

**BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

EXTRACCION DEL POTASIO, FIJO EN ROCAS Y MINERALES,
POR LAS RAICES DE LAS PLANTAS EN SU CRECIMIENTO Y
DESARROLLO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

EXTRACCION DEL POTASIO, FIJO EN ROCAS Y MINERALES,
POR LAS RAICES DE LAS PLANTAS EN SU CRECIMIENTO Y
DESARROLLO

GRACIELA CONTRERAS P.

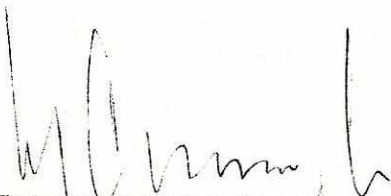
Trabajo de investigación presentado para optar al
grado académico de Licenciada en Química.

Guatemala

1978.

Vo. Bo.:

(f)


Ingeniero Miguel Angel Canga-Argüelles
Asesor

Tribunal:

(f)

Ingeniero Miguel Angel Canga-Argüelles

(f)

Doctor Sergio Aragón

(f)

Doctor Rom Jeannette Wyler de Ménd

Fecha de aprobación: 18 de julio de 1978.

A mis padres
y hermanos

Dejo constancia de mi agradecimiento al Ingeniero Mi
guel Angel Canga-Argüelles por su valiosa colaboración y
ayuda en la elaboración de este trabajo.

Al Doctor Romeo Martínez R. y al Doctor Sergio Aragón
por su orientación en el trabajo; al Ingeniero Marco Anto-
nio Kopp M. y al Ingeniero Julio Beltranena S. por la cla-
sificación de los materiales de cultivo y a todas aquellas
personas que en alguna forma contribuyeron a la realiza-
ción de este trabajo.

CONTENIDO

	Páginas
I. INTRODUCCION	1
II. HIPOTESIS DE TRABAJO	4
III. ASPECTOS METODOLOGICOS	
A. Fuentes de potasio	7
B. Sistema experimental	10
C. Procedimiento	20
IV. RESULTADOS	22
V. DISCUSION	34
VI. CONCLUSIONES	36
VII. RECOMENDACIONES	37
VIII. BIBLIOGRAFIA	38

APENDICES

A. Métodos de análisis para la determinación de las distintas -- formas de potasio en los medios de cultivo.	39
B. Comparación de cinco métodos de análisis de tejidos para la determinación del potasio en las plantas.	47
C. Preparación de la solución nutritiva de Hoagland No. 2	58

I. INTRODUCCION

Este trabajo está inspirado en el deseo de aprovechar los aspectos positivos de los avances logrados por otras naciones en el desarrollo de tecnologías apropiadas. No se trata de un trabajo de ciencia y tecnología profunda, sino de un intento que pretende conjugar las necesidades y los recursos disponibles en las regiones rurales que, por su situación socioeconómica y posición geográfica, no tienen posibilidad de utilizar los productos de la industria manufacturera.

El trabajo forma parte del proyecto ENMIENDA QUIMICA DE SUELOS A PARTIR DE RECURSOS LOCALES, que realiza la Universidad del Valle de Guatemala a través del Instituto de Investigaciones, bajo la dirección del Ingeniero Canga-Argüelles. Dicho proyecto contempla el estudio de todas las posibilidades de enmienda de suelos mediante el uso de desechos orgánicos de origen agrícola e industrial, de rocas, minerales y cualquier clase de material disponible, con previo tratamiento o sin él, como fuente de los elementos nutritivos.

Dentro del proyecto citado este trabajo es una exploración de la capacidad de las plantas para extraer el po

tasio de las rocas.

Se escogió al potasio por tres circunstancias: su importancia como macronutriente, la relativa facilidad con que se pueden producir niveles críticos de carestía de él en cultivos experimentales y porque, aparentemente existe gran cantidad de minerales potásicos en diversos lugares de Guatemala.

Para determinar si las plantas son capaces de extraer el potasio estructural de los minerales, se realizó un cultivo hidrophónico de tomate, variedad Chico III, sobre cinco rocas: tres esquists, una arena de piedra pómez y una arena de obsidiana, fragmentadas y tamizadas a 9 mallas.

Se investigó la cantidad de potasio soluble, intercambiable, soluble en ácido nítrico uno molar, en ácido nítrico concentrado y el potasio total en los cinco medios de cultivo.

El experimento tuvo dos fases: una, en la cual se llevó un estricto control del potasio que se daba a las plantas, y otra durante la cual el control no fué analítico.

La primera etapa tuvo una duración de dos meses, desde el transplante de las matas de tomate del semillero - hasta que estas comenzaron a dar flor. En este momento- se recolectó una muestra significativa de las plantas para hacer los análisis.

En la segunda etapa se observó el desarrollo de las plantas que no habían sido recolectadas para el análisis durante cuatro meses más, hasta obtener la cosecha de -- sus frutos.

II. HIPOTESIS DE TRABAJO

En el suelo el potasio puede encontrarse: a) formando, sales solubles, potasio soluble. b) adsorbido a los minerales arcillosos, potasio intercambiable y c) formando parte estructural de minerales primarios y secundarios, potasio no disponible.

Al principio se creía que las plantas solo podían extraer del suelo el potasio que se encontraba en las formas a) y b), pero investigaciones posteriores mostraron que, algunas veces, la cantidad de potasio que una cosecha extrae de un suelo es superior a la cantidad de potasio intercambiable y soluble que éste poseía antes del cultivo. Esto originó la idea de que existe una cuarta fracción de potasio que las plantas son capaces de extraer del suelo, a la que se denomina potasio disponible.

Hoy en día aún no se conoce exactamente los mecanismos y reacciones mediante los cuales la planta obtiene del suelo esta fracción de potasio. Se cree que esta forma de potasio proviene del potasio fijo entre las láminas de los minerales secundarios expandibles. La fijación de potasio por los minerales arcillosos de este tipo es un fenómeno conocido, ya que cuando se aplica un

fertilizante potásico en suelos ricos en estas arcillas, parte del potasio es atrapado por ellas y luego liberado lentamente conforme las plantas lo necesitan.

Otra posibilidad es que las plantas actúan directamente sobre los minerales primarios provocando en alguna forma su alteración química, con la consecuente liberación de potasio y formación de minerales más estables.

De lo expuesto anteriormente se deduce que aún falta conocer mucho respecto a la dinámica del potasio en el suelo y el papel que la planta tiene en su liberación. Si se tuviera un mayor conocimiento sobre la forma en que las plantas consiguen al potasio, y a todos los elementos esenciales en general, se podrían encontrar otras soluciones en la búsqueda de nuevas formas de fertilizantes.

El proyecto ENMIENDA QUIMICA DE SUELOS A PARTIR DE RECURSOS LOCALES pretende investigar, mediante una serie de trabajos que se inicia con el presente, la forma de acelerar la liberación de los elementos, esenciales para las plantas, de las rocas y minerales que los contienen. La hipótesis que se desea probar, mediante este experimento, es que las plantas superiores son capaces de --

tomar parte del potasio estructural de los minerales primarios para satisfacer sus necesidades nutricionales.

III. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A. Fuentes de potasio empleadas

Los medios de cultivo que se escogieron tenían que llenar dos requisitos: a) contener potasio en cantidades significativas y b) encontrarse en un lugar relativamente accesible, debido a las cantidades que se necesitaban para el experimento.

Se eligieron como objeto de interés cinco rocas: - un esquisto pizarroso esteatítico (esquisto A); un esquisto pizarroso (esquisto B); un esquisto micáceo (esquisto C); una arena de piedra pómez y otra de obsidiana en un material cementante, (Fotografía 3.1 y 3.2). En la tabla 3.1 aparecen los lugares de procedencia de estas muestras.



Fotografía 3.1. Los materiales empleados en el orden -- numérico son: 5, esquis to C: 6, esquis to A: 7 arena de piedra pómez: 8, esquisito B y 9, arena de obsidiana.



Fotografía 3.2. Clasificación de las partículas de los materiales para los medios de cultivo.

Procedencia de las muestras

Roca	Procedencia
Arena de piedra pómez	Camino que parte del puente de Villa Nueva a Ciudad San Cristóbal.
Esquis to A	Kilómetro 234 de la carretera Panamericana entre San Cristóbal Totonacápan y Huehuetenango.
Esquis to B	Kilómetro 37 de la carretera al Atlántico.
Esquis to C	Kilómetro 235 de la carretera Panamericana entre San Cristóbal Totonacápan y Huehuetenango.
Arena de Obsidiana	Kilómetro 25 de la carretera al Atlántico.

Se analizaron por triplicado las muestras para determinar su contenido en potasio: a) soluble, b) intercambiable, c) disponible, d) soluble en ácido nítrico concentrado y e) total. Para conocer el contenido de potasio por unidad de volumen de cada muestra se determinó también la densidad aparente. Los métodos de análisis utilizados se describen detalladamente en el apéndice A.

Las cuantificaciones del potasio se hicieron en un fotómetro de llama Perkin Elmer Coleman modelo 51 Ca, el cual tiene dos escalas, una de 0 a 1 meq/litro (0 a 39 mg/litro) de potasio, y otra de 0 a 0.1 meq/litro (0 a 3.9 mg/litro) con una sensibilidad de 0.1 y 0.01 meq/litro (3.9 y .39 mg/litro), respectivamente.

Los resultados de estos análisis aparecen en la tabla 3.2 como porcentajes en base seca, y en la tabla 3.3 en gramos de potasio contenidos en un volumen de cinco litros de medio de cultivo.

B. Sistema experimental

Se escogió como planta extractora del potasio al tomate (*Lycopersicon Esculentum*), variedad Chico III, planta herbácea de la familia de las solanáceas, por sus peculiares características de tamaño, crecimiento relativa

Tabla 3.2

Porcentaje de potasio contenido en los materiales de cultivo

Medio de cultivo	Potasio					Total
	Soluble	Intercambiable	disponible	Soluble HNO ₃ con.		
Arena de piedra pómez	0.0007 ±.0007	0.0030 ±.0017	0.030 ±.001	0.040 ±.003	4.05 ±.05	
Esquisito A	0.0020 ±.0005	-----	0.060 ±.003	0.060 ±.003	2.84 ±.03	
Esquisito B	0.0008 ±.0003	0.0030 ±.0004	0.030 ±.001	0.040 ±.001	2.84 ±.03	
Esquisito C	0.0031 ±.0007	0.0080 ±.0035	0.150 ±.010	0.180 ±.010	2.61 ±.03	
Arena de obsidiana	0.0001 ±.0001	0.0007 ±.0005	0.0030 ±.0001	0.004 ±.002	4.23 ±.04	

* 95% de límite de confiabilidad, N=3.

Tabla 3.3

Gramos de potasio contenidos en 5 litros de medio cultivo.

Medio de cultivo	Densidad	Masa/5 (litros en gramos)	Intercambiable + soluble	Potasio disponible	Total
Arena de piedra pómez	0.47 ±.03	2350 ±150	0.10 ±.03	0.71 ±.07	95.18 ±7.04
Esquisito A	1.25 ±.06	6250 ±300	0.13 ±.03	3.75 ±.37	177.50 ±10.30
Esquisito B	1.20 ±.03	6000 ±150	0.21 ±.01	1.83 ±.11	173.24 ±6.06
Esquisito C	1.30 ±.03	6500 ±150	0.72 ±.05	9.75 ±.88	169.65 ±5.60
Arena de obsidiana	1.31 ±.08	6550 ±400	0.05 ±.03	0.20 ±.11	277.07 ±19.67

* 95% de límite de confiabilidad, N+3.

mente rápido y necesidades nutricionales de potasio para su desarrollo.

Para que las plantas no sufrieran carestía de otros elementos esenciales, éstos se proporcionaron mediante la solución de nutrientes desarrollada por Hoagland./1/

Para evitar contaminaciones y lograr un mejor control del potasio se utilizó agua destilada en la preparación de las soluciones y recipientes plásticos en todos los procedimientos.

El cultivo se llevó a cabo en un invernadero de armazón de madera de pino sobre cimientos de block, forrado de lámina de asbestocemento en su parte inferior, de tela plástica transparente en las paredes y lámina de plástico claro y transparente en el techo. Este invernadero tiene un área de 8 m² y en él se colocaron 60 cubetas plásticas de 8 litros de capacidad. En cada cubeta se plantó una mata de tomate. (Fotografías 3.3 y 3.4).-

Las cubetas se distribuyeron en conjuntos experimentales de diez unidades. Cada cubeta tiene una perfora-

/1/ La solución se describe en el apéndice C.



Fotografía 3.3 Vista exterior del invernadero.



Fotografía 3.4. Vista interior del invernadero.

ción lateral en el fondo que conecta a un desagüe colectivo para cada conjunto, (figura 3.1). Este sistema de drenaje permite recuperar la solución de riego que sobra para poder volver a utilizarla.

Las muestras minerales se fragmentaron mecánicamente y se utilizaron como medio de cultivo partículas de dos milímetros de diámetro, tamizadas a 9 mallas.

El arreglo de los materiales en las cubetas se hizo colocando de abajo para arriba: un cedazo plástico, fragmentos gruesos (grava) del medio de cultivo que corresponde al conjunto experimental, luego el material tamizado a 9 mallas y encima de todo una plancha circular de duropor de dos centímetros de grueso que actúa como aislante de las radiaciones solares. La plancha posee una ranura donde sale el tallo de la mata, (figura 3.2).

Las cinco muestras se distribuyeron en seis conjuntos experimentales de diez macetas cada uno, con excepción de la muestra de esquisito micáceo, esquisito C, - que se probó en una maceta del conjunto No. 4 (4-40), ya que no se contaba con suficiente material. El esquisi-

Figura No. 3.1

Conjunto experimental. (10 recipientes)

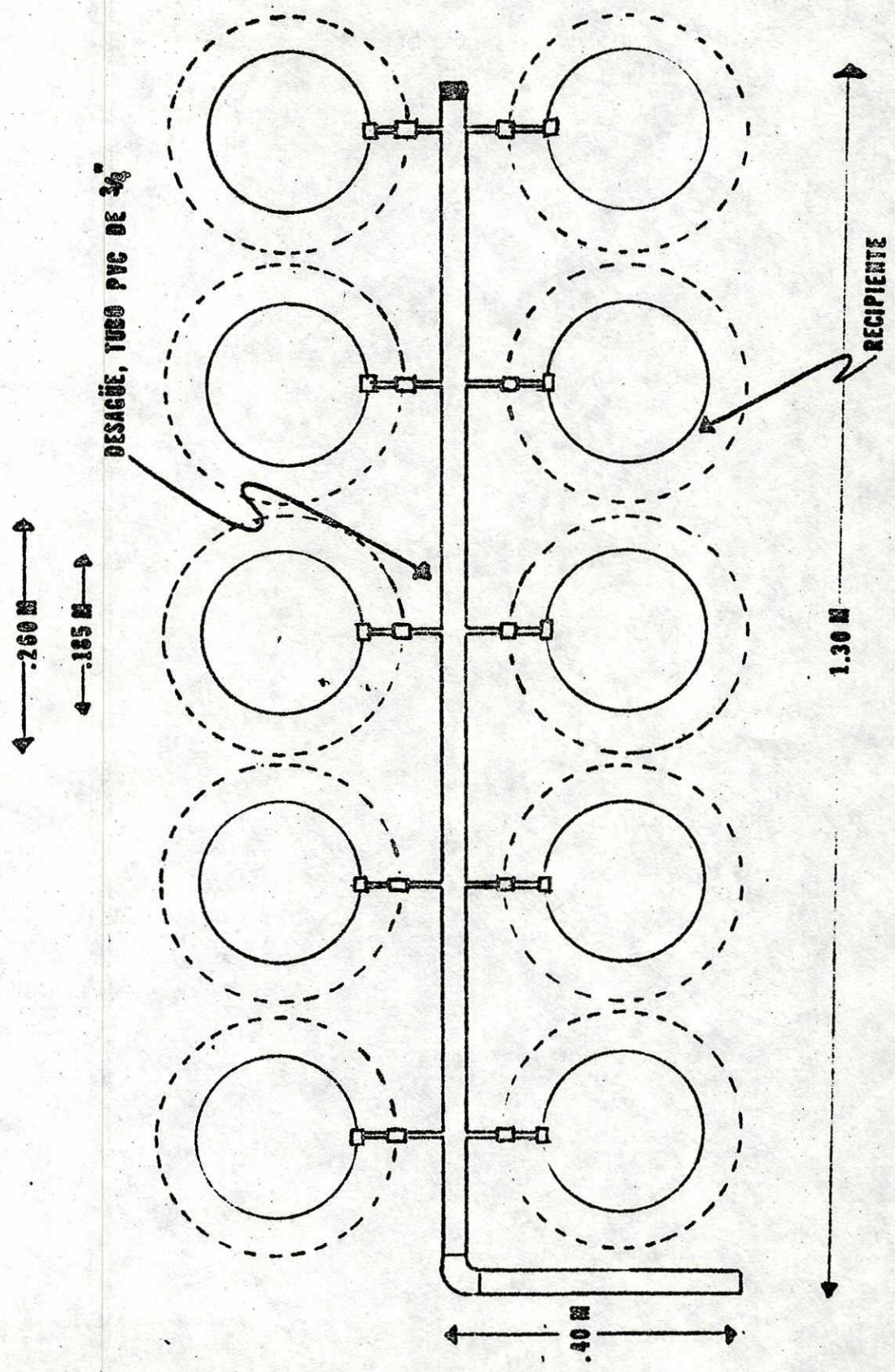
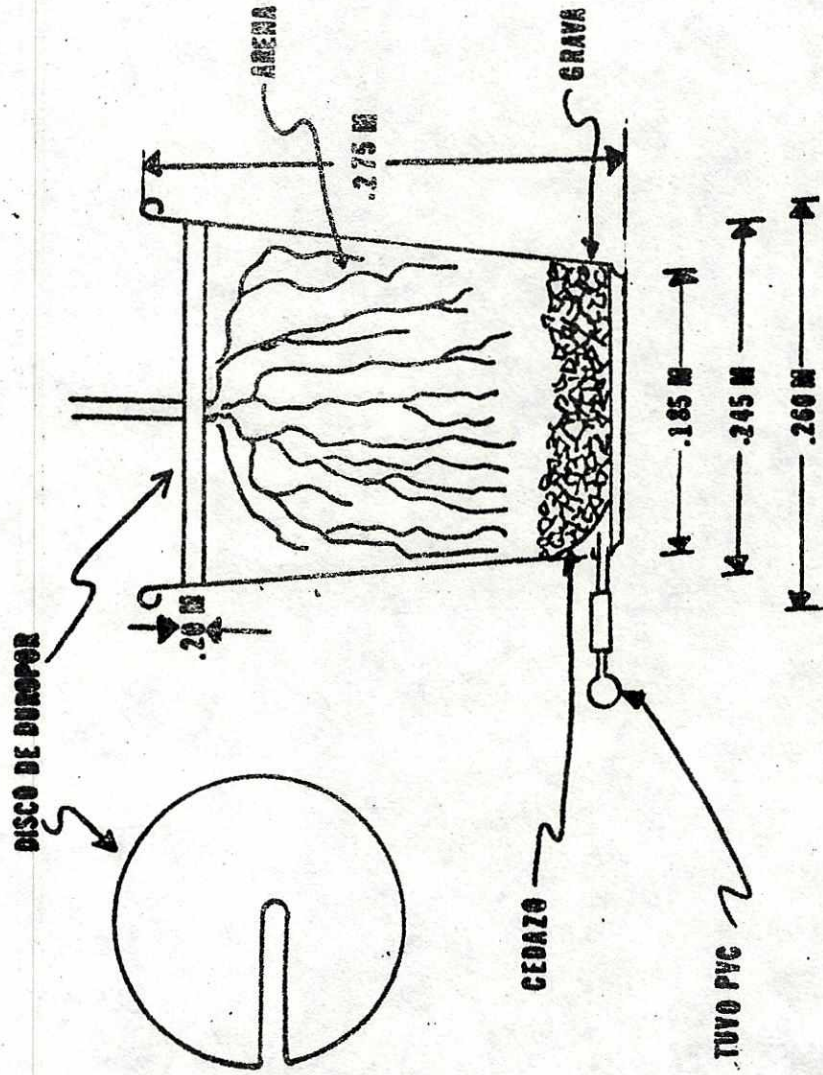


Figura 3.2

Recipiente de cultivo, disposición del medio de cultivo y desague.



to C es un material facilmente delesnable y de partícula muy fina, mucho más pequeña que los dos milímetros de diámetro usados en los otros conjuntos.

En la tabla 3.4 aparece la distribución de las muestras en conjuntos experimentales. En la figura 3.3 se esquematiza el arreglo de las cubetas en el invernadero.

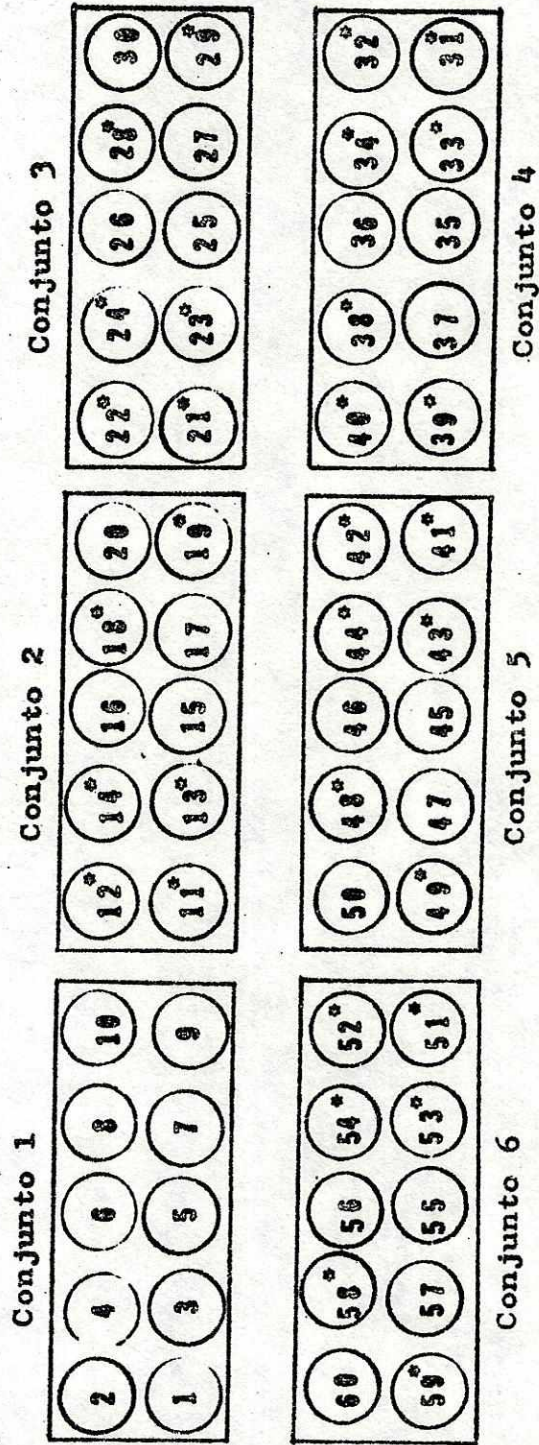
TABLA No. 3.4

Distribución de las muestras.

Conjunto	No. de macetas	Muestra mineral
1	10	Arena de piedra pómez
2	10	Arena de piedra pómez
3	10	Esquis to A
4	9	Esquis to B
4-40	1	Esquis to C
5	10	Arena de Obsidiana
6	10	Arena de Obsidiana

Figura 3.3

Distribución de las cubetas en el invernadero.



*Plantas recolectadas el 13 de enero de 1978.

C. Procedimiento

El 10 de noviembre de 1977 se plantó un semillero en arena de piedra pómez y se regó con la solución de nutrientes; la germinación de la semilla de tomate se inició el 17 del mismo mes. Las pequeñas matas fueron transplantadas el 4 de diciembre, cuando empezaba a brotar el segundo par de hojas. Desde este día se las regó diariamente, alternando la solución de nutrientes -- con agua destilada. Los conjuntos del 1 al 5 se regaron con solución sin potasio, mientras que el conjunto 6 se regó con la solución completa, como sistema de referencia (testigo).

El 10 de enero de 1978 las plantas más robustas empezaron a florecer. El 13 del mismo mes se sacaron las plantas de las macetas No. 11, 12, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 58 y 59 (marcadas con un asterisco en la figura 3.3) Se tomaron fotografías comparativas, se pesaron las matas, se separaron de cada conjunto las raíces, tallos, peciolo y folíolos para hacerles el análisis de contenido de potasio. El análisis se hizo por triplicado extrayendo al elemento -- con una solución de oxalato de amonio. /2/

/2/ el método se describe detalladamente en el apéndice B.4.

Las cuantificaciones se hicieron en el mismo aparato utilizado para dosificar potasio en los minerales.

Las plantas restantes continuaron en el invernadero para estudiar su desarrollo hasta la maduración del fruto. Los espacios vacíos dejados por las plantas recolectadas el 13 de enero de 1978 fueron ocupadas por matas pequeñas del semillero. En esa última etapa no se utilizó agua destilada para el riego.

El 7 de abril se tomaron muestras de los peciolos de las plantas que quedaron después de la primera recolección para cuantificar su contenido de potasio.

El 4 de abril se desmontó el sistema.

IV. RESULTADOS

Desde un principio se manifestó una marcada deficiencia en el desarrollo y crecimiento de las plantas, en cuanto a tamaño y follaje, en los conjuntos 1, 2 y 5 comparadas con las matas de los conjuntos 3, 4 y 6 (Fotografía 4.1 y gráfica 4.1).

Desde mediados del mes de enero las plantas de los conjuntos 1, 2 y 5 comenzaron a mostrar síntomas de deficiencia de potasio, tales como: hojas inferiores quemadas en los bordes (fotografías 4.2 y 4.3); caída prematura de las flores y producción escasa, y de frutos poco desarrollados.

Las plantas de los conjuntos 3, y 4 y 4-40 se desarrollaron bien durante la primera fase de su crecimiento y no mostraron síntomas de deficiencia potásica, (fotografías 4.4 y 4.5) sino hasta que comenzaron a fructificar. Los primeros frutos fueron de buena calidad, pero después la producción comenzó a mostrar distribución irregular de los pigmentos en el epicarpio, falta de coloración en la parte sólida del endocarpio y necrosis en el mesocarpio, (fotografías 4.6 4.7 y 4.8). Las matas transplantadas el 14 de enero mostraron igual comportamiento.

Las masas, en promedio, de las plantas recolectadas el 13 de enero se encuentran tabuladas en la tabla 4.1. El contenido de potasio de las distintas partes de la planta se lee en la tabla 4.2. Con estos datos se calculó la cantidad de potasio, en promedio y por planta, extraído del medio de cultivo y expresado en la tabla 4.3 en porcentaje, en base seca y en gramos.

La gráfica 4.2 muestra la dependencia del tamaño promedio, referido a masa en gramos, en función del porcentaje de potasio, en base seca, de las plantas recolectadas el 13 de enero.

Los resultados de los análisis de las muestras recolectadas el 7 de abril se encuentran en la tabla 4.4.

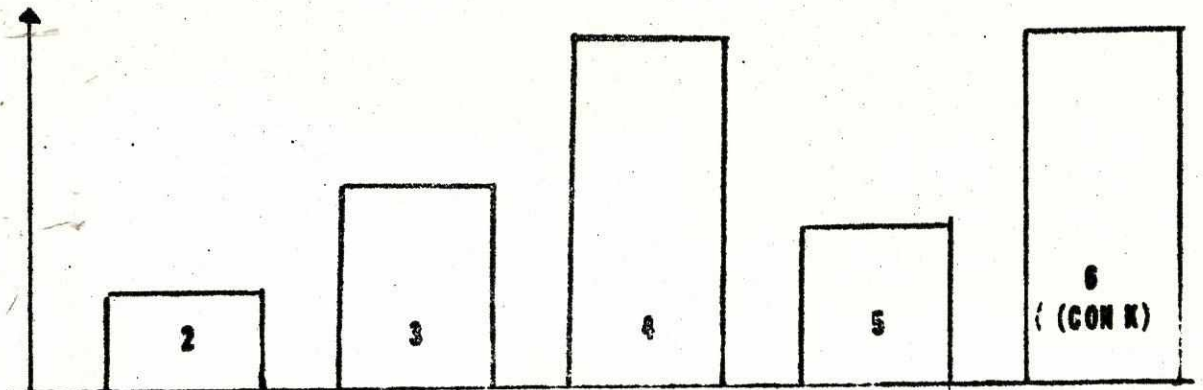
La gráfica 4.3 es un histograma de la producción de tomates, en gramos, por conjunto.

Comparación del crecimiento de las plantas por grupo



Fotografía 4.1

ALTURA



Grafica 4.1

Plantas de los conjuntos 2, arena de piedra pómez, y 5 arena de obsidiana, ambas regadas con solución hidrofónica sin potasio. La deficiencia de este elemento se manifiesta en los bordes de las hojas.

Fotografía 4.2



Fotografía 4.3



Plantas de los conjuntos 4, esquisito B, regado con solución hidrophónica sin potasio y 6, conjunto de referencia regado con solución hidrophónica completa.

Fotografía 4.4



Fotografía 4.5



Tabla 4.1

Masa promedio de las plantas
recolectadas el 13/1/78

Medio de Cultivo	Conjunto	Masa promedio, en gramos *
Arena de piedra pómez	2	24.80
Esquis to A	3	82.87
Esquis to B	4	108.22
Esquis to C	4-40	137.50
Arena de obsi- diana	5	26.82
Arena de obsidia- na (testito)	6	116.85

* ± 0.05 gr

Tabla 4.2

Contenido de potasio
de las distintas partes de la planta
en porcentaje, en base seca

Medio de Cultivo	Conjunt	Raíz	Tallo	Pecio	Foliolo
	to			lo	
Arena de piedra pómez	2	0.9 ±.1	1.0 ±.2	1.3 ±.2	0.8 ±.05
Esquis to A	3	2.2 ±.4	4.1 ±.3	4.7 ±1.01	2.0 ±.1
Esquis to B	4	1.4 ±.1	3.6 ±.03	5.2 ±.4	1.91 ±.05
Esquis to C	4-40	2.3 ±.2	5.4 ±.2	8.6 ±1.5	2.9 ±.2
Arena de Obsidiana	5	0.8 ±.1	0.8 ±.2	1.2 ±.1	0.6 ±.05
Arena de Obsidiana (tes tigo)	6	3.8 ±.4	6.1 ±.6	7.91 ±.2	3.6 ±.4

* 95% de límite de confiabilidad, N=3.

Tabla 4.3.

Porcentaje promedio, en base se-
ca, y en gramos de potasio, ex-
traído por planta

Medio de cultivo	Conjunto	Potasio extraído por planta	
		en %	en gramos
Arena de piedra pómez	2	0.82 ±.1	0.023 ±.003
Esquis to A	3	2.94 ±.3	0.244 ±.025
Esquis to B	4	2.66 ±.1	0.288 ±.011
Esquis to C	4-40	4.03 ±.3	0.554 ±.041
Arena de obsidiana	5	0.76 ±.1	0.020 ±.003
Arena de obsidiana (testigo)	6	5.04 ±.5	0.580 ±.058

* 95% de límite de confiabilidad, N=3.

Tabla 4.4

Porcentaje de potasio, en base seca, de los
pedregos recolectados el 7/4/78.

Medio de Cultivo	Conjunto	Porcentaje de potasio
Esquis to A	3	0.47 <u>±.01</u>
Esquis to B	4	0.27 <u>±.01</u>
Arena de Obsidiana (testigo)	6	2.71 <u>±.01</u>

* 95% de límite de confiabilidad, N=3.

Fotografías comparativas de los frutos del tomate en los conjuntos 3,4 y 6.



Fotografía 4.6
Conjunto 3,
Esquisito A



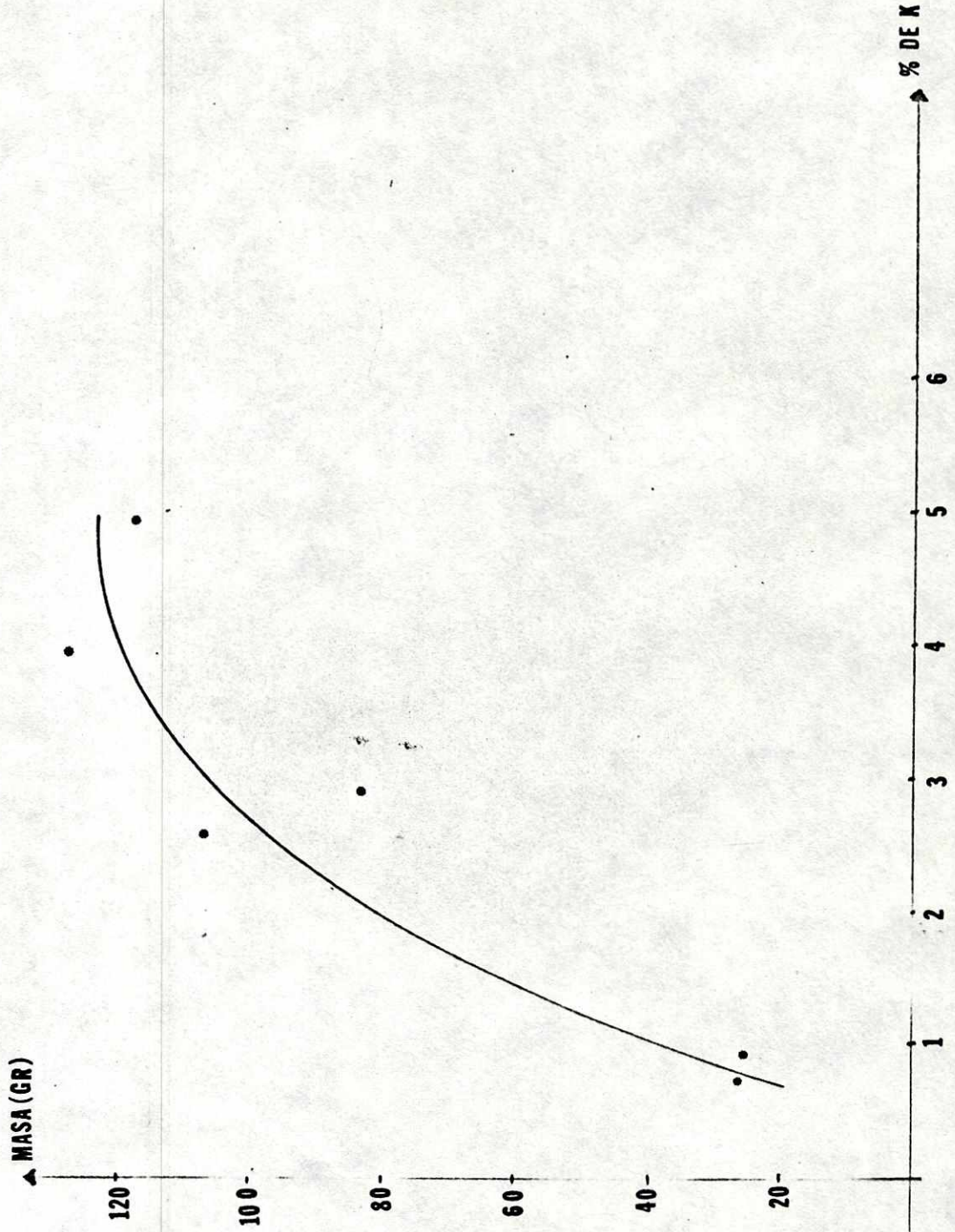
Fotografía 4.7
Conjunto 4,
Esquisito B



Fotografía 4.8
Conjunto 6, plantas
testigo.

Grafica 4.3

Porcentaje, en base seca, de potasio en los tejidos contra masa promedio de la planta.



V. DISCUSION

Las plantas de tomate obtuvieron, inicialmente, de los esquisitos el potasio que necesitaban, no así de la arena de obsidiana y la arena de piedra pómez, a pesar de que estas últimas tenían aproximadamente el doble de potasio total que los primeros, tabla 3.2.

La planta 4-40 fue la que mejores resultados dió - en contenido de potasio, pero debido a que solo existía un ejemplar de este material, sus resultados no tienen significado estadístico.

El límite de error de las cuantificaciones de potasio es bastante alto, y se debe a que en las mediciones se utilizó un aparato clínico. En los medios de cultivo el error aumentó considerablemente debido a que dichos - materiales no son homogéneos.

La gráfica 4.2 es una típica curva de contenido de potasio contra producción, en donde la concentración crítica es alrededor de 1 por ciento. En este caso, el dato experimental coincide con lo señalado por Epstein (1973: 63).

Se puede notar fácilmente que el potasio, en gra--

mos, extraído por las plantas de tomate se acerca mucho a la suma del potasio soluble e intercambiable contenidos en los materiales de cultivo, tablas 3.3 y 4.2.

A pesar del cambio de condiciones que hubo a partir del 13 de enero, en que ocurrió la recolección de las plantas para el análisis foliar, es conveniente señalar que las matas de los conjuntos 3, 4 y 4-40 trasplantadas tardíamente a las cubetas donde el potasio soluble e intercambiable había sido agotado por la primera siembra, se comportaron en forma similar a ésta en su crecimiento, desarrollo y fructificación. En esta etapa no se efectuaron análisis por estar fuera del límite que se había señalado para el presente trabajo.

La producción de tomates muestra la misma tendencia que se observó en el tamaño de las plantas recolectadas el 13 de enero.

La tabla 4.4 muestra que el contenido de potasio en los peciolo de las plantas que quedaron después de la primera recolección en los conjuntos 3 y 4 estaban abajo del límite crítico el 7 de abril, durante la fructificación.

VI. CONCLUSIONES

En este experimento las plantas de tomate, cultivadas en la arena de piedra pómez y la arena de obsidiana, solamente pudieron utilizar el potasio soluble e intercambiable. No obstante que las cantidades eran insuficientes para satisfacer las necesidades de crecimiento y desarrollo de las plantas, éstas no pudieron tomar el potasio estructural.

Las plantas cultivadas en los esquisitos A, B y C utilizaron el potasio soluble e intercambiable, pero en este caso, tal cantidad sobrepasó el límite crítico necesario para su desarrollo. Por consiguiente, aparentemente las plantas no tuvieron necesidad de utilizar el potasio estructural.

En consecuencia y debido a que las deficiencias de potasio se manifestaron hasta la etapa de fructificación es necesario diseñar un nuevo experimento de cultivos - en los esquisitos para determinar si además del potasio soluble e intercambiable, las plantas tomaron algo del potasio estructural.

VII. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos y para poder lograr respuestas con respecto a la utilización de rocas como fuentes de potasio, es recomendable continuar con el experimento realizando investigaciones como las siguientes.

1. Prolongar las cuantificaciones del potasio por análisis foliar hasta la época de fructificación de la planta;
2. Modificar las variables de operación en cuanto al tamaño de la partícula para determinar el diámetro óptimo;
3. Investigar el efecto de iones interferentes, como el amonio, para mejorar la extracción del potasio por parte de las plantas;
4. Someter los materiales a tratamiento térmico previo; y
5. Emplear otras plantas con mayor capacidad de adaptación a suelos pobres

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Epstain, Emanuel. Mineral nutrition of plants. New
1973 York, John Wiley & Sons, Inc.
- Fassbender, Hans W. Química de Suelos. Turrialba, Cos-
1975 ta Rica, Instituto Interamericano de Cien-
cias agrícolas de la OEA.
- Grewelling, Thomas. Chemical analysis of plant tissue.
1976 Ithaca, New York, Search Vol. 6 No. 8.
- Hoagland R. y Anon D. The water-culture method for gro-
1938 wing plants without soil. Berkeley, Califor-
nia, Circular 347, Universidad of California.
- Jackson M. L. Análisis químico de suelos. Barcelona,
1964 II Ed. Ediciones Omega S. A.
- Plant Food utilization. Washington, D. C. American Po-
tash institute, Inc.
- Reitemeier, R. F. The Chemistry of Soil Potassium,
1951 New York, Advances in Agronomy, Volumen III,
Edited by A. G. Norman, Academic Press Inc.
Publishers.
- Walsh, L. y Beaton, J. D., (editores) Soil Testing and
1973 Plant Analysis Madison, Wisconsin, USA, Soil
Science Society of America, Inc.

APENDICE A.

Métodos de análisis para la determinación de las distintas formas de potasio en los medios de cultivo

Se determinó la cantidad de potasio presente en sus distintas formas en los medios de cultivo como medida de comparación de los materiales utilizados.

1. Determinación de potasio soluble

Para determinar el potasio soluble total se desarrolló el método descrito a continuación, en el que la relación en masas agua suelo, es lo suficiente grande para asegurar que todo el potasio soluble pase a la solución.

Método

- a. En una balanza de precisión, pesar 1 gr. de material tamizado a 9 mallas, en un beacker de 100 ml., previamente tarado;
- b. con una pipeta volumétrica, agregar 50 ml, de agua destilada, agitar;

- c. dejar en reposo durante 24 horas, para asegurar el equilibrio;
- d. separar la solución del residuo con papel de filtración rápida, transfiriéndola a un recipiente plástico: preservarla para la determinación fotométrica.

2. Determinación del potasio intercambiable

Existen varios métodos estandarizados para la determinación del potasio intercambiable en un suelo, el utilizado en este trabajo fue tomado de Jackson (1964: 129); en él el potasio soluble no se elimina previamente, por ello, para encontrar el valor real del potasio intercambiable es necesario restar a la cantidad determinada el valor del potasio soluble que la muestra posee.

Método

- a. En balanza de precisión pesar 4 gr. de mineral tamizado a 9 mallas y transferirlo a un tubo de centrífugo de 50 ml;

- b. añadir 33 ml. de solución de acetato de amonio 1M, neutra;
- c. tapar el tubo con tapón de hule y agitar durante - cinco minutos;
- d. quitar el tapón y centrifugar la muestra hasta que la solución quede clara, (5 minutos a 1500-200 revoluciones por minuto);
- e. decantar el líquido, en cuanto sea posible, transfiriéndolo a un matraz aforado de 100 ml;
- f. repetir la extracción, pasos del b al e, dos veces más;
- g. enrasar la solución con la solución de acetato de amonio, agitar bien y guardar en envase plástico - para la determinación fotométrica.

3. Determinación del potasio disponible

Como se discutió en el capítulo II, la idea de -- que existe una fracción de potasio que forma parte de la estructura mineral, pero que aún así es accesible a las plantas, nace de la observación de que el potasio - que un cultivo es capaz de extraer de un suelo, supera

a la cantidad de potasio intercambiable y soluble previamente existente en el mismo.

Se han desarrollado numerosos métodos, tanto con ácidos minerales como con orgánicos para determinar esta fracción de potasio, pero hasta ahora ninguno coincide aceptablemente con los resultados obtenidos en el análisis de tejidos vegetales. Para este trabajo se desarrolló un método en base a lo discutido por Jackson (1964: 187 - 188) y Fassbender (1975:326).

Método

- a. En una balanza de precisión, en un beacker de 50 ml. previamente tarado, pesar 2 gr. del mineral tamizado a 9 mallas;
- b. añadir 20 ml. de ácido nítrico 1M.
- c. calentar, hasta la evaporación completa del ácido, con una lámpara de luz infrarroja colocada a 30 - cm. de distancia, procurando que el calentamiento sea suave;
- d. enfriar y seguidamente añadir 20 ml. de agua destilada.

- e. separar la solución resultante con papel de filtración rápida, transfiriéndola a un balón aforado de 100 ml;
- f. lavar el residuo tres veces con pequeñas porciones de agua destilada y añadirlas al filtrado;
- g. engasar la solución y mezclar bien: guardar en un envase plástico para la determinación fotométrica.

4. Determinación de potasio soluble en ácido nítrico concentrado.

Método

- a. En una balanza de precisión, en un beacker de 50 ml previamente tarado, pesar 1 gr. de mineral tamizado a 9 mallas;
- b. añadir 10 ml. de ácido nítrico concentrado;
- c. calentar, hasta la evaporación del ácido, con una lámpara de luz infrarroja colocada a 30 cm. de distancia, procurando que el calentamiento sea suave.
- d. enfriar y seguidamente añadir 20 ml. de agua destilada;

- e. separar la solución resultante con papel de filtración rápida, transfiriéndola a un balón aforado de 100 ml;
- f. lavar el residuo tres veces con pequeñas porciones de agua destilada y añadir las al filtrado;
- g. enrasar la solución y mezclar bien: guardar en un envase plástico para la determinación fotométrica.

5. Determinación del potasio no disponible

El potasio no disponible se encuentra por un método indirecto. Se determina la cantidad de potasio total que la muestra posee, mediante el método descrito por Jackson (1964: 431) y a este valor se le resta el potasio soluble, intercambiable y el disponible.

Método para la determinación del potasio total

- a. Pulverizar la muestra y tamizar a 200 mallas;
- b. en balanza analítica pesar 0.200 gr. de la muestra, en un crisol de platino de 30 ml, previamente tarado;
- c. humedecer la muestra con unas gotas de ácido sulfú

rico concentrado;

- d. añadir 1 ml. de ácido perclórico al 60% y 5 ml. de ácido fluorhídrico al 48%;
- e. calentar el crisol en una estufa eléctrica regulando la temperatura entre 200 y 225 C, de modo que se desprendan vapores de SO_3 , pero sin dejar que la solución llegue a hervir; llevar a sequedad.

PRECAUCION: LOS GASES PRODUCIDOS SON ALTAMENTE CO
RROSIVOS Y TOXICOS, POR LO QUE EL PROCEDIMIENTO DE
BE LLEVARSE A CABO EN UNA CAMPANA ESPECIAL.

- f. Repetir los pasos del c) al e) dos veces más;
- g. añadir unas cuantas gotas adicionales de ácido sulfúrico y calentar fuertemente, con emisión de humos blancos, hasta que haya sido expulsado totalmente el flúor;
- h. enfriar el crisol, añadir 5 ml. de ácido clorhídrico 6 N, diluyendo luego la suspensión con 20 ml. de agua destilada;
- i. colocar el crisol bajo una lámpara de luz infrarroja a 30 cm. de distancia y dejar que la solución -

se calienta. Generalmente el residuo se disuelve en unos 15 minutos;

- j. transferir la solución cuantitativamente a un balón aforado de 100 ml, enrasar y mezclar bien;
- k. guardar en envase plástico para la determinación fotométrica.

APENDICE B.

Comparación de cinco métodos de análisis de tejidos para la determinación de potasio en las plantas

Existen gran cantidad de métodos para el análisis de elementos minerales en los tejidos vegetales, pudiéndose clasificar casi todos dentro de dos grupos: a) - combustión seca, la cual destruye la materia orgánica - por calcinación: y b) digestión húmeda, que la destruye por medio de la acción de ácidos fuertes. Como el potasio no forma parte estructural de ningún tejido, ofrece además, la posibilidad de ser determinado por extracción, es decir, sin destruir la materia orgánica. En este trabajo se tenía la posibilidad de escoger entre cinco métodos, puesto que se contaba con todos los materiales necesarios para ello. Para poder determinar cual ofrecía mayor eficiencia en su realización, se hicieron los cinco métodos sobre una misma muestra, previamente preparada según las indicaciones de Grewelling (1976: 1).

Preparación de la muestra

Al recolectar las plantas se limpia el polvo y otras suciedades que se hayan depositado sobre ellas. Si es posible, no se utiliza agua en este paso sino un cepillo de cerdas suaves, ya que puede haber pérdida de potasio por lixiviación.

Se pesan las matas individualmente; se clasifican en raíces, tallos, peciolos y foliolos. Por separado, se pesan y luego se secan en una estufa de temperatura constante a 70°C , con ventilación, durante 24 horas. Esta operación debe realizarse a la mayor brevedad posible, ya que los tejidos de las plantas recién cortados son buenos medios de cultivo para los hongos.

El material seco se pulveriza en una licuadora y el polvo se guarda en bolsas o recipientes de plástico herméticamente cerrados.

Debido a que el material pulverizado es muy higroscópico es necesario dejarlo nuevamente durante 24 horas en la estufa de temperatura constante a 70°C , antes de realizar el análisis.

Descripción de los métodos

1. Combustión seca /3/
 - a. Pesar 5 gr. del material, seco y tamizado a 30 mallas, en un crisol de porcelana previamente tarado.
 - b. saturar con alcohol etílico al 95% y mezclar bien;
 - c. incinerar bajo la campana;
 - d. cuando el exceso de alcohol se haya quemado, colocar el crisol en una mufla eléctrica y calentar -- lentamente hasta 500° - 550° grados celcius;
 - e. cuando las cenizas tomen un color grisáceo, retirar el crisol de la mufla; dejarlo enfriar y colocarlo en la desecadora;
 - f. humedecer el residuo con agua; añadir 10 ml. de ácido clorhídrico (1:1), y evaporar a sequedad para deshidratar la sílice;
 - g. añadir 5 ml. de ácido clorhídrico (1:1), y 20 ml. de agua, cubrir con un vidrio de reloj y dejarlo en baño de maría hasta que todas las sales, exceptuando la sílice, se disuelvan;
 - h. filtrar la solución transfiriéndola a un balón de 250 ml. Lavar y recuperar las aguas de lavado.
 - i. ~~en~~rasar y mezclar bien.

/3/ Dr. R. Martínez, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos, Guatemala, comunicación personal.

2. Digestión húmeda con ácido nítrico y perclórico /4/

Reactivos:

- a. Acido nítrico concentrado
- b. Acido perclórico al 72%

Método

- a. En una balanza de precisión, pesar 1.000 gr. del material seco y tamizado a 30 mallas, en un beacker de 50 ml. previamente tarado;
- b. en la campana, añadir 20 ml. de reactivo A, curbir con un vidrio de reloj y dejar en reposo hasta que la reacción termine;
- c. calentar hasta que las partículas sólidas se disuelvan;
- d. enfriar y añadir 10 ml. de reactivo B.

PRECAUCION: EL ACIDO PERCLORICO ES EXPLOSIVO EN PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA FACILMENTE OXIDABLE.

/4/ Dr. R. Martínez, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, comunicación personal.

- e. Calentar suavemente al inicio, y luego fuertemente hasta que la solución resultante quede clara y sin color. No se debe llevar a sequedad.
- f. suspender el calentamiento cuando el volumen se reduzca aproximadamente a 3 ml;
- g. enfriar y transferir cuantitativamente a un balón volumétrico de 100 ml, enrasar, mezclar y dejar en reposo durante la noche;
- h. filtrar, sin lavar y guardar la solución en un recipiente plástico para el análisis.

3. Digestión húmeda con ácido nítrico. /5/

- a. Colocar en un balón volumétrico de 10 ml. 0.5 gr. del material seco y molido;
- b. agregar 1 ml. de ácido nítrico al 30% y 1 ml. de agua destilada;
- c. calentar por 5-10 minutos, hasta que la espuma desaparezca;
- d. agregar 3 ml. de ácido nítrico al 30%;
- e. calentar hasta esclarecer, excepto por la sílice insoluble;

/5/ Proporcionado por el Dr. George E. Peterson, Perkin Elmer, seminario INCAP, enero de 1978.

- f. enfriar y aforar a 10 ml;
- g. centrifugar o de alguna manera eliminar la sílice;
- h. extraer la muestra para el análisis de la zona clara de la suspensión.

4. Extracción con oxalato de amonio. /6/

Reactivos

Solución de oxalato de amonio 0.12 Normal.

Método

- a. En balanza de precisión, pesar 1 gr. del material seco y finalmente dividido y transferirlo a un erlenmayer de 125 ml. y tapón esmerilado;
- b. añadir 80 ml. de oxalato de amonio;
- c. tapar el frasco y agitar vigorosamente varias veces durante 30 minutos, o dejarlo 10 minutos en la agitadora mecánica;
- d. filtrar y determinar el potasio en el filtrado.

Nota: Esta solución es un buen medio para el cultivo de hongos y, por ello, las mediciones deben realizarse el mismo día de la extracción.

5. Extracción con EDTA. /7/Reactivos

- a. Solución 1M de la sal de amonio de EDTA. (Preparación: pesar 292 gr. de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), y transferirlos a un recipiente que contenga 500 ml. de agua: añadir amoníaco concentrado hasta que el ácido se disuelva y luego un exceso hasta subir el pH alrededor de 9.5; enfriar y diluir a 1 litro con agua destilada; mezclar bien y guardar la solución en un recipiente plástico).
- b. solución de la sal de amonio de EDTA 0.1M, preparada por dilución del reactivo a.

Método

- a. En balanza de precisión, pesar 1 gr. del material finamente dividido, y transferirlo a un erlemnayer de 125 ml. y tapón esmerilado;
- b. añadir 80 ml. del reactivo b;
- c. tapar el frasco y agitar vigorosamente varias veces durante 1 hora;

- d. filtrar y determinar el potasio en el filtrado.

Notas

- a. Esta solución es buen medio para el cultivo de hongos; por ello, las mediciones deben realizarse en el mismo día de la extracción.
- b. Procurar que la solución esté el menor tiempo posible en contacto con vidrio, puesto que puede extraer el potasio de estos materiales.

Resultados

Los cinco métodos de análisis descritos se utilizaron para medir el contenido de potasio en los folíolos de las plantas de tomate del conjunto experimental No. 6 cosechadas el 13 de enero de 1978, que habían sido regadas con la solución de nutrientes completa. Los métodos de extracción se realizaron sobre dos clases distintas de partículas: partículas tamizadas a 200 mallas y partículas tamizadas a 30 mallas.

Los resultados obtenidos se pueden leer en la tabla

Tabla B1

Contenido de potasio en los foliolos del grupo 6 según el método de análisis empleado.-

Método de análisis	Contenido de potasio (% en base seca)
1. Combustión seca	3.16%
2. Digestión húmeda con ácido nítrico y ácido perclórico	3.27%
3. Digestión húmeda con ácido nítrico	3.32%
4. Extracción con oxalato de amonio	
a) partícula tamizada a - 200 mallas	3.59%
b) partícula tamizada a - 30 mallas	3.83%
5. Extracción con EDTA NH_4^+	
a) partícula tamizada a - 200 mallas	4.39%
b) partícula tamizada a - 30 mallas	4.30%

Discusión y conclusiones

Podemos observar en la tabla B1 que los análisis - que mostraron los niveles más bajos en contenido de potasio fueron los determinados por medio de las digestiones y de la combustión. Esto parece incongruente, ya que con estos métodos todo el potasio contenido en la muestra es liberado al destruirse el tejido. Sin embargo, en el método de disgregación por combustión seca, - cuando se incinera la muestra parte de la materia vegetal se pierde por corrientes de convección que la llama produce; además la arcilla del crisol, al ser calentada en la mufla, puede absorber ciertas cantidades de potasio.

En los métodos de digestión húmeda, los bajos resultados se atribuyen a las pérdidas de solución por pequeñas proyecciones durante el calentamiento con los ácidos, a pesar de ser calentamiento muy suave, con lámpara del luz infrarroja, colocada a 30 cm. de distancia. Las pérdidas por proyección se reducen al calentar la muestra, con los ácidos, dentro de un balón aforado de 10 ml. (método 3). debido a la estrechez de su boca. Otro factor digno de tomarse en cuenta es la sílica insoluble que en la separación de la solución retiene algo del potasio, máxima que no se lava.

En la extracción con EDTA NH_4^+ los resultados fue-

ron mayores, sin embargo la determinación con oxalato de amonio presenta la ventaja que con ella, solo el potasio y el sodio pasan a la solución evitándose así problemas de interferencia con otros iones en la determinación por fotometría.

Como en el trabajo interesaba comparar los niveles de potasio en las plantas de los diferentes conjuntos y no conocer la cantidad de potasio total que estas hubiesen extraído, se escogió el método de extracción con oxalato de amonio para las determinaciones en los teji--dos.

APENDICE C

Solución nutritiva de Hoagland No. 2

La solución contiene a los elementos que las plantas necesitan para crecer y desarrollarse en un medio acuoso sin suelo, cultivo hidrophónico. Fue desarrollada por Hoagland y Anon (1938).

Se prepara de las siguientes soluciones stock:

Soluciones uno molar de:

- a. fosfato diácido de amonio, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
- b. nitrato de potasio KNO_3
- c. nitrato de calcio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
- d. sulfato de magnesio, MgSO_4

Solución A, que contiene a los elementos boro, manganeso, zinc, cobre y molibdeno en las cantidades siguientes:

<u>Compuesto</u>	gr/litro de H_2O
ácido bórico, H_2BO_2	2.86
cloruro de manganeso, $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	1.81
sulfato de zinc, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0.22
sulfato de cobre, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.08
ácido molíbdico, $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.02

Para obtener la solución nutritiva se toman partes alícuotas de estas soluciones en las siguientes proporciones:

Solución stock	cc por litro de solución de nutrientes.
fosfato diácido de amonio 1M	1
nitrate de potasio 1M	6
nitrate de calcio 1M	4
sulfato de magnesio 1M	2
solución A	1

y dos veces por semana, añadir 1 cc/litro de una solución al 5% de tartrato de hierro.

Solución nutritiva de Hoagland sin potasio

<u>Solución stock</u>	cc por litro de solución de nutrientes
fosfato diácido de amonio 1M	1
nitrate de calcio 1M	5
sulfato de magnesio 1M	2
Solución A	1

y dos veces por semana, añadir 1 cc/litro de una solución al 5% de tartrato de hierro.

