiencia de la utilización del potasio en plantas cultivadas en soluciones nutritivas con 5,0 ppm de K.

El presente trabajo tiene por objeto analizar las relaciones entre la concentración de nutrimentos en hojas y el desarrollo de plantas de caraota cultivadas en soluciones nutritivas con el fin de establecer las concentraciones o niveles de referencia de N, P, K, Ca y Mg como una primera información, básica, en la determinación de los requerimientos nutricionales de este cultivo con fines de diagnóstico.

MATERIALES Y METODOS

Localización de la investigación: El trabajo fue realizado en un invernadero tipo cobertizo adaptado con la infraestructura para el cultivo de las plantas en soluciones nutritivas, en el Instituto de Botánica Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, en Maracay.

Descripción del cobertizo: El cobertizo para el cultivo de las plantas, que se puede observar en la Figura 1, se construyó sobre una base de piso de concreto y brocal de bloque de 83 cm de altura con una estructura en doble T de hierro, paredes de malla de mosquitero en marcos de madera y techo de láminas plásticas (plasti-vidrio transparente translúcido-Dicopesa). Las dimensiones generales útiles del cobertizo son 5,80 x 9,78 m, lo que origina un área de aproximadamente 60 m², con una altura total desde la base de 4,03 m.

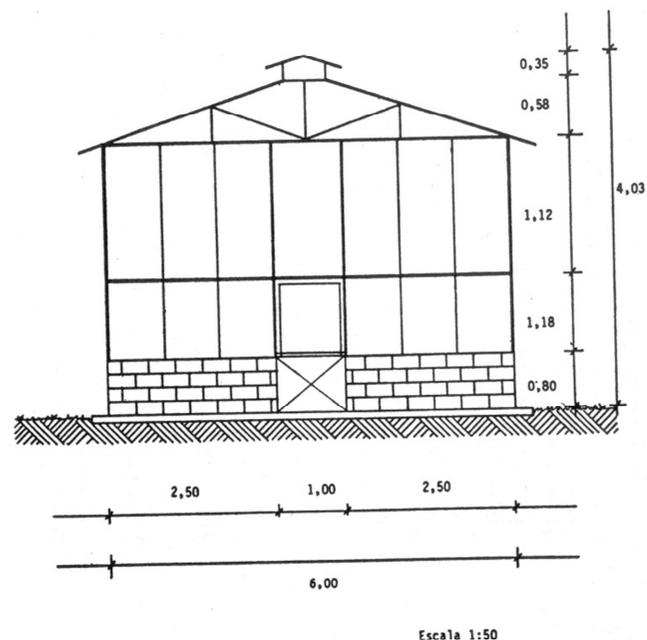


FIGURA 1

Cobertizo I utilizado para el cultivo de las plantas (Instituto de Botánica)

Condiciones climáticas dentro del cobertizo: Los registros de la radiación solar global, temperatura y humedad relativa, se llevaron a cabo en forma continua durante diferentes meses del año desde que el cobertizo se construyó en 1975. Se instalaron instrumentos meteorológicos estándar apropiados para el registro de las variables ambientales más importantes.

Radiación solar: Se utilizó un piranómetro mecánico de cúpula Weathertronics mod. 3010, con bandas de registro semanal para ser planimetradas, registrándose la radiación en calorías/cm² día. Se calcularon los promedios semanales y mensuales, los cuales fueron comparados con los registrados en la estación meteorológica del FONAIAP ubicada dentro del área de la Facultad de Agronomía. También se

realizaron registros diarios de los valores instantáneos de Radiación Fotosintéticamente Activa (RAF, 400-700 nm), determinándose la intensidad de la luz en días nublados y despejados con un Cuanto-Radiómetro LiCor Mod. LI-185 B, provisto de un sensor cuántico esférico. Los resultados se expresan en *microEinstein/cm² seg* ($\mu\text{E}/\text{cm}^2 \text{ seg}$) para los valores obtenidos de intensidad de luz fuera y dentro del cobertizo y también para la sección ampliada del cobertizo a la que se le denominó "cobertizo II", el cual fue construido en octubre de 1984 con techo de láminas "DecoGlass", tipo DECO VIV (neutro).

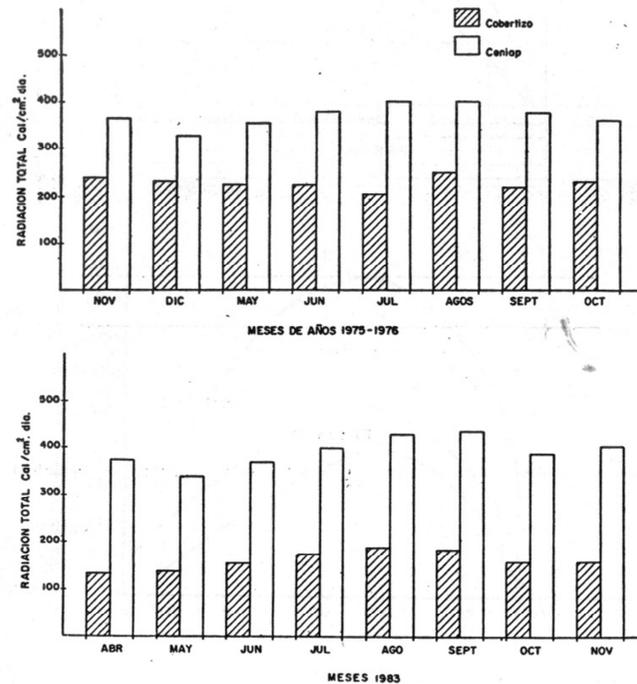


FIGURA 2

Comparaciones mensuales de la radiación global dentro y fuera del Cobertizo I.
a) años 1975-76; b) año 1983.

En la figura 2 (a y b) se pueden observar las comparaciones mensuales para promedios de radiación solar dentro del cobertizo y en la estación meteorológica del FONAIAP para una serie de meses de los años 1975-76 y 1983. Como se puede observar, las láminas del techo sufrieron con el tiempo una disminución en la transmisión de la luz, lo cual se reflejó en un gradiente de envejecimiento lineal de aproximadamente 16 calorías/año, valor este estandarizado al valor medio inicial de la radiación dentro del cobertizo. En 1975 la relación entre las radiaciones observadas dentro-fuera fue de aproximadamente 67%, y en 1983 de aproximadamente 41%, con una disminución del 26%. La limpieza de las láminas con detergente común y agua aumentó el porcentaje en un 6% estableciendo la nueva relación en aproximadamente 20%. El lavado, lo cual implicó la remoción del techo, en términos económicos equivale a rejuvenecer el mismo: $(6 \times 9)/26$, o sea aproximadamente, 2,1 años o en términos de calorías a $16 \times 2,1$, o sea aproximadamente, 33,6 cal/cm²/día (nueve equivale al número de años de las mediciones). Estos valores deberían tenerse en cuenta para la selección de una decisión racional y establecer la conveniencia o no de realizar esta operación del lavado de las láminas, teniendo en cuenta el gasto económico que esto implica y también el límite de radiación aceptable para el desarrollo normal de las plantas.

En la Figura 3 (a y b) se comparan los transcurros diarios de radiación solar fotosintéticamente activa (RFA) dentro y fuera del cobertizo I y de la ampliación más reciente del mismo (llamado aquí cobertizo II). En días completamente despejados se alcanzó un valor máximo instantáneo de RFA de 2500 *microEinstein/cm² seg*, a plena exposición (fuera) y de 800 y 1000 dentro de los cobertizos I y II, lo cual corresponde aproximadamente a 32 y 40% de relación dentro-fuera respectivamente. En días nublados, los valores máximos de RFA se reducen a 1550, 400 y 800 *microEinstein/cm² seg*, o sea, 33 y 47% respectivamente de relación dentro-fuera.

Temperatura y humedad relativa: Se utilizó un higrotermógrafo Weathermeasure Mod. H-302 de registro semanal, de cuyas bandas se calcularon los promedios mensuales de temperatura y humedad relativa. Dada la poca variación intermensual de los valores mensuales obtenidos, únicamente se presentan a continuación promedios anuales para diferentes años:

Año	Temp. °C	HR%
1976	25,5	65
1980	26,6	61
1983	26,4	66

La temperatura media mínima dentro del cobertizo se encuentra alrededor de 21°C y la media máxima de 32°C. Aproximadamente estas temperaturas se sitúan entre 1 y 1,5°C mayores que

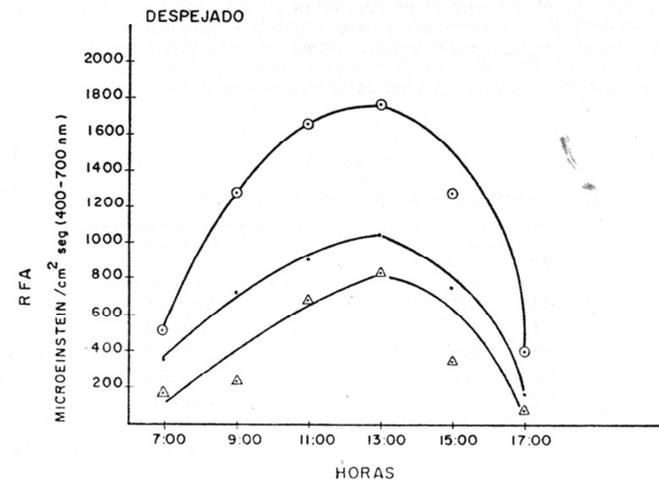
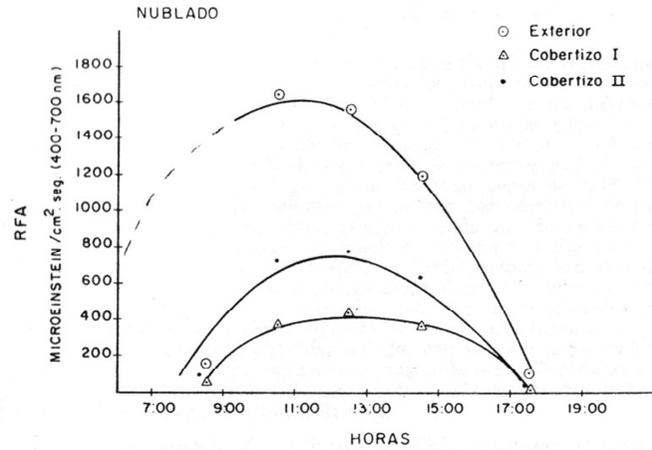


FIGURA 3

Comparaciones de los transcurros diarios de radiación solar fotosintéticamente activa (RFA) dentro y fuera de los cobertizos I y II, en: a) días nublados; b) días despejados. (Datos para 1985).

las registradas en la estación meteorológica y las humedades relativas entre 5 y 7% inferiores.

Descripción del sistema para el cultivo de plantas en soluciones nutritivas: Para el cultivo de las plantas en soluciones nutritivas estáticas se desarrolló la infraestructura que muestra la Figura 4. El sistema está integrado por un compresor de aire Binks de 1/2 HP, modelo 33-1005 de 160 lb capacidad máxima y 1/25 rpm, conectado

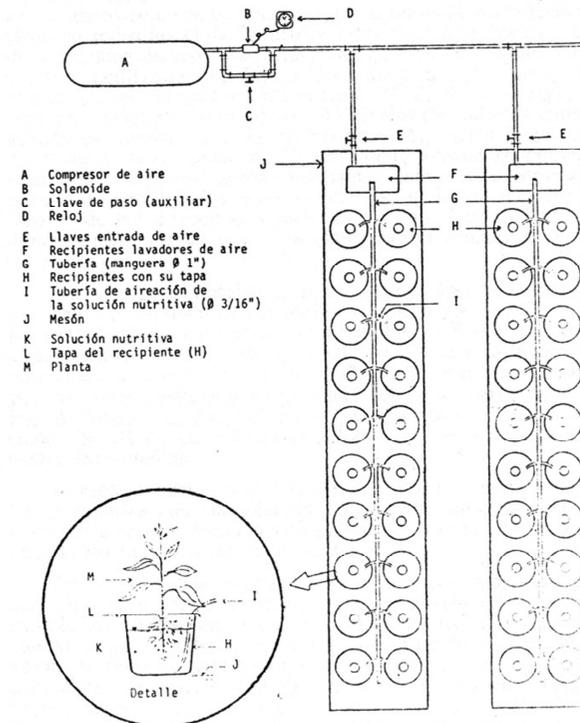


FIGURA 4

Diagrama de la instalación para el cultivo de las plantas en soluciones nutritivas estáticas dentro del Cobertizo I.

a un reloj eléctrico de períodos de 15 minutos y a una válvula electrónica de abertura y cierre (solenoides). La salida del aire del compresor se realiza por tuberías de 1/2" de diámetro a los diferentes mesones y en forma individual a través de llaves de paso. El aire proveniente del compresor pasa previamente por recipientes lavadores (con agua) para distribuirse a través de mangueras plásticas de 1" perforadas a intervalos de 2,5 cm con mangueras de 3/16", que terminan dentro de los recipientes con puntas micrométricas de plástico. De esta forma se distribuye el aire en cada uno de los recipientes en forma individual como se puede observar en la Figura 4. La aireación de las soluciones se realizó en forma automática, graduándose con el reloj el calendario de aireación diaria; el solenoide abre y cierra la salida del compresor para cada período de aireación previamente establecido, aireándose todos los recipientes simultáneamente. Todas las conexiones plásticas selladas con silicone (tipo soldimix u otro material similar) para evitar fugas de aire. El sistema aquí descrito puede airear eficientemente 200 o más recipientes de hasta 6 litros llenos de la solución nutritiva.

Material vegetal: Se utilizaron semillas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Tacarigua') obtenidas en la Sección de Semillas del CENIAP en Maracay. Las semillas se germinaron en cilindros de papel absorbente con agua corriente, siendo transplantadas a los diferentes tratamientos de soluciones nutritivas a los 10 días a partir de la siembra, obteniéndose plántulas muy homogéneas, saludables y erectas.

CUADRO 1

COMPOSICION DE LA SOLUCION NUTRITIVA BASE

Elemento	Concentración	
	mg/l	mM
Nitrógeno	210	15,0
Fósforo	31	1,0
Potasio	234	6,0
Calcio	200	5,0
Magnesio	48	2,0
Azufre	64	2,0
Hierro	5,0	—
Boro	0,5	—
Manganeso	0,5	—
Zinc	0,05	—
Cobre	0,02	—
Molibdeno	0,01	—

Preparación de las soluciones nutritivas: Se utilizaron mezclas de sales puras (grado analítico), para la preparación de soluciones madres de: KNO_3 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; KH_2PO_4 ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; K_2SO_4 ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}(\text{PO}_3\text{H}_2)_2$; H_2O . $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y NaNO_3 . Para la solución de micronutrientes utilizaron las siguientes sales (grado analítico): H_3BO_3 ; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; H_2MoO_4 y para la solución de hierro: EDTA-Na.Fe . Se utilizó como solución nutritiva básica la Solución Hoagland II, cuya composición aparece en el Cuadro 1 y a la cual se hace referencia en este trabajo como el t_0 . Para la preparación de las soluciones nutritivas en todos los casos se utilizó agua corriente (grifo). Las series de tratamientos para los diferentes nutrimentos estudiados, se calcularon modificando en forma decreciente a partir del t_0 la concentración del elemento correspondiente (N, P, K, Ca ó Mg), obteniéndose una serie de tratamientos de niveles de concentraciones en las soluciones nutritivas desde un máximo (t_0) hasta la solución sin el elemento en su composición. El resto de los elementos se mantuvieron dentro del rango de las concentraciones establecidas como suficientes para el desarrollo normal de las plantas, mediante la utilización combinada de las diferentes soluciones madres. Las concentraciones de microelementos y de hierro se mantuvieron constantes en todos los tratamientos.

Las soluciones nutritivas para los diferentes tratamientos se prepararon en recipientes colectores de 40 litros siendo distribuidas posteriormente a recipientes individuales de 6 litros. En todos los tratamientos se utilizaron recipientes con una sola planta y tres repeticiones para cada tratamiento. En el Cuadro 2 aparecen los rangos de las concentraciones utilizadas en cada serie N, P, K, Ca y Mg. Al inicio y al final de cada experimento se hicieron determinaciones de pH de las soluciones nutritivas y no se realizaron correcciones intermedias.

Arreglo experimental: Las plantas se transplantaron al azar a los recipientes con las soluciones nutritivas de cada serie. Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento más el testigo (t_0) para cada uno de los nutrimentos N, P, K, Ca y Mg.

Muestreo de las plantas: Se cosecharon todas las plantas de cada uno de los tratamientos y para cada serie (N, P, K, Ca y Mg) cuando las plantas en el tercio inferior de los tratamientos mostraron síntomas de deficiencias visuales, cuando empezaron a observarse los botones florales (aprox. 30 días) siguiendo la metodología propuesta por Ulrich (1952). Para los fines del análisis del nitrógeno y el fósforo se estableció el tamaño y la edad de las hojas, separándose las mismas tomando como criterio de medida el ancho del foliolo central, como sigue: *Hojas grandes* 10 cm; *Hojas medianas* 8 cm, y *Hojas pequeñas* 5 cm de ancho, respectivamente. En determinaciones posteriores se utilizaron la primera y segunda hojas expandidas a partir del ápice para la realización de los análisis químicos.

CUADRO 2

RANGO DE CONCENTRACIONES UTILIZADAS EN LAS SERIES DE SOLUCIONES NUTRITIVAS DE NITROGENO, FOSFORO, POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO

	N-NO ₃		P		K (1° exp.)		K (2° exp.)		Ca		Mg	
	ppm	mM	ppm	mM	ppm	mM	ppm	mM	ppm	mM	ppm	mM
t ₁	168	12	23	0,9	156	4,0	130	3,3	100	2,5	36	1,5
t ₂	112	8	18,6	0,6	117	3,0	85,8	2,2	80	1,25	24	1,0
t ₃	84	6	15,5	0,5	89	1,0	58,5	1,5	60	1,50	19,2	0,8
t ₄	56	4	12,4	0,4	19,5	0,5	39,0	1,0	40	1,00	17	0,7
t ₅	21	1,5	7,8	0,3	9,8	2,7	29,3	0,75	20	0,50	12	0,5
t ₆	14	1,0	4,7	0,2	0	0	19,5	0,5	10	0,25	5	0,2
t ₇	7	0,5	0	0	—	—	9,8	0,25	0	0	0	0
t ₈	0	0	—	—	—	—	0	0	—	—	—	—

micos, unificando así el muestreo en todos los ensayos realizados. En todos los casos se analizaron las hojas compuestas trifolioladas. El material vegetal fue llevado a estufa para la determinación de pesos secos de raíces, tallos y hojas (separando láminas y pecíolos), y secado en bolsas individuales de papel por órgano y por planta a 70 °C durante 72 h. Las determinaciones de peso se realizaron en una balanza analítica Sartorius y en una balanza Sartorius 0,1 g, modelo 2256. Los resultados se expresan como porcentaje relativo del peso seco total de las plantas, referido al máximo dentro de cada serie de tratamientos en relación con la concentración porcentual del elemento en la materia seca de pecíolos y/o láminas foliares muestreadas para el análisis químico.

Análisis químico del material vegetal: Se analizaron por separado pecíolos y láminas de las plantas en cada uno de los tratamientos. Las láminas se analizaron por separado y los pecíolos en una muestra compuesta de las tres repeticiones de cada tratamiento. El material secado a estufa fue finamente molido en un molino Wiley con malla 40, tomándose 0,1 g para su digestión posterior.

Digestión: Se realizaron digestiones húmedas en balones Kjeldahl de 25 ml en aparatos de digestión Labconco bajo una campana. Se utilizó la mezcla de digestión H₂SO₄:H₂O₂ y el polvo de selenio y litio como catalizadores (Parkinson y Allen, 1975) y la mezcla nitricoperclórica 5:1. Al finalizar la digestión se realizaron las diluciones con agua destilada caliente hasta 50 ó 100 ml en balones aforados transfiriéndose cuidadosa y cuantitativamente el destilado en varios pasos. A partir de estas soluciones diluidas se tomaron las alícuotas para la realización de los análisis químicos respectivos. En la determinación de los nitratos solubles en el material vegetal no se realizó una digestión previa, sino una extracción en agua destilada, con 100 mg de la muestra molida en 10 ml de agua destilada. Esta suspensión fue incubada en una estufa a 45 °C durante una hora, centrifugándose a 5.000 g por 15 minutos y utilizándose el sobrenadante para los análisis (Cataldo, 1975).

Determinación del nitrógeno

a) *Determinación de nitratos:* Se utilizó el método colorimétrico de Cataldo (1975), basado en la formación de un complejo coloreado por nitración del ácido salicílico en solución fuertemente alcalina (pH 12). El método utiliza una alícuota fija de 0,2 ml, preparándose los patrones en el rango de cero - 60 µg/0,2 ml. El color azul resultante se lee 410 nm.

b) *Determinación del nitrógeno total:* Se utilizó un aparato de destilación microKjeldahl, armado, siguiendo las instrucciones propuestas por Muller (1961), con las siguientes modificaciones: la trampa de vapor se conectó verticalmente al balón Kjeldahl y directamente a la camisa del refrigerante. Se utilizaron cantidades va-

riables de muestra ya digerida y de ácido bórico, de acuerdo con las exigencias de los experimentos; las titulaciones se realizaron con H_2SO_4 0,025 N preparado por dilución de una ampolla comercial exactamente 0,1N. El aparato se calibró regularmente con sulfato de amonio.

c) *Determinación de fósforo:* Se utilizó el método colorimétrico de Fiskesubarrow (1925) utilizándose HCl como agente acidificante para la formación de complejo coloreado con 1-amino-2-naftol-4-ácido sulfónico, el cual se lee a 525 nm. Se utilizó un espectrofotómetro Bausch & Lomb Spectronic 20 para todas las lecturas de absorbancia.

d) *Determinación de potasio, calcio y magnesio:* A partir de las soluciones dirigidas y diluidas se prepararon diluciones 1:100 con cloruro de lantano ($LaCl_3 \cdot 7 H_2O$) al 0,5%. Las determinaciones se realizaron en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer, modelo 2380 en el Instituto de Producción Animal y también

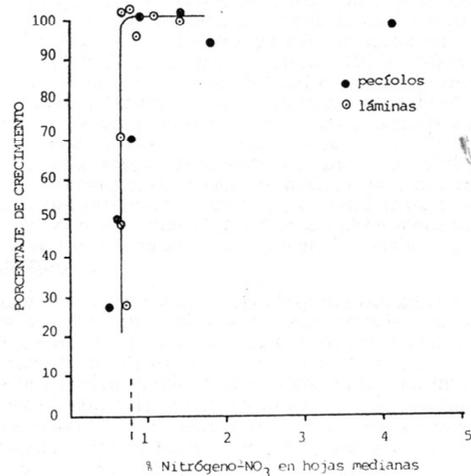


FIGURA 5

Relación entre el desarrollo de las plantas y el contenido de nitrógeno $-NO_3$ (B.S.) en láminas y pecíolos de "hojas medianas".

en el laboratorio de Edafología de la Facultad de Agronomía de la UCV.

Los resultados se analizan gráficamente de acuerdo a las características de las curvas de calibración nutriente-desarrollo y mediante análisis de correlación utilizando la transformación angular (arcoseno) de los datos (Sokal y Rohlf, 1969; Rohlf y Sokal, 1969). La significancia del coeficiente de correlación se estableció en todos los casos para un nivel de $P < 0,05$. Todos los cálculos se realizaron con una calculadora HP-33C programable.

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, únicamente en la determinación de los niveles de referencia de nitrógeno,

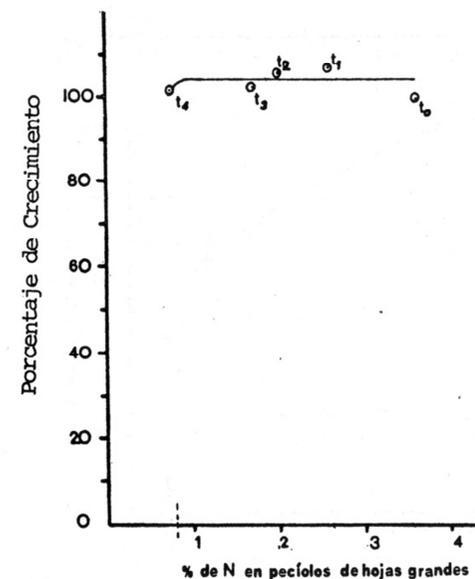


FIGURA 6

Relación entre el desarrollo de las plantas y el contenido de nitrógeno $-NO_3$ (B.S.) en pecíolos de "hojas grandes".

se encontró una relación satisfactoria entre la aparición progresiva de los síntomas visuales de deficiencia, el desarrollo de las plantas y el porcentaje de nitrógeno en la materia seca en las denominadas hojas medianas (8 cm de ancho foliolo central). La curva de calibración se ajustó convenientemente a la definición de Ulrich al utilizar tanto láminas como peciolos (Fig. 5). Al utilizar hojas más grandes (10 cm ancho foliolo central) no se observó la zona de deficiencia en la curva de calibración (Fig. 6), ya que aparentemente el nitrato en la materia seca de las hojas de las plantas de la serie inferior de tratamientos de nitrógeno en la solución nutritiva, había sido completamente metabolizado a amonio. Posiblemente la determinación del nitrógeno total resulte más adecuada en casos como éste, aunque como lo demuestra Carvajal (1974), la elección de la fracción de nitrógeno a ser utilizada para la realización de los análisis no es crítica, pudiéndose utilizar con igual grado de confianza cualquiera de las fracciones de N-orgánico soluble en agua, N-reducido incorporado en compuestos orgánicos, N-total soluble y N-NO₃-soluble, en la preparación de curvas de calibración para la determinación de requerimientos de nitrógeno en plantas de caraota. Por otra parte, la utilización de métodos colorimétricos para nitratos se ha generalizado, ya que éstos son precisos y fáciles de implementar en los análisis de rutina, habiéndose calculado coeficientes de correlación muy elevados ($r = 0,92-0,96$) para la asociación de NO₃-N-total en hojas. Bates (1971), Mitchell y otros (1974), Martin y otros (1973), encontraron que tanto el N-total como las formas solubles de nitrógeno se correlacionaron bien con la cantidad de nitrógeno suministrado en la solución nutritiva, aunque en algunos casos se pudiera obtener una curva de calibración con un punto de inflexión más agudo y una mayor pendiente utilizando N-total (Mitchell, 1974). Lo más conveniente en caso de duda sería comparar las curvas obtenidas con diferentes fracciones, especialmente si se obtienen curvas de calibración incompletas como las observadas en este trabajo al utilizar hojas grandes (posiblemente ya viejas y poco activas metabólicamente).

El rango de concentraciones de nitrógeno fue mayor al analizar los peciolos (0-4000 ppm N-NO₃) en comparación con las láminas (0-1500 ppm N-NO₃), lo cual coincide con los resultados de Carvajal (1974) y demuestra que es mejor relacionar la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva con la concentración de éste en peciolos, ya que el rango de tratamientos se expresa más ampliamente. Con estos resultados se pudo ubicar un nivel de referencia para N-NO₃ entre 0,80-0,85% (B.S.), tanto al utilizar láminas o peciolos de hojas medianas y dada la precisión de las curvas de calibración se puede interpretar que la respuesta al nitrógeno sería alta cuando se registren concentraciones en la materia seca de estas hojas por debajo del rango señalado anteriormente, siendo mucho menos probable obtener respuestas si la concentración de N se encuentra por encima de este valor. El análisis de nitratos como un indicador del

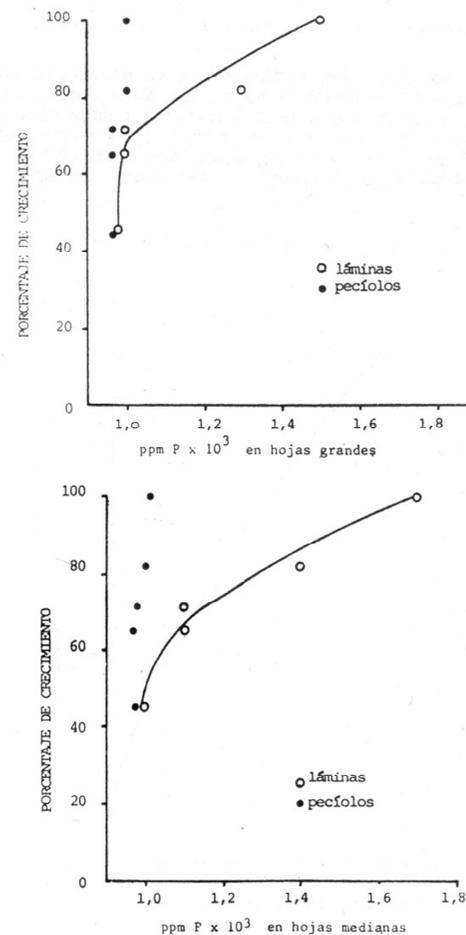


FIGURA 7

Relación entre el desarrollo de las plantas y el contenido de fósforo (B.S.) en peciolos y láminas de hojas "grandes" y "medianas".

estado nutricional de la planta ha sido utilizado en maíz (Alcalde, y otros, 1977) para estimar el rendimiento, obteniéndose ecuaciones de regresión que demuestran la utilidad del análisis del NO_3 como variable altamente explicativa del rendimiento.

En las condiciones de este trabajo no se observaron nódulos en las raíces de las plantas; la bibliografía especializada indica que en condiciones de buen suministro de nitratos, la formación de nódulos en raíces de leguminosas es escasa o inexistente, habiéndose podido demostrar que en sistemas biológicos de fijación de nitrógeno la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa se interrumpe cuando existe una cantidad suficiente de nitrógeno en el medio ambiente donde crecen las raíces (Bill, 1978). Sin embargo, en aquellos tratamientos que correspondieron a la zona de deficiencia podría haberse observado alguna producción de nódulos si se hubiera inoculado la solución nutritiva (que por otra parte no era estéril) con cepas de *Rhizobium*.

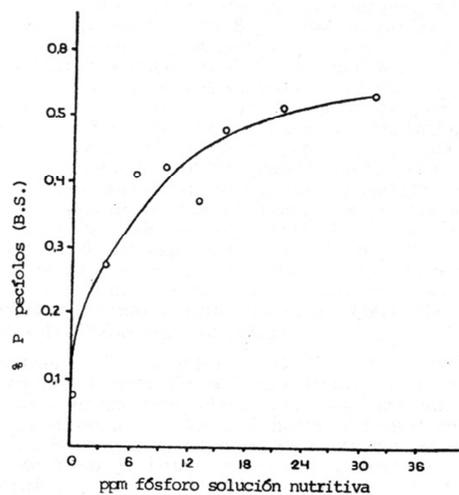


FIGURA 8

Variación en el contenido de fósforo en pecíolos de la 1ª y 2ª hojas "expandidas", a partir del ápice en plantas desarrolladas en diferentes concentraciones de fósforo (Matá, 1982 - Tesis Ing. Agr., Facultad de Agronomía).

La determinación de los niveles de referencia para el fósforo fue difícil ya que a las curvas de calibración obtenidas (Fig. 7) no se les pudo aplicar satisfactoriamente la definición de Ulrich de niveles de deficiencia, críticos y de suficiencia. Al analizar los pecíolos de la primera y segunda hojas expandidas a partir del ápice no se encontraron variaciones en el porcentaje de fósforo en la ma-

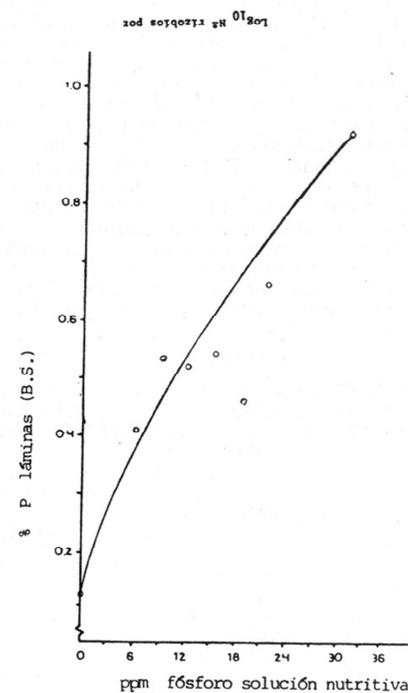


FIGURA 9

Variación en el contenido de fósforo en láminas de la 1ª y 2ª hojas "expandidas" a partir del ápice en plantas desarrolladas en diferentes concentraciones de fósforo (Mata, 1982 - Tesis Ing. Agr., Facultad de Agronomía).

teria seca para los tratamientos en el rango de 4,7 a 23 ppm P en la solución nutritiva; sin embargo, sí fue notorio en algunos casos el desarrollo progresivamente mayor de las plantas dentro de la serie. Esta situación podría haber sido consecuencia de dos efectos: 1) un efecto de interacción, entre el fósforo y algún otro elemento, el cual se manifestaría a bajas concentraciones de fósforo en el medio de crecimiento de las plantas acentuándose aún más la reducción en el desarrollo. Esto es factible, ya que es conocido que en condiciones de deficiencia *extrema* del fósforo, las plantas muestran una gran reducción en los contenidos de N, K, Ca y Mg en la materia seca de hojas. 2) un efecto que podría relacionarse con la respuesta misma de las plantas al fósforo en el medio de cultivo, esto es, que el contenido de fósforo en las plantas no reflejara la serie de tratamientos de las soluciones nutritivas. Esta segunda posibilidad está prácticamente descartada, ya que en otros trabajos realizados en este laboratorio y con la misma planta se encontraron respuestas hiperbólicas entre el contenido de fósforo en la materia seca de la primera y segunda hojas (pecíolos y láminas) y las concentraciones crecientes de fósforo en las soluciones nutritivas, tal como se observa en las Figuras 8 y 9 (Mata, 1982). En estos trabajos tampoco fue posible obtener curvas adecuadas de calibración para la relación crecimiento-% P en la materia seca de hojas. Al graficar la relación entre el desarrollo de las plantas y el porcentaje de fósforo en láminas (Fig. 7), se obtuvo una curva en la cual se pueden separar las zonas de deficiencia y suficiencia, sin ser notoria la zona de saturación ni la de transición; la zona de deficiencia se podría ubicar entre 0-1.100 ppm P y la de suficiencia por encima es este valor, aunque no se observó un plateau de saturación, ya que el peso seco de las plantas aumentó en forma sostenida con la concentración de P en las hojas desde 1.100 hasta 1.800 ppm en la materia seca de láminas, por lo que no hay que descartar un efecto pronunciado de dilución del fósforo en la materia seca. De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo es más conveniente utilizar láminas que pecíolos en la determinación de los requerimientos de fósforo en estas plantas.

El análisis de la concentración de N, K, Ca y Mg en láminas realizado en un experimento posterior similar (Cuadro 3), indicó que estos macroelementos se encontraban en cantidades suficientes en todos los tratamientos desde 0 hasta 31 ppm P en la solución nutritiva, con la excepción, como era de esperarse, de la menor concentración de N en las hojas de las plantas desarrolladas en soluciones nutritivas entre 0 y 9,3 ppm P. En estos y otros experimentos posteriores realizados con plantas de caraota en este laboratorio, no fue posible obtener curvas de calibración que se ajustaran a la definición dada por Ulrich de niveles de concentración crítica.

Los resultados de la determinación de los niveles de potasio fue complicada, ya que en ninguno de los dos experimentos realizados se pudo establecer una relación válida entre el desarrollo de las

plantas y la concentración de potasio en la 1a. y 2da. hojas expandidas a partir del ápice, dada la gran dispersión de puntos. Se pudo observar un pequeño aumento en la concentración de calcio en los pecíolos de las hojas de plantas desarrolladas en soluciones nutritivas con poco potasio (< 20 ppm) y una acumulación muy grande de potasio en los pecíolos de las plantas desarrolladas en soluciones nutritivas desde 58 ppm de potasio, la cual alcanzó valores tan altos como 8,94%. Esta situación no se presentó en las láminas de las hojas, como se puede observar en los cuadros 4 y 5. En el primer experimento se obtuvo respuesta de las plantas a la concentración de potasio en la solución nutritiva hasta 19,5 ppm K, aumentando la materia seca total desde 3,5 hasta 8,2 g para no aumentar, en forma significativa, en los tratamientos posteriores de la serie. Esto se compagina bien con el aumento observado en la concentración de K en la materia seca de las hojas hasta a 39 ppm K en la solución nutritiva, tal como puede observarse en el Cuadro 4. Al comparar la concentración de K en láminas y pecíolos (Cuadro 5), aparentemente se puso en evidencia un efecto de interacción K:Ca, observándose una disminución en la concentración de Ca en las hojas con el aumento en la concentración K en las soluciones nutritivas; dada la poca variación observada en los pesos secos de las plantas desarrolladas dentro de esta serie K (2º experimento), no parece probable explicar estas diferencias como ocasionadas por un efecto de dilución. Por otra parte, aunque se trató parcialmente

CUADRO 3

CONTENIDO DE P, N, K, Ca y Mg EN LAMINAS DE LA 1ª y 2ª HOJAS DE PLANTAS DE CARAOTA DESARROLLADAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE FOSFORO

Concentración del P en la solución nutritiva al inicio del experimento	Porcentaje del elemento en la materia seca (%)				
	ppm	P	N	K	Ca
0	0,13	3,87	3,95	1,86	0,44
3,09	0,27	3,73	4,33	1,36	0,35
6,80	0,52	4,67	4,69	2,16	0,52
9,30	0,44	3,60	3,46	1,53	0,39
12,40	0,53	4,13	4,68	1,98	0,53
15,50	0,47	4,00	4,31	2,32	0,48
18,60	0,65	4,73	5,32	2,00	0,48
21,70	0,67	4,73	5,31	1,95	0,55
24,80	0,67	4,67	5,06	2,17	0,55
27,90	0,62	4,67	4,71	1,82	0,54
31,00	0,68	4,07	4,69	1,64	0,54

de analizar el posible efecto del Na presente en la SN sobre el desarrollo de las plantas, habría que considerar posteriormente si la elevada concentración de K en los pecíolos fue consecuencia o no de la presencia de sodio en la solución nutritiva. De acuerdo con estos resultados, la concentración crítica de K en la *solución nutritiva* estaría en el rango de 0.39 ppm y por debajo de 2,0% en la *materia seca* de láminas. La deficiencia extrema de K en la solución nutritiva (-K) produjo efectos de interacción con el Nitrógeno, el Magnesio y un poco con el fósforo; tales efectos se manifestaron tanto en láminas como en pecíolos en los dos experimentos realizados.

En la determinación de los niveles de deficiencia y suficiencia de calcio se obtuvo una buena relación entre el desarrollo de las plantas y la concentración de calcio en las hojas, lo cual produjo una curva de calibración con un punto de inflexión y un plateau que permitieron separar las zonas de deficiencia y suficiencia (Fig. 10), aunque el rango de concentraciones de calcio en las soluciones nutritivas se expresó mejor al analizar las láminas que al analizar los pecíolos. Del punto de inflexión de la curva se puede deducir un valor aproximado de 1,90% Ca que correspondería al nivel de referencia crítico. Este valor pudiera parecer alto, ya que de acuerdo a Wallace y Soufi (1975) se consideran adecuadas las concentraciones entre 0,8-2,0% Ca en la materia seca de hojas en la mayoría de las plantas; sin embargo y de acuerdo a estos mismos autores, es conocido el elevado requerimiento de calcio que tienen las leguminosas que llega a ser hasta cinco veces el de gramíneas.

El nivel de calcio en la solución nutritiva produjo variaciones apreciables en la concentración de otros macroelementos en la hoja,

CUADRO 4

CONTENIDO DE N, P, K, Ca y MG EN LAMINAS DE LA 1ª y 2ª HOJAS DE PLANTAS DE CARAOTA DESARROLLADAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE POTASIO
(Datos promedio de 3 plantas)

Primer experimento

Concentración de K en la solución nutritiva al inicio del experimento	Porcentaje del elemento en la materia seca de láminas (%)				
	ppm	K	N	P	Ca
9,8	1,33	2,48	0,78	2,08	0,52
19,5	1,90	1,76	0,36	1,96	0,43
39,0	2,31	4,27	0,50	1,57	0,35
78,0	3,69	3,60	0,55	1,84	0,42
117,0	3,68	4,20	0,26	2,02	0,39
156,0	3,66	4,20	0,30	2,14	0,39

CUADRO 5

CONTENIDO DE N, P, K, Ca y Mg, EN a) LAMINAS, y b) PECIOLOS DE LA 1ª y 2ª HOJAS DE PLANTAS DE CARAOTA DESARROLLADAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE POTASIO Y CON ADICION DE 46 ppm DE SODIO EN LA SOLUCION NUTRITIVA

(Datos promedio de 3 plantas)

Segundo experimento

Concentración de K en la solución nutritiva al inicio del experimento	Porcentaje del elemento en la materia seca %				
	ppm	K	N	P	Ca
a) LAMINAS					
0	0,51	5,21	1,24	1,65	0,71
9,8	1,91	4,98	1,19	1,83	0,53
19,50	2,22	3,65	1,07	2,15	0,44
29,25	3,15	4,65	1,17	2,00	0,45
39,0	3,14	4,69	1,04	1,50	0,34
58,50	3,27	4,85	1,11	1,73	0,39
85,8	3,60	4,99	1,04	1,54	0,32
130,0	3,57	4,66	1,08	1,85	0,33
234,0	4,39	4,23	1,08	1,40	0,48
b) PECIOLOS					
0	0,67	4,33	1,12	2,15	0,85
9,8	6,25	2,89	1,55	2,66	0,22
19,50	3,06	3,03	0,84	2,00	0,08
29,25	6,90	2,08	1,13	1,99	0,18
39,00	5,80	2,13	1,25	1,75	0,15
58,50	8,55	2,37	1,19	1,90	0,07
85,0	8,94	2,67	1,39	1,75	0,11
130,0	7,50	2,31	1,10	1,60	0,11
234,0	8,28	1,91	0,90	1,07	0,16

específicamente en los pecíolos (Cuadro 6), en los cuales la concentración de potasio aumentó hasta valores del 12,7% en la materia seca. Esta situación pudiera ser el resultado de la absorción compensadora de K en condiciones de deficiencia de calcio, ya que la absorción de K, Ca y Mg depende en realidad de la relación: K:Ca:Mg y no de la concentración absoluta de estos elementos en la solución. El efecto de la concentración de calcio en las soluciones nutritivas se manifestó sobre el magnesio (láminas y pecíolos) a bajas concentraciones de calcio en la solución, obteniéndose correlaciones negativas significativas entre las concentraciones de Ca:Mg en láminas ($r = -0,83^*$) pero no en pecíolos ($r = 0,58$ NS). Lo mismo se pudo observar para el potasio en la materia seca de pecíolos, lo cual se expresó en una correlación negativa ($r = -0,63$ NS) entre las concentraciones de Ca:K en la materia seca de pecíolos. Sin embargo, al analizar estas interacciones debe tomarse en cuenta que entre cero y 20 ppm Ca en la solución nutritiva, el peso seco de las plan-

CUADRO 6

CONTENIDO DE N, P, K, Ca y Mg EN PECÍOLOS DE LA 1ª y 2ª HOJAS DE PLANTAS DE CARAOTA DESARROLLADAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE CALCIO (Datos promedio de una "muestra compuesta" de pecíolos de tres plantas por tratamiento)

A: Primer experimento
B: Segundo experimento

Concentración de la Ca en la solución nutritiva al inicio del experimento		Porcentaje del elemento en la materia seca de pecíolos (%)				
	ppm	Ca	N	P	K	Mg
A)	20	0,83	0,17	1,03	10,93	0,26
	40	1,40	1,24	1,18	11,10	0,27
	60	1,32	0,60	0,70	9,60	0,23
	80	1,57	1,29	0,91	8,45	0,18
	100	1,60	1,13	0,45	9,75	0,15
	200	2,08	1,44	0,58	8,30	0,17
B)	40	0,77	1,04	0,80	10,58	0,19
	60	1,10	1,19	0,73	12,00	0,23
	80	1,26	1,03	0,76	12,70	0,19
	100	1,40	1,26	0,49	9,22	0,15
	200	1,76	1,53	0,52	9,00	0,11

tas aumentó en aproximadamente un 50% (ver Cuadro 7), por lo que, por debajo de 20 ppm Ca en la solución nutritiva se obtendría una respuesta combinada de la planta debida a los efectos de interacción entre nutrimentos con los de "concentración" en la materia seca. Dado que la tasa de utilización de los diferentes nutrimentos es diferente en cada planta, estos efectos de interacción y concentración y los de dilución por la materia seca, son difíciles de separar con la información generada en este trabajo.

En la determinación de los niveles de magnesio se pudo observar que la concentración de este elemento como porcentaje de la materia seca de láminas fue aproximadamente constante dentro de la serie de tratamientos de soluciones nutritivas utilizadas en este trabajo. De acuerdo a Maynard (1979) en la mayoría de las plantas se presenta deficiencia de Mg cuando la concentración en la materia seca de láminas es menor de 0,2%, considerándose el rango normal entre 0,3-0,8%. De acuerdo con esta información, la concentración de Mg en las láminas de la primera y segunda hojas expandidas a partir del ápice de las plantas de caraota analizadas

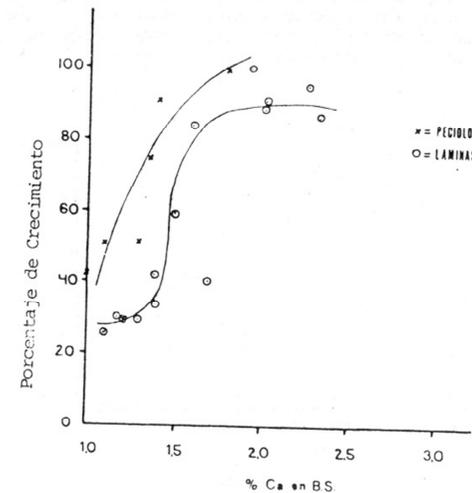


FIGURA 10

Relación entre el desarrollo de las plantas y el contenido de calcio (B.S.) en pecíolos y láminas de las hojas 1ª y 2ª "expandidas" a partir del ápice.

en este trabajo, estuvo para todos los tratamientos de la serie dentro del rango normal o suficiente; sin embargo, para los pecíolos la respuesta fue más marcada y aunque el rango de concentraciones de Mg fue 10 veces menor que en las láminas, se obtuvo una curva de calibración regular (Fig. 11) al relacionar el crecimiento de las plantas con el contenido de Mg en pecíolos, ya que no presentó puntos de inflexión. Las curvas de calibración aplanadas, sin puntos de inflexión, como la de la Figura 11 son factibles de obtener cuando la cantidad del nutrimento disponible en la solución nutritiva o en el sustrato es suficiente para originar un consumo de lujo o cuando la serie de tratamientos no está suficientemente expandida dentro de los valores extremos. Por otra parte, la edad de

CUADRO 7

VARIACIONES EN EL PESO SECO TOTAL Y EN LA RELACION SISTEMA AEREO: SISTEMA RADICULAR (SA/SR) EN PLANTAS DESARROLLADAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE CALCIO. EDAD DE LAS PLANTAS: 30 DIAS

(Datos promedio de 3 plantas)

Concentración de Ca en la SN al inicio del experimento	Peso seco total g ± s	SA/SR
PRIMER EXPERIMENTO		
200	5,58 ± 1,29	2,4
100	3,42 ± 1,00	2,2
80	2,97 ± 2,07	1,7
60	3,47 ± 1,45	1,9
40	2,27 ± 1,70	1,6
20	1,09 ± 0,21	1,2
10	0,44 ± 0,02	1,5
0	0,77 ± 0,02	1,3
SEGUNDO EXPERIMENTO		
200	3,83 ± 0,07	3,0
100	3,50 ± 0,91	2,8
80	1,96 ± 0,64	2,8
60	1,96 ± 0,93	2,3
40	1,63 ± 0,19	1,8
20	0,39 ± 0,11	1,4
10	0,76 ± 0,15	1,5
0	—	—

la planta, o más exactamente, la fase de su desarrollo, podrá también determinar el grado de aplanamiento y la aparición de puntos de inflexión en una curva de calibración. Esto se puede observar en los resultados de Mitchell (1974) con plantas de ajonjolí donde los muestreos realizados más tardíamente durante el ciclo de desarrollo de la planta, produjeron curvas de calibración progresivamente menos aplanadas y con puntos de inflexión más nítidos. Por otra parte, el Mg es muy móvil, tanto por el floema como por el xilema, por lo que la redistribución desde hojas viejas a adultas sería común durante períodos de estrés. Esto podría explicar la constancia de los valores obtenidos para la concentración de Mg en la materia seca de láminas y también en parte el grado de aplanamiento de la curva de calibración, obtenida para los pecíolos.

Como se puede observar en los cuadros 8 y 9, la gran diferencia en el rango de concentración entre pecíolos y láminas (10 veces menor en los primeros), sólo se encontró dentro de la serie de tratamientos de Mg en la solución nutritiva, ya que en el resto de los experimentos y en las diferentes series, la diferencia en la concentración de Mg entre pecíolos y láminas fue 2-3 veces menor. La interacción K-Mg o Ca-Mg no fue manifiesta dentro de la serie Mg, ya que aunque la concentración de potasio en los pecíolos fue muy elevada, no fue proporcional a la serie de concentraciones de Mg en las soluciones nutritivas, siendo los valores aproximadamente constantes dentro de la misma. Por otra parte, las concentra-

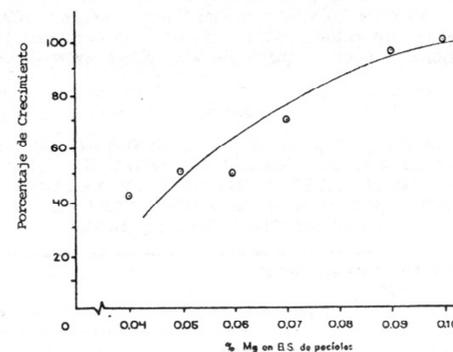


FIGURA 11

Relación entre el desarrollo de las plantas y el contenido de magnesio (B.S.) de pecíolos de las hojas 1ª y 2ª "expandidas" a partir del ápice.

ciones de calcio en la materia seca de peciolo y láminas dentro de la serie Mg, fue similar. De acuerdo con esta información preliminar, en caraota la deficiencia de Mg parecería afectar poco el balance de nutrimentos de la hoja.

En una forma general pudiera decirse que, la manifestación del gradiente de desarrollo de las plantas dentro de una serie de concentraciones de un nutrimento en diferentes soluciones nutri-

CUADRO 8

CONTENIDO DE N, P, K, Ca y Mg EN PECIOLOS DE LA 1ª Y 2ª HOJAS DE PLANTAS DE CARAOTA DESARROLLADAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE MAGNESIO

(Datos promedio de una "muestra compuesta" de peciolo de 3 plantas por tratamiento)

Concentración de Mg en la solución nutritiva al inicio del experimento	Porcentaje del elemento en la materia seca de peciolo (%)				
	Mg	N	P	K	Ca
5 ppm	0,05	1,13	0,47	7,22	1,12
12	0,04	0,58	0,45	6,50	0,89
17	0,07	1,11	0,66	7,90	0,98
19	0,06	0,87	0,48	6,57	0,86
24	0,09	1,53	0,46	7,28	1,08
36	0,13	1,53	0,53	7,87	1,40
48	0,11	1,53	0,52	9,00	1,76

CUADRO 9

CONTENIDO DE N, P, K, Ca y Mg EN LÁMINAS DE LA 1ª Y 2ª HOJAS DE PLANTAS DE CARAOTA DESARROLLADAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS CON DIFERENTES NIVELES DE MAGNESIO

(Datos promedio de 3 plantas por tratamiento)

Concentración de Mg en la solución nutritiva al inicio del experimento	Porcentaje del elemento en la materia seca de láminas (%)				
	Mg	N	P	K	Ca
5,0	0,26	3,77	0,46	4,93	1,65
12,0	0,35	3,18	0,48	4,45	1,70
17,0	0,39	3,95	0,64	4,66	1,66
19,0	0,37	3,63	0,49	4,73	1,53
24,0	0,34	4,14	0,52	4,03	1,35
36,0	0,47	3,55	0,49	3,92	1,66
48,0	0,34	4,38	0,54	4,86	2,09

tivas, el cual es indispensable para generar curvas de calibración precisas, en un efecto combinado representado por: 1) el nivel del elemento en la solución nutritiva; 2) por la interacción de este elemento con otros elementos en la solución nutritiva (especialmente importante cuando el elemento se encuentra a bajas concentraciones); 3) por las variaciones en el pH de las soluciones nutritivas dentro de una determinada serie (las cuales pudieran ser más o menos acentuadas entre las concentraciones máximas o mínimas, y 4) por el efecto de algún elemento "extraño" a la composición de la solución nutritiva el cual tuviera que ser adicionado por ser componente de la sal de un nutrimento esencial (por ejemplo, el sodio adicionado con el NaNO_3). Por todo lo anteriormente expuesto se puede deducir que la interacción entre los nutrimentos, especialmente entre las bases compensadoras K-Ca-Mg representa uno de los problemas más comunes, aunque de difícil control, cuando se realiza este tipo de investigaciones.

CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis químicos de nutrimentos en la materia seca de láminas y peciolo de la primera y segunda hojas "expandidas" a partir del ápice realizados en este trabajo, permiten establecer aproximadamente los rangos de suficiencia de N, P, K, Ca y Mg en plantas de caraota, los cuales pudieran ser utilizados como referencia con fines de diagnóstico, teniendo en cuenta que al no incluirse un valor exacto y confiable para las concentraciones críticas, estos rangos de suficiencia pudieran estar en algunos casos dentro del consumo de lujo. Estos resultados que se presentan en el Cuadro 10 para peciolo y láminas, se pueden comparar con los NIVELES DE SUFICIENCIA DE N, P, K, Ca y Mg EN PLANTAS NORMALES DE CARAOTA (*Phaseolus vulgaris* cv. 'Tacarigua') DETERMINADAS EN LÁMINAS Y PECIOLOS DE LA 1ª Y 2ª HOJAS EXPANDIDAS AL PARTIR DEL APICE. EDAD DE LAS PLANTAS: 30 DIAS

Nutrimento	Porcentaje en la materia seca	
	Láminas	Peciolo
Nitrógeno (total)	4,18 ± 0,21	1,60 ± 0,21
Fósforo	0,60 ± 0,26	0,63 ± 0,18
Potasio	4,55 ± 0,47	—
Calcio	1,96 ± 0,37	1,67 ± 0,43
Magnesio	0,41 ± 0,08	0,14 ± 0,03

rasgos tabulados en SSSA (1974) para caraota al utilizar "hojas jóvenes maduras trifoliadas" que, en la opinión de la autora de este estudio, serían aproximadamente equivalentes a lo que en este trabajo se denominó 1ª y 2ª totalmente expandidas, a partir del ápice. Los rasgos citados por SSSA son los siguientes: N:3-6; P:0,25-0,50; K:1,8-2,5; Ca: 0,8-3,0; Mg:0,25-0,70% en la materia seca.

Por otra parte, en forma tentativa y mediante un análisis conjunto de los resultados obtenidos en este trabajo, se presentan como aproximaciones los siguientes niveles o rangos para las concentraciones crítica al utilizar la 1ª y 2ª hojas "expandidas" a partir del ápice en plantas de caraota.

Nitrógeno (N-NO ₃)	(láminas)	0,70 - 0,90% B.S.
Fósforo	(láminas) por debajo de	0,1% B.S. (muy aprox.)
Potasio	(láminas)	2% B.S. (muy aprox.)
Calcio	(láminas)	0,7-1,2% B.S.
Magnesio	(pecíolos)	aprox. 0,07% B.S.

De esta primera parte del estudio se puede concluir que el sistema de cultivo de plantas en soluciones nutritivas estáticas es una herramienta valiosa en la determinación de los niveles de referencia de nutrimentos en las plantas, ya que permite controlar con suficiente precisión la concentración de la solución donde se desarrollan las raíces. De acuerdo con los resultados obtenidos, la determinación de niveles de referencia utilizando el método de Ulrich, puede proporcionar datos de utilidad práctica, pero dada la imprecisión en la visualización de los síntomas cualitativos externos de deficiencia en plantas de caraota, el criterio del momento para el muestreo quedaría prácticamente a la decisión subjetiva del investigador. Esto es de gran importancia, ya que tal como lo estableciera Ulrich "hay que cosechar las plantas cuando en el tercio inferior de la serie de soluciones nutritivas se presenten los *síntomas visuales característicos* de la deficiencia del elemento en estudio". Por otra parte, el criterio para la escogencia de la o las hojas a ser muestreadas debe ser conocido y exacto, relacionado además con la madurez fisiológica y con la edad de las hojas, no de la planta. Las hojas muestreadas como "primera y segunda totalmente expandidas" a partir del ápice (que son a los 30 días las hojas 5 y 6 en sucesión base-ápice) utilizando el criterio visual y subjetivo ampliamente recomendado en la bibliografía, pudieran no estar *totalmente expandidas*, sino en expansión. Esto implica además que el grado de expansión que podrían tener las hojas muestreadas en las diferentes plantas dentro de cada serie de tratamientos, podría haber sido muy variable, por lo que las comparaciones hechas en esta forma no tuvieron que provenir necesariamente de hojas homogéneas en cuanto al grado de desarrollo y a la edad. Es muy significativo además que al analizar la serie nitrógeno, donde se muestrearon las hojas idénticas *por tamaño* en las diferentes plantas, se obtuvieron bue-

nas curvas de calibración para las hojas llamadas "medianas", que tenían un ancho del foliolo central de aproximadamente 8 cm, lo cual correspondía a un área foliar de $\approx 170 \text{ cm}^2$. En otros estudios realizados con caraota en nuestro laboratorio se ha podido observar que las hojas de $\approx 170 \text{ cm}^2$ están ya totalmente expandidas y ubicadas hacia la parte media central de la planta, esto es, las hojas 2,3, y quizás la 4 en sucesión base-ápice.

Los efectos arriba mencionados de la edad y de la posición de las hojas en el tallo, esto es, en la sucesión foliar base-ápice, se analizan en un estudio posterior realizado por la misma autora.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ASCENCIO J. y FARGAS, J. 1973. Nutrición mineral y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. 'Turrialba-4') cultivado en solución nutritiva. *Agronomía Tropical* 23(5):451-466.
2. ALCALDE, B. S.; ALVARADO, B. A.; SENIGAGLIESI, C. y FLORES, C. I. 1977. El análisis de NO₃ como un estimador del estado nutricional del maíz de temporal y su utilidad en las ecuaciones empíricas generalizadas de producción. *Agrociencia (México)* 27:177-192.
3. BATES, T. E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: A review. *Soil. Sci.* 112:116-130.
4. BOUMA, D. 1982. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. *In* Enc. Plant physiol. Vol. 15-A. Springer-Verlag. Berlin. pp. 120-146.
5. BRILL, W. J. 1978. Genetics and regulation of nitrogen fixation. *In*: Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics. Dobereiner J., Burris R. H. y Hollander, A. (Eds.) *Basic Life Sciences* V. 10. Plenum. Nueva York. 398 p.
6. CATALDO, D. A. *et al.* 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Comm. Soil Science and Plant Analysis* 6(1):71-80.
7. CARVAJAL, J. R. 1974. El contenido de nitrógeno soluble en la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) como guía de la fertilización nitrogenada. *Turrialba (Costa Rica)*. 24:205-213.
8. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). 1975. Programa de frijol. Cali (Colombia). Informe Anual CIAT.
9. ————. 1976. Programa de frijol. Cali (Colombia). Informe Anual CIAT.
10. ————. 1977. Programa de frijol. Cali (Colombia). Informe Anual CIAT.

11. CHÁVEZ, A. 1973. Características morfofisiológicas de las raíces en frijoles (*Phaseolus vulgaris* y *Virgna sinensis*). Tesis M. Sc. Turrialba (Costa Rica) IICA. 90 p.
12. FISKE, C. H. y SUBBAROW, Y. P. 1925. The colorimetric determination of phosphorus. J. Biol. Chem. 66:375-400.
13. GALLO, J. R. y MIYASAKA, S. 1961. Composicao quimica do feijoeiro e absorcao de elementos nutritivos do florescimento a maturacao. Bragançia (Brasil). 20(40):867-884.
14. HEWITT, E. J. 1966. Sand and water culture methods used the study of plan nutrition. Comm. Agr. Bureau. Bucks. England. 547 p.
15. MATA, J. 1982. Determinación de los requerimientos mínimos de fósforo en el desarrollo de plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Tacarigua') cultivado en solución nutritiva. Trabajo especial de grado. Maracay, Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 52 p.
16. MASAYA, S. P. 1971. Estudio de la absorción de nutrimentos y crecimiento de raíces en la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* var. 'Turrialba-4'). Tesis M.Sc. Turrialba (Costa Rica). IICA. 57 p.
17. MAYNARD, D. N.; BARKER, A. V. y VERNELL, H. F. 1979. A semiautomatic sand culture system for greenhouse plant nutrition research. Agronomy J. 62:304-306.
18. MARTIN, M. I.; TEIXEIRA, N. T. y COBRA NETTO, A. 1973. Compartamento dos macronutrientes e do nitrogeno total e so' uval em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Licrocetes 1(2):5-6.
19. MITCHEL, G. A.; BINGHAM, F. T. y YERMANOS, D. M. 1974. Growth, mineral composition and seed characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) as affected by nitrogen, phosphorus and potassium nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38:925-931.
20. MULLER, L. 1961. Un aparato micro Kjeldahal simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba 11(1):17-25.
21. PARKINSON, J. A. y ALLEN, S. E. 1975. A wet oxidation procedure suitable for determination of nitrogen and mineral nutrients in biological materials. Comm. Soil. Sci. and Plant Analysis. 6(1):1-11.
22. ROHLF, J. F. y SOKAL, R. R. 1969. Statistical tables. Freeman, San Francisco. 253 p.
23. SOIL TESTING AND PLANT ANALYSIS. 1974. Walsh, L. M. y Beaton, J. D. eds. Soil Science Society of America (SSSA). Madison. 491 p.
24. SOKAL, R. R. y ROHLF, J. F. 1969. Biometry. Freeman. San Francisco. 776 p.
25. SOTOMAYOR, R. J. 1972. Respuesta de dos cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a varios niveles de N y P en soluciones nutritivas. Tesis M.Sc. Turrialba (Costa Rica) IICA. 82 p.

26. ULRICH, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Ann. Rev. Plant. Physiol. 3:207-228.
27. ————. 1956. Plant analysis as a guide to fertilization of crops. Better Crops Plant Food. 40(6):6-10, 35-38.
28. ————. 1961. Plant analysis in sugar beet nutrition. In: Water Reuter (ed.). Plant Analysis and Fertilizer Problems. Amer. Inst. Biol. Sic. pp. 190-211.
29. ULRICH, A. y BERRY, W. L. 1961. Critical phosphorus levels for lima bean growth. Plant Physiol. 36:626-632.
30. ULRICH, A. y FONG, H. 1973. Nitrogen nutrition of white rose potato in relation to vegetative growth and mineral content of leaves and roots. Comm. in Soil Sci. and Plant Analysis. 4(6):413-426.
31. ULRICH, A. y HILLS, F. J. 1952. Petiole sampling of sugar beet fields in relation to their nitrogen, phosphorus, potasio and sodium status. Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Technol. 7:32-45.
32. WALLACE, A. y SOOFI, S. M. 1975. Low and variable critical concentrations of calcium in plant tissues. Comm. in Soil Science and Plant Analysis 6(3):331-337.