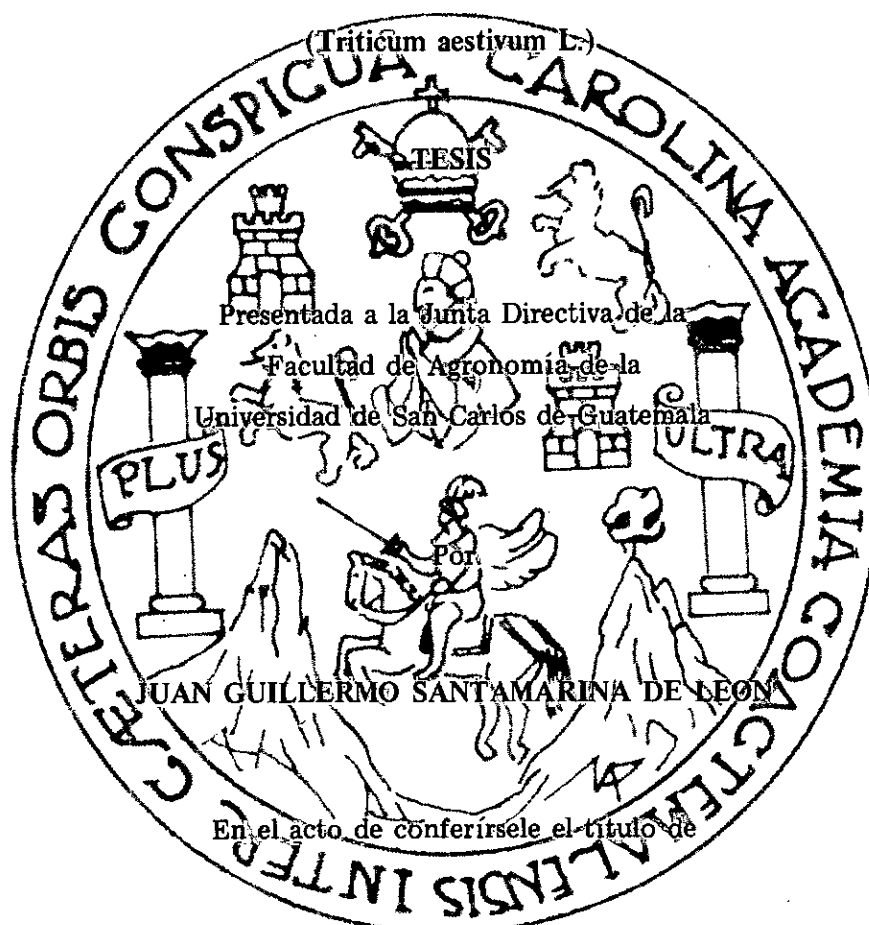


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

RANGO DE CONCENTRACION CRITICO  
DE POTASIO EN PLANTULAS DE  
TRIGO

(Triticum aestivum L.)



Presentada a la Junta Directiva de la  
Facultad de Agronomía de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Por  
JUAN GUILLERMO SANTAMARINA DE LEON  
En el acto de conferirsele el título de

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, 1985

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

D. L.  
01  
T(823)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

DR. EDUARDO MEYER MALDONADO

JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. César A. Castañeda
VOCAL I	Ing. Agr. Oscar René Leiva R.
VOCAL II	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez
VOCAL III	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
VOCAL IV	P. A. Angel Leopoldo Jordán Z.
VOCAL V	P. A. Axel Gómez Chávarry
SECRETARIO	Ing. Agr. Rodolfo Albizurez P.

Guatemala 13 de Mayo de 1985.

Honorable Junta Directiva,  
Facultad de Agronomía.

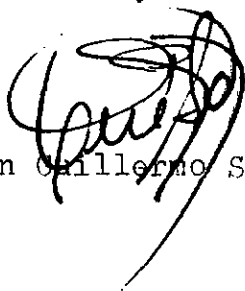
Señores Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

RANCO DE CONCENTRACION CRITICO DE POTASIO EN PLANTULAS DE TRIGO (Triticum aestivum L.).

Como requisito previo a optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, en el Grado Academico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando sea aceptado, me suscribo de vosotros respetuosamente,



Juan Guillermo Santamarina de León



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia MSA-088-85

Asunto

Guatemala,  
13 de Mayo de 1985.

Ingeniero Agrónomo  
César A. Castañeda  
Decano de la  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos  
de Guatemala.


Señor Decano:

En atención al nombramiento que emitiera, para asesorar al estudiante Juan Guillermo Santamarina De León, en su trabajo de tesis "RANGO DE CONCENTRACION CRITICO DE POTASIO EN PLANTULAS DE TRIGO (Triticum aestivum L.)", informo a usted que ha sido concluída la asesoría y revisión del documento final.

Por lo antes expuesto, considero que el trabajo presentado por el estudiante Santamarina De León, llena los requisitos de una tesis universitaria, además aporta conocimientos básicos sobre la nutrición de plántulas de trigo. Asimismo para que sea sometida a discusión en su Examen General Público.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. José J. Chonay  
A S E S O R

c.c. Archivo

JJCH/eqded.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

JUAN GUILLERMO SANTAMARINA D.  
MARTA DE LEON DE SANTAMARINA

A MIS HERMANOS

LUIS ROBERTO  
BEATRIZ E. y RUBEN  
MARTA ELENA

A MI SOBRINA

BEATRIZ DE MARIA

A MI FAMILIA

SANTAMARINA DOMINGUEZ  
DE LEON MENESES  
FLORES MOTA

A LA SEÑORITA

SANDRA MAGALY GARCIA FUENTES

**TESIS QUE DEDICO**

A

**GUATEMALA**

A

**AZUL, REPUBLICA ARGENTINA**

A

**LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

A

**LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

A

**LOS TRABAJADORES DEL AGRO GUATEMALTECO**

A

**MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION Y  
AMIGOS EN GENERAL**

**MIS MAS SINCEROS AGRADECIMIENTOS**

**A MI ASESOR**

**Ing. Agr. José Jesús Chonay P.**

**AL**

**Ing. Agr. Salvador Castillo O.**

**AL**

**Ing. Agr. Inf. Enrique Escalante H.**

**AL**

**Laboratorio de Suelos de la  
Asociación Nacional del Café.**

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
Indice de Cuadros	
Indice de Figuras	
Resumen	i
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
III. Hipótesis	3
IV. Revisión de Literatura	4
A. Antecedentes	4
B. Toma de muestras	4
C. Concentración de nutrientes en los tejidos de las plantas cultivadas	5
D. Nivel crítico	5
E. Importancia del potasio y sus funciones en la planta	5
F. Solución nutritiva	7
G. Importancia del análisis foliar	8
V. Materiales y métodos	9
A. Descripción del área experimental	9
B. Descripción del experimento	9
C. Tratamientos evaluados	10
D. Características evaluadas	10
E. Análisis foliar	12
VI. Resultados	13
A. Concentración de potasio en la hoja de trigo y porcentaje de rendimiento relativo de grano	13
B. Análisis estadístico	13
C. Curva de concentración de potasio foliar en plantas de trigo	15
D. Relaciones entre Ca, Mg, P/K, K/Ca, K/Mg y (Ca+Mg)/K y el rendimiento relativo	15
E. Influencia de la concentración de potasio en la altura de las plantas y en el rendimiento en gramos de trigo por maceta	23
VII. Conclusiones y Recomendaciones	25
VIII. Bibliografía	26
IX. Anexo	29



## INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Condiciones ambientales del invernadero, en la fase experimental	9
2.	Características de la variedad de trigo BALANYA 80	10
3	Fuente y cantidad de nutriente por litro de la solución nutritiva	11
4	Concentración de potasio en partes por millón y gramos por litro de solución	11
5	Métodos para la determinación de fósforo, potasio, calcio y magnesio	12
6	Porcentaje de potasio y rendimiento relativo del grano de trigo a los 35 días después de la siembra	13
7	Análisis de varianza de grano, expresado en gramos por maceta	14
8	Efecto del porcentaje de potasio en el tejido foliar a los 35 días de crecimiento sobre el rendimiento relativo	14
9	Rangos de concentración del potasio en la hoja de trigo, a los 35 días de crecimiento	15

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Cuatro puntos para definir el nivel crítico de nutrimentos en la planta	6
2	Relación entre concentración de nutrimentos en tejidos de plantas y rendimiento de cosecha, mostrando el Rango Crítico de Nutrimentos (CNR)	6
3	Esquema de la unidad experimental	10
4	Relación entre la concentración de potasio en la hoja de trigo a los 35 días de crecimiento y el porcentaje de rendimiento relativo	16
5	Relación entre la concentración de calcio en la hoja de trigo a los 35 días de crecimiento y el porcentaje de rendimiento relativo	17
6	Relación entre la concentración de magnesio en la hoja de trigo a los 35 días de crecimiento y el porcentaje de rendimiento relativo	18
7	Relación entre P/K y el rendimiento relativo a los 35 días de crecimiento	19
8	Relación entre Ca/K y el rendimiento relativo a los 35 días de crecimiento	20
9	Relación entre Mg/K y el rendimiento relativo a los 35 días de crecimiento	21
10	Relación entre (Ca+Mg)/K y el rendimiento relativo a los 35 días de crecimiento	22
11	Relación entre la concentración de potasio en la hoja de trigo y la altura de plantas a los 35 días de crecimiento	23
12	Influencia de la concentración de potasio en el rendimiento en gramos por maceta de tratamiento	24

## RESUMEN

El propósito del presente trabajo, fue establecer el rango crítico de concentración de potasio foliar en plántulas de trigo, analizadas 35 días después de la siembra. La hipótesis planteada, dice que, las diferentes concentraciones de potasio en el tejido foliar, influyen sobre el rendimiento de grano.

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero, con un diseño experimental completamente al azar y se evaluaron catorce concentraciones de potasio, de 0 a 4,096 partes por millón en solución nutritiva, con tres repeticiones, cada unidad experimental consistió en una maceta plástica de 3.7 litros de capacidad.

Las características evaluadas fueron: Concentración de potasio foliar a los 35 días de crecimiento, rendimiento relativo del grano al 14o/o de humedad, altura de plantas y concentración de macronutrientes.

Se concluye que, las diferentes concentraciones de potasio en el tejido foliar, hacen variar el rendimiento en grano de trigo y la altura de planta. El rango crítico de concentración (CNR) de potasio a los 35 días después de la siembra, se encuentra entre 2.74 y 3.13o/o, mientras que el rango de deficiencia se encuentra por debajo de 2.73o/o; el rango de suficiencia está entre 3.13 y 4.00o/o y el rango de toxicidad, está por encima de 4.01o/o de potasio.

Los cationes, calcio y magnesio, mostraron un efecto antagónico con el potasio, al aumentar la concentración de potasio, el calcio y el magnesio disminuyeron, por el efecto de Viets. Las concentraciones de calcio y magnesio en el máximo rendimiento relativo, corresponden a valores de 0.63 y 0.42o/o respectivamente, mientras que las relaciones encontradas, tuvieron los valores siguientes: K/P, 13:1; K/Ca, 7:1, K/Mg, 11:1 y (Ca+Mg)/K, 0.22:1.

## I. INTRODUCCION

El trigo, (Triticum aestivum (L.) Thell). se cultiva en muchas partes del mundo, tiene un amplio rango de adaptación, ya que tolera bajas temperaturas en sus primeras etapas de desarrollo. La mayor producción de este cereal, tiende a concentrarse en regiones de clima templado y frío. En la actualidad, el trigo ocupa el primer lugar entre los cereales de mayor producción en el mundo (trigo, maíz, arroz, cebada), debido a que constituye parte principal en la dieta humana.

En Guatemala, el cultivo se inició a principios del siglo XVII. El área sembrada se ha ido incrementando, principalmente en la región del altiplano occidental del país. Para 1981, la Gremial Nacional de Trigueros, reportó una producción de 917.5 miles de quintales en 23.2 miles de hectáreas, con una media de producción por hectárea de 39.6 quintales.

El presente trabajo, pretende determinar el rango de concentración crítico de potasio para el cultivo de trigo, por medio del análisis foliar y evitar de esta manera el consumo de lujo. Según Macy, citado por Sandoval (21), el consumo de lujo es la zona sobre el nivel crítico, en donde una mayor concentración de nutrimentos presentes en el tejido vegetal, no corresponde a un aumento en la producción, reduciendo el costo de la aplicación de fertilizantes y aumentando la rentabilidad del cultivo.

## II. OBJETIVOS

Determinar el Rango crítico de concentración (CNR) de potasio en plantas de trigo.

Obtener la curva de relación entre concentración de potasio en hojas de trigo y rendimiento de grano.

Obtener los rangos de deficiencia, suficiencia y toxicidad del potasio en plantulas de trigo.

### III. HIPOTESIS

Las diferentes concentraciones de potasio foliar, hacen variar el rendimiento en grano de trigo.

## IV. REVISION DE LITERATURA

### A. Antecedentes

Ward (22), dice que en 1955, Schrenk reportó la concentración de nutrimentos en plantas de trigo enteras, al momento del espigamiento y obtuvo los valores siguientes: 4.72o/o de nitrógeno; 0.22o/o de fósforo; 3.2o/o de potasio; 0.36o/o de calcio y 0.12o/o de magnesio.

Ulrich, citado por Roo (19), dice que las investigaciones realizadas en remolacha azucarera (Beta vulgaris), se consideran clásicas, ya que el método que se usó para obtener las correlaciones, ha servido como guía en estudios similares en otros cultivos.

Roo (19), dice que Emert utilizó el análisis de tejido vegetal como guía en la fertilización de tomate (Lycopersicum esculentum).

Este mismo autor (19), trabajó en el análisis de plantas de frijol (Phaseolus vulgaris) como guía para la fertilización potásica y encontró que la absorción de potasio se equipara cuantitativamente con la del nitrógeno y que al aumentar su disponibilidad en el sustrato, se eleva el óptimo de este último elemento; en otras investigaciones, observó un aumento de potasio en la planta de frijol al aumentar la cantidad disponible en el sustrato.

Roo (19), también dice que Wadleech y Bowers, reportaron en frijol, que la acumulación de potasio llega a su máximo cuando el calcio alcanza los niveles más bajos.

### B. Toma de muestras

#### 1. Partes de la planta a muestrear:

Según Howeler (13), las partes más representativas de la planta que se deben muestrear, son las hojas que han completado su desarrollo normal en la parte superior de la planta. No deberá incluirse, hojas dañadas por insectos, enfermedades, herbicidas, etc.

#### 2. Epocas de muestreo:

Hoffer, citado por Corriols (5), trabajó con plantas de maíz (Zea mays) y encontró que la mejor época de tomar muestras, es cuando las plantas están en su período de maduración. Racz, citado por Ward (22), realizó análisis foliares en plantas de trigo, para encontrar relaciones de N y P a los 21, 36, 49 y 62 días después de la siembra.

#### 3. Tamaño de las muestras:

Jackson (14), afirma que la magnitud de la muestra de tejido vegetal necesaria para los análisis, queda determinada por: La finura de la molienda, la concentración del elemento en la planta y por la sensibilidad del método empleado.

Por lo que respecta a la primera consideración, la cantidad mínima de la planta, es habitualmente 0.2 gramos y usualmente, no se toman muestras de tamaño inferior a 1.0 gramo.

### C. Concentración de nutrientes en los tejidos de las plantas cultivadas.

Jackson (14), dice que la concentración de cada elemento, es determinada por la época de recolección y la parte de la planta muestreada y los resultados se expresan en porcentaje y partes por millón de tejido seco.

### D. Nivel Crítico

Según Salinas (20), el nivel crítico, es el necesario para proporcionar un nivel adecuado de producción, que corresponde a un 80o/o de la producción máxima.

Según Howeler (13), los niveles críticos de deficiencia se pueden definir utilizando en distintas formas la curva que indica la relación entre rendimientos y concentración de nutrimentos en la planta, como se observa en la figura 1.

En la figura 1 se observan cuatro puntos sobre la curva de concentración de nutrimentos, los cuales se detallan a continuación:

- Punto 1: Niveles bajo los cuales se producen síntomas de deficiencia.
- Punto 2: Niveles que corresponden al 90 ó 95o/o del rendimiento máximo.
- Punto 3: Niveles que corresponden a la curvatura máxima de la curva.
- Punto 4: Niveles que corresponden a la intercepción de las tangentes a la curva en el rango de deficiencia y absorción de lujo.

El concepto de concentración crítica de nutrimentos como base para diagnosticar problemas nutricionales es bien establecido; sin embargo, Dow y Roberts (8), sugieren el cambio de nivel crítico a un Rango Crítico de Nutrimentos (CNR); ya que el nivel crítico es un simple punto sobre la curva de concentración de nutrimentos, es difícil de establecerlo experimentalmente y puede variar bajo diferentes condiciones a que este sujeta la planta, mientras que el rango de la concentración de nutrimentos es definido como: El rango de la concentración de nutrimentos en un estado específico de desarrollo arriba del cual está razonablemente definido que el cultivo es ampliamente suplementado y abajo del cual se está razonablemente definido que el cultivo es deficiente, como se muestra en la figura 2.

### E. Importancia del potasio y sus funciones en la planta.

Ortiz (17), cita a Jacob y Uexküll, quienes señalan que las funciones principales del potasio en la planta son: Endurecimiento y resistencia de los tejidos de sostén (tallos y ramas), brinda resistencia al acame, le da mejor calidad a la fibra (plantas para fibra) y da calidad al sabor, fragancia y mejores cualidades de almacenamiento en los frutos.



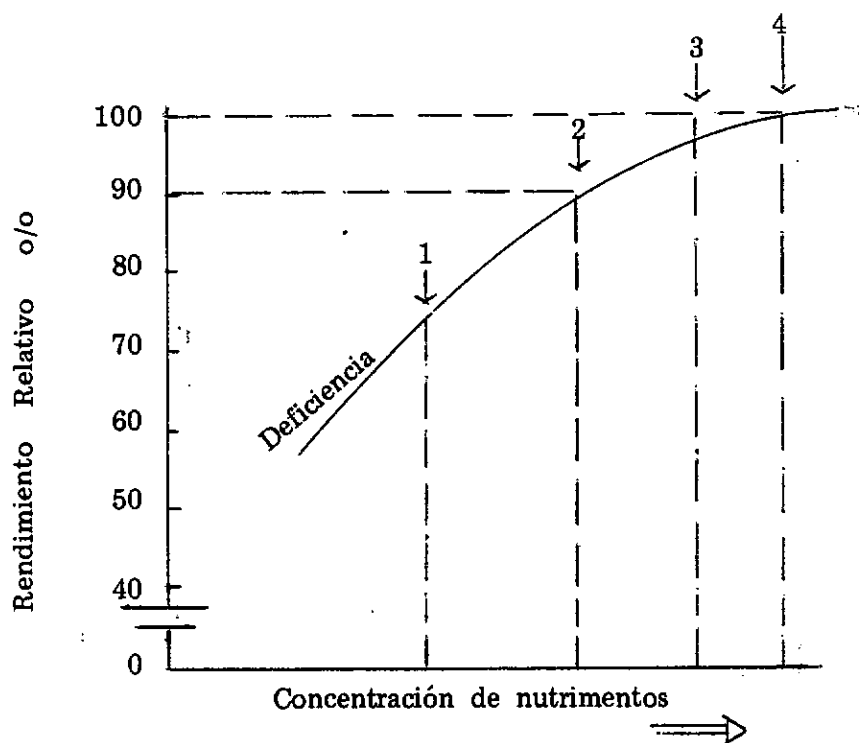


FIGURA 1. Cuatro puntos para definir el nivel crítico de nutrientes en la planta.

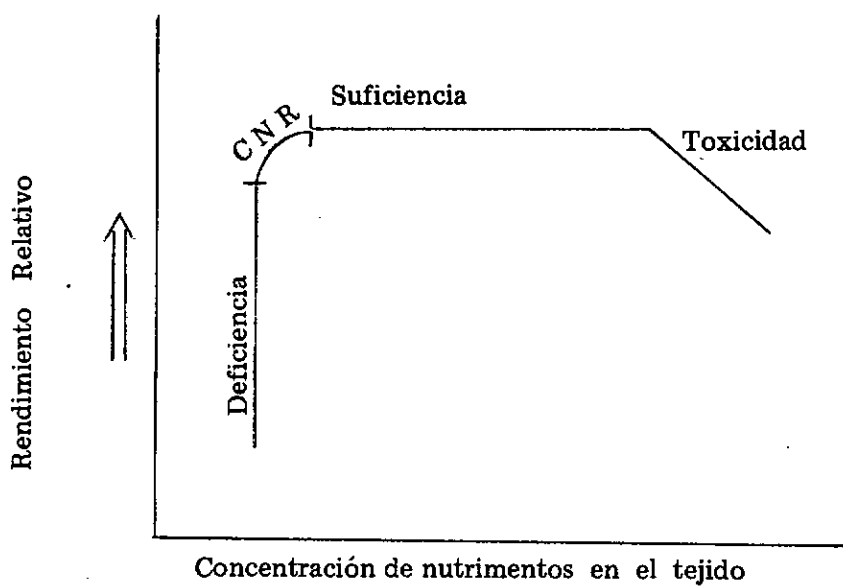


FIGURA 2. Relación entre concentración de nutrientes en tejidos de plantas y rendimiento de cosecha, mostrando el Rango Crítico de Nutrientes.

El potasio influye en los fenómenos; tales como, la respiración, contribuyendo a mantener la economía del agua en la planta, reduciendo así la tendencia a la marchitez.

Franco (9), cita a Diehl, et al, quienes opinan que la deficiencia de potasio, puede causar baja en el peso específico de los cereales y en la calidad del grano.

López (15), encontró que el potasio es el elemento que da mayor respuesta en cuanto al rendimiento de grano, crecimiento en altura e índices de calidad de grano; concluye que existe una mayor probabilidad de rendimientos con niveles altos de potasio en combinación con nitrógeno y fósforo.

Ortiz (17), dice que la deficiencia de potasio en la planta, se caracteriza por la muerte de tejido en la hoja, se inicia por el ápice y se extiende por los bordes, se observa una demarcación bien definida entre el tejido muerto y el tejido vivo.

Según Buckman y Brady (4), el potasio es esencial para la formación de la molécula de clorofila.

Brenes (3), dice que Evans y Sorger, señalaron en 1966 que el potasio en la materia seca de las plantas, varía de 1.66 a 2.75o/o y en algunos casos al 8o/o; también indica que la concentración de potasio en el tejido foliar de la planta excede a la concentración de cualquier otro elemento.

#### F. Solución nutritiva.

Miller (6), determinó mediante estudios, que la planta debe ser colocada en una maceta que contenga material inerte (arena de cuarzo), y regarla periódicamente con una solución acuosa de sales minerales. Otro método consiste en, colocar la solución en una vasija y sostener la planta de manera que sus raíces se sumerjan en la solución. También dice, que el empleo de soluciones de cultivo, no solo da información sobre la necesidad de sustancias minerales para las plantas, sino que facilita la información, mediante la determinación de algunas funciones de cada uno de los elementos en el metabolismo de las plantas.

Para Devlin (6), los medios sólidos, por ejemplo la arena o el cuarzo triturado, son generalmente fáciles de manejar, mejor que el medio líquido, en cambio los problemas de purificación son más difíciles de resolver; sin embargo, hoy día es posible procurarse arena de sílice altamente purificada. La solución nutritiva puede incorporarse al cultivo, de tres modos distintos: Vertiéndola sobre la superficie, dejándola gotear sobre la superficie y obligándola a subir desde el fondo del recipiente (subirrigación).

De los modos anteriores, el más apropiado, es el de vertir la solución en el recipiente, ya que es más fácil de manipular y requiere poco control.

Miller (16), menciona en forma breve algunas características que deben tener las soluciones nutritivas. Deben observarse muchas precauciones para asegurar los resultados favorables: La solución debe contener elementos esenciales, toda solución debe tener la

misma presión osmótica, debe mantenerse un pH constante, las soluciones deben cambiarse periódicamente para mantener la concentración constante y las condiciones tales como luz, temperatura y humedad deben ser adecuadas.

#### G. Importancia del análisis foliar

Según Howeler (13), el análisis foliar, determina el contenido total de nutrimentos en la planta, mientras que el análisis de suelos determina el contenido de nutrimentos disponibles para la planta.

El análisis foliar puede ser uno de los métodos más efectivos para diagnosticar problemas nutricionales en las plantas.

Para Hammes (12), al análisis foliar en la producción vegetal, es similar a obtener cosechas con la producción agrícola.

Para obtener un máximo beneficio del análisis de una planta, deben tenerse consideraciones de cuidado, para que se dé la selección de muestras, tiempo de muestreo, variedad, densidad de plantas, efectos estacionales, contaminación, etc.

Howeler (13), detalla algunos factores importantes para el análisis foliar, como los siguientes:

##### Toma de muestras:

El mejor tiempo para la toma de muestras es cuando las plantas se han desecado después de la lluvia. En parcelas de ensayos, se debe tomar muestras de los surcos centrales para evitar el efecto de borde.

##### Lavado de las muestras:

Para determinar la necesidad de lavar las muestras, es necesario conocer el grado de contaminación y la condición de la muestra, además de los elementos a determinar. Se lavan las muestras frescas y túrgidas en una solución de 1.0 gramo de detergente que no contenga mucho fósforo, por litro de agua; se enjuagan con agua corriente y después con agua desionizada.

##### Secado de la muestra:

Esto se hace para evitar que las muestras sigan respirando y por lo consiguiente cambiando su contenido de materia seca. Es importante secarlas en estufa tan pronto como sea posible, a una temperatura de 65°C durante 24 a 48 horas.

##### Molido de las muestras:

Cuando las muestras están secas, se muelen en un molino tipo Wiley.

##### Conservación de las muestras:

Las muestras se pueden guardar en bolsas plásticas bien cerradas.

## V. MATERIALES Y METODOS

### A. Descripción del área experimental.

El experimento se realizó en el invernadero ubicado en los campos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, a 1502 metros sobre el nivel del mar y a 14° 35' 11" latitud norte y 90° 31' 58" longitud oeste. Las condiciones ambientales del invernadero se detallan en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Condiciones ambientales del invernadero, en la fase experimental.

MES	T°C mínima	T°C máxima	T°C media	H.R. mínima (o/o)	H.R., máxima (o/o)	H.R. media (o/o)
Septiembre 1983	19.0	37.0	28.0	51.0	77.0	64.0
Octubre 1983	18.0	39.0	28.5	52.0	79.0	65.5
Noviembre 1983	20.0	39.0	29.5	50.0	78.0	64.0
Diciembre 1983	13.0	33.0	23.0	73.0	79.0	76.0
Enero 1984	10.0	36.0	23.0	67.0	80.0	73.5

Fuente: Archivo del Invernadero, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos.

### B. Descripción del experimento

El diseño experimental es completamente al azar con tres repeticiones. Se evaluaron catorce niveles de concentración de potasio en condiciones de hidroponía y se determinó el porcentaje de potasio en el tejido vegetal a los 35 días después de la siembra.

La unidad experimental, consistió en una maceta plástica de 3.7 litros de capacidad, como se detalla en la figura 3, llenada para el efecto de arena gruesa en la parte inferior y arena fina en la parte superior.

En el momento de la siembra se colocaron 25 granos de trigo BALANYA 80, a los 12 días se dejaron 15 plántulas por maceta. Las características de la variedad utilizada, se describen en el Cuadro 2.

La solución nutritiva se aplicó diariamente, vertiéndola sobre la superficie de la maceta.

CUADRO 2 Características de la variedad de trigo BALANYA 80.

Color grano	Altura planta	Días a cosecha	Largo espiga	Tipo harina	Resistencia a la Roya
Rojo	104 cm	145	15-17 cm.	suave pesada	susceptible

Fuente: "El cultivo del trigo para el altiplano central". Gremial Nacional de Trigueros. Información técnica. Quetzaltenango, 1983.

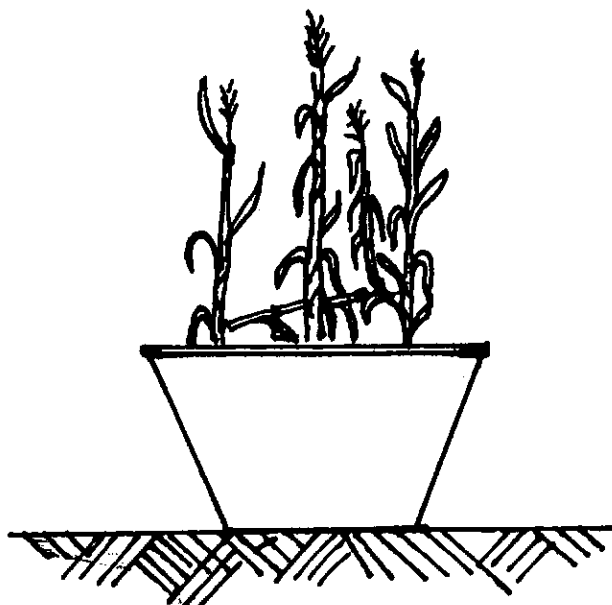


FIGURA 3. Esquema de la unidad experimental.

#### C. Tratamientos evaluados.

Se evaluaron catorce niveles de concentración de potasio en solución nutritiva, preparada según Hoagland y Arnon, tal como se detalla en el Cuadro 3.

En el Cuadro 4, se presentan los niveles de concentración de potasio, cuya fuente fue, Sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) con 52o/o de  $K_2O$ .

#### D. Características evaluadas.

- i) La concentración de potasio foliar, determinada en las hojas llamadas bandera a los 35 días después de la siembra.
- ii) El porcentaje de rendimiento relativo del grano al 14o/o de humedad.
- iii) Altura de plantas, medida a los 35 días después de la siembra.

CUADRO 3 Fuente y cantidad de nutriente por litro de la solución nutritiva, según Hoagland y Arnon.

Fuente del nutriente	Fórmula química	Cantidad (g/lit)	Concentración (ppm)
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0.54000	540.00
Fosfato diamónico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0.37000	370.00
Sulfato de calcio	$\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5.23000	5230.00
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.34000	2340.00
Acido Bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	0.00286	2.86
Cloruro de manganeso	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.00181	1.81
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.00008	0.08
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.00022	0.22
Sulfato de hierro	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Se aplicó 0.6 ml tres veces por semana.	

Fuente: Miller, E. V. Fisiología Vegetal, UTHEA, México, 1967.

CUADRO 4. Concentración de potasio en partes por millón y gramos por litro de solución.

ppm de potasio en solución nutritiva	g K/l en solución nutritiva
0.0	0.000
2.0	0.002
4.0	0.004
8.0	0.008
16.0	0.016
32.0	0.032
64.0	0.064
128.0	0.128
256.0	0.256
512.0	0.512
700.0	0.700
1024.0	1.024
2048.0	2.048
4096.0	4.096

### E. Análisis foliar.

Las muestras vegetales se secaron en horno de convección a 60-70°C por 48 horas, ya secas fueron molidas en un molino tipo Wiley y se pasaron por un tamiz de 20 mallas. Posteriormente se guardaron en bolsas plásticas selladas para evitar la humedad, después se realizó el análisis químico de digestión seca, de acuerdo a Díaz y Hunter (7).

La metodología de digestión seca fue la siguiente:

Se pesó 1.0 gramo de la muestra seca, molida y tamizada, se colocó en un crisol para su incineración dentro de una mufla por tres horas a 500-600 grados centígrados. Se recuperó con 25 ml de ácido clorhídrico 1.0 normal, de este filtrado se analizaron los elementos siguientes:

Fósforo, potasio, calcio y magnesio, como se muestra en el Cuadro 5.

CUADRO 5. Métodos para la determinación de fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Elemento determinado	Método	Referencia
Fósforo	Colorimétrico	Díaz y Hunter (1978)
Potasio	Espectrofotometría	Díaz y Hunter (1978)
Calcio	Espectrofotometría	Díaz y Hunter (1978)
Magnesio	Espectrofotometría	Díaz y Hunter (1978)

## VI. RESULTADOS

A continuación se discuten los resultados obtenidos de las características evaluadas.

A. Concentración de potasio en la hoja de trigo y porcentaje de rendimiento relativo de grano.

En el Cuadro 6, se detallan las concentraciones de potasio en el tejido foliar y los porcentajes de rendimiento relativo, a los 35 días después de la siembra.

CUADRO 6. Porcentaje de potasio y rendimiento relativo del grano de trigo a los 35 días después de la siembra.

Potasio aplicado en solución nutritiva ppm	Porcentaje de potasio en la hoja	Porcentaje de Rendimiento Relativo
0.0	1.373	20.41
2.0	1.601	23.07
4.0	1.699	29.62
8.0	1.895	41.19
16.0	1.862	46.70
32.0	2.156	65.35
64.0	2.548	83.58
128.0	3.463	96.12
256.0	4.704	100.00
512.0	3.920	91.46
700.0	4.802	89.70
1024.0	4.998	77.10
2048.0	5.488	69.47
4096.0	5.880	56.87

En el Cuadro anterior, se observa la influencia de la concentración de potasio sobre el rendimiento de grano seco de trigo, a medida que la concentración de potasio aumenta en el tejido foliar, el rendimiento también aumenta, hasta llegar al máximo (100o/o) y posteriormente empieza a decrecer por efectos de toxicidad.

B. Análisis estadístico

En el Cuadro 7, se observa el análisis de varianza del rendimiento en gramos de trigo por maceta, evaluado bajo diferentes concentraciones aplicadas en solución nutritiva y se concluye que, estas concentraciones de potasio aplicadas, influyen sobre el rendimiento.



CUADRO 7. Análisis de varianza de grano, expresado en gramos por maceta.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	F <sub>c</sub>	F <sub>t</sub>
Tratamientos	13	62.646	61.06	2.85 **
Error	28	1.025		
Total	41			

\*\* Significancia al 1o/o de probabilidad.

C. V. = 9.64

En el Cuadro 8, se puede observar la separación de medias por el estadístico de Tuckey.

Al realizar la separación de medias, se observa que los tratamientos con rendimientos por encima de 13.80 gramos por maceta, no presentan diferencia significativa al 0.05.

CUADRO 8. Efecto del porcentaje de potasio en el tejido foliar a los 35 días de crecimiento sobre el rendimiento promedio.

Porcentaje de potasio foliar	Media de rendimiento gramos/maceta
4.704	16.51
3.463	15.87
3.920	15.10
4.802	14.81
2.548	13.80
4.998	12.72
5.488	11.47
2.156	10.79
5.880	9.39
1.862	7.71
1.895	6.80
1.699	4.89
1.601	3.81
1.373	3.37
DSH 5o/o	3.03

Medias unidas por la misma línea no presentan diferencia significativa al 5o/o.

### C. Curva de concentración de potasio foliar en plantas de trigo.

En la figura 4, se puede observar la curva de concentración de potasio, a los 35 días de sembrado el trigo.

En esta curva se observan: Un rango de concentración deficiente, un rango de concentración adecuado, un rango de concentración tóxico y el rango crítico de concentración.

Las concentraciones de potasio a nivel de deficiencia, suficiencia, rango crítico y toxicidad en la planta de trigo, se muestran en el Cuadro 9.

CUADRO 9. Rangos de concentración de potasio en la hoja de trigo, a los 35 días de crecimiento.

Rango de rendimiento relativo	Estado nutricional de la planta	Rangos de concentración (o/o)
Menor de 80o/o	Deficiente	Menor de 2.73
80 a 90o/o	Rango crítico de concentración	2.74 a 3.13
90 a 100o/o	Suficiente	3.14 a 4.00
Menor de 100o/o	Tóxico	Mayor de 4.00

### D. Relación entre Ca, Mg, K/P, K/Ca, K/Mg y (Ca+Mg)/K y el rendimiento relativo.

En la figura 5, se observa el efecto del calcio en el rendimiento relativo del grano de trigo; la concentración encontrada en el máximo rendimiento relativo es de 0.63o/o a los 35 días de crecimiento, dicho valor se considera suficiente respecto al reportado por Ward (22).

En la figura 6, se observa el efecto del magnesio en el rendimiento relativo de grano de trigo; la concentración encontrada a los 35 días de crecimiento en el máximo rendimiento relativo, fue de 0.42o/o, valor adecuado, comparado con 0.15 a 0.50o/o, reportado por Ward (22).

En la figura 7, se puede observar la relación K/P en la hoja de trigo a los 35 días después de la siembra, cuyo valor en el máximo rendimiento fue de 13:1.

Se nota que al aumentar el valor de la relación K/P, se da un incremento en el rendimiento relativo en grano de trigo.

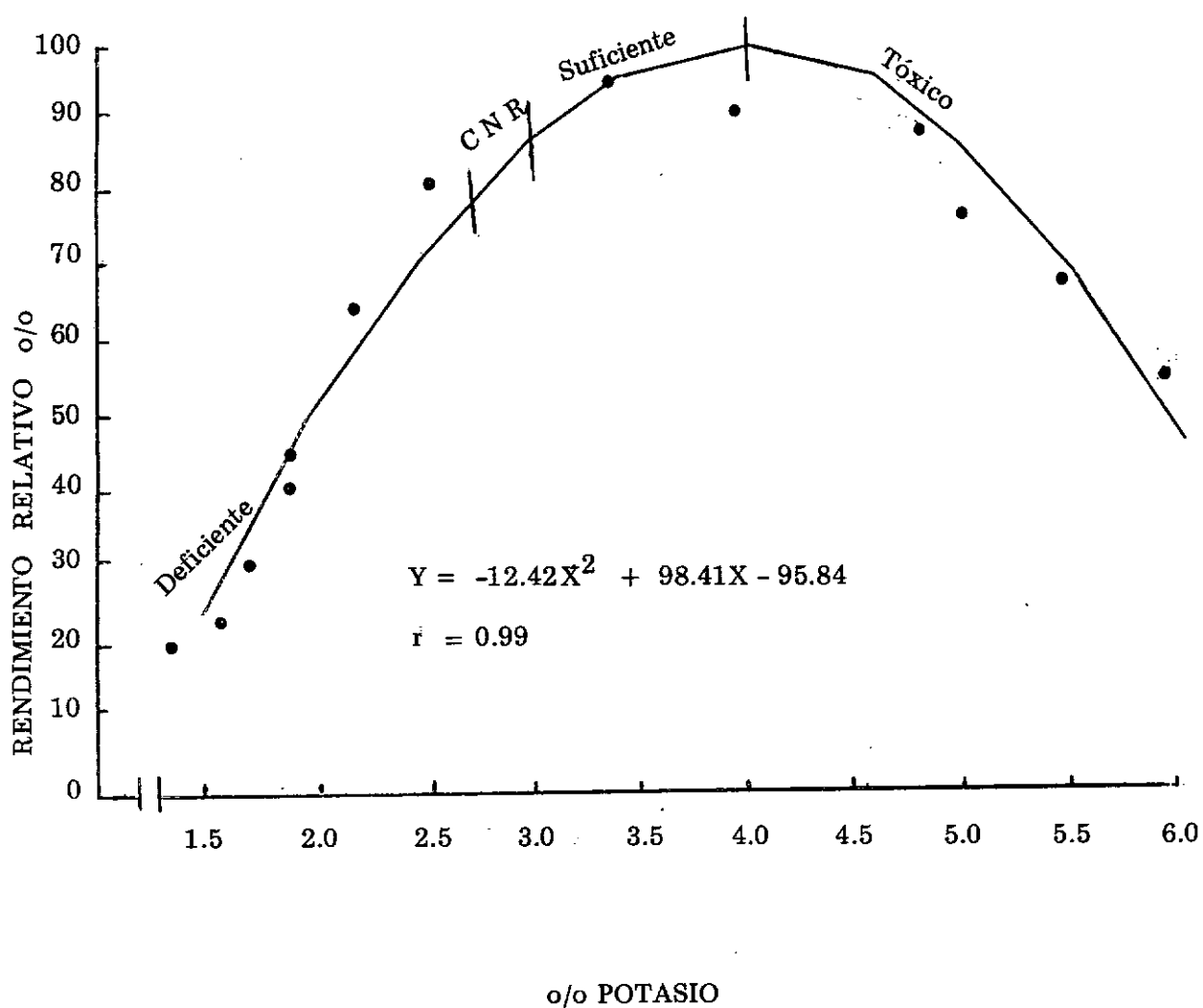


FIGURA 4. Relación entre la concentración de potasio en la hoja de trigo a los 35 días de crecimiento y el porcentaje de rendimiento relativo.

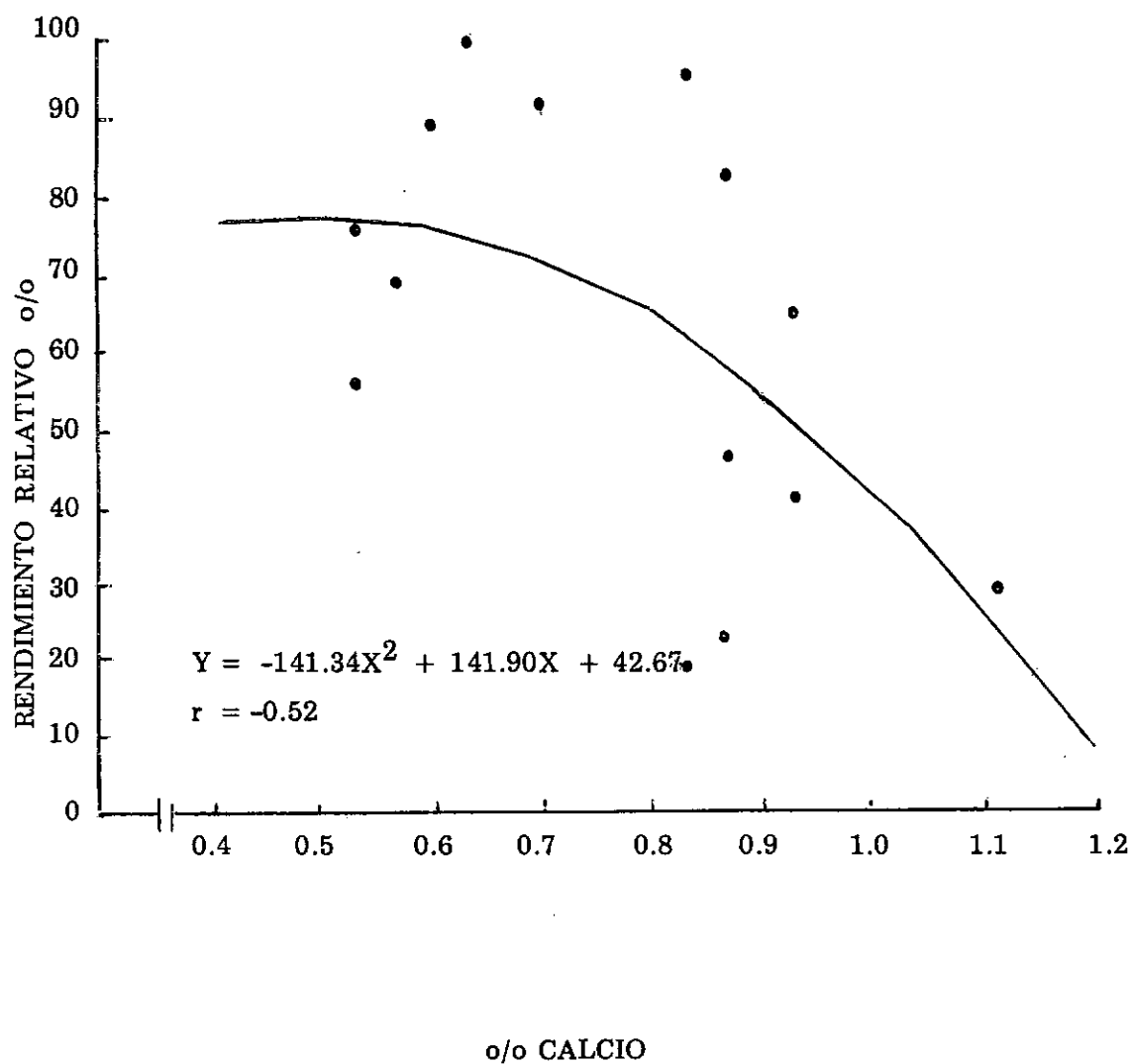


FIGURA 5. Relación entre la concentración de calcio en la hoja de trigo a los 35 días de crecimiento y el porcentaje de rendimiento relativo.

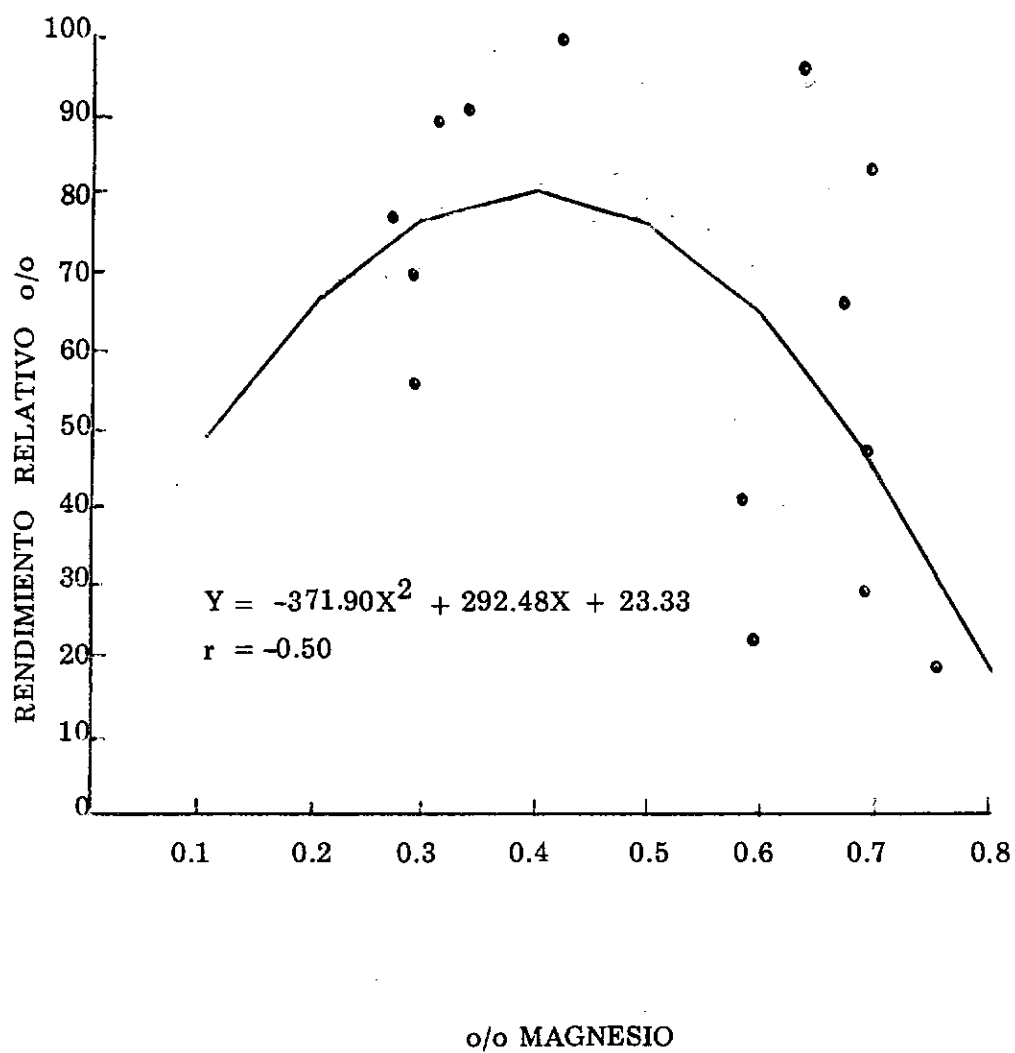


FIGURA 6. Relación entre la concentración de magnesio en la hoja de trigo a los 35 días de crecimiento y el porcentaje de rendimiento relativo.

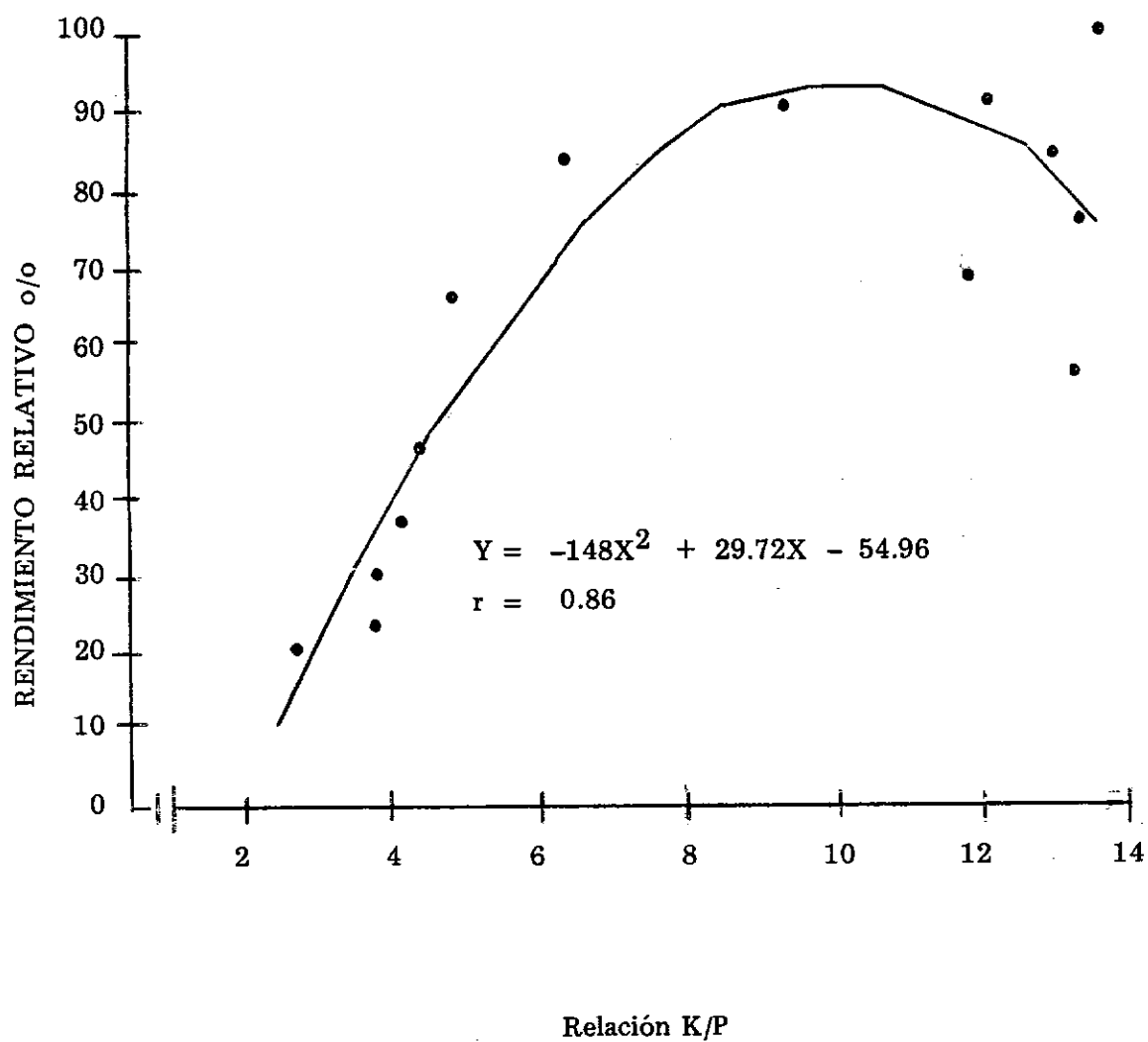


FIGURA 7. Relación entre K/P y el rendimiento relativo a los 35 días de crecimiento.

En la figura 8, se observa la relación K/Ca en la hoja de trigo a los 35 días después de la siembra y su influencia en el porcentaje de rendimiento relativo en grano. La relación que corresponde al máximo rendimiento relativo es de 7:1. Se nota que al aumentar la relación K/Ca, aumenta el rendimiento relativo de grano de trigo.

En la figura 9, se observa el efecto de la relación K/Mg en la hoja de trigo muestreada a los 35 días de crecimiento. Se nota que al aumentar el valor de la relación K/Mg, existe un incremento en el valor del rendimiento relativo. El valor de la relación encontrada al 100% de rendimiento relativo es de 11:1.

En la figura 10, se observa la influencia de la relación (Ca+Mg)/K en la hoja de trigo a los 35 días de crecimiento sobre el porcentaje de rendimiento relativo en grano de trigo. Se nota que es una relación decreciente, ya que al aumentar el valor de la relación (Ca+Mg)/K disminuyen los valores del rendimiento relativo; el valor encontrado en el máximo rendimiento relativo es de 0.22:1.

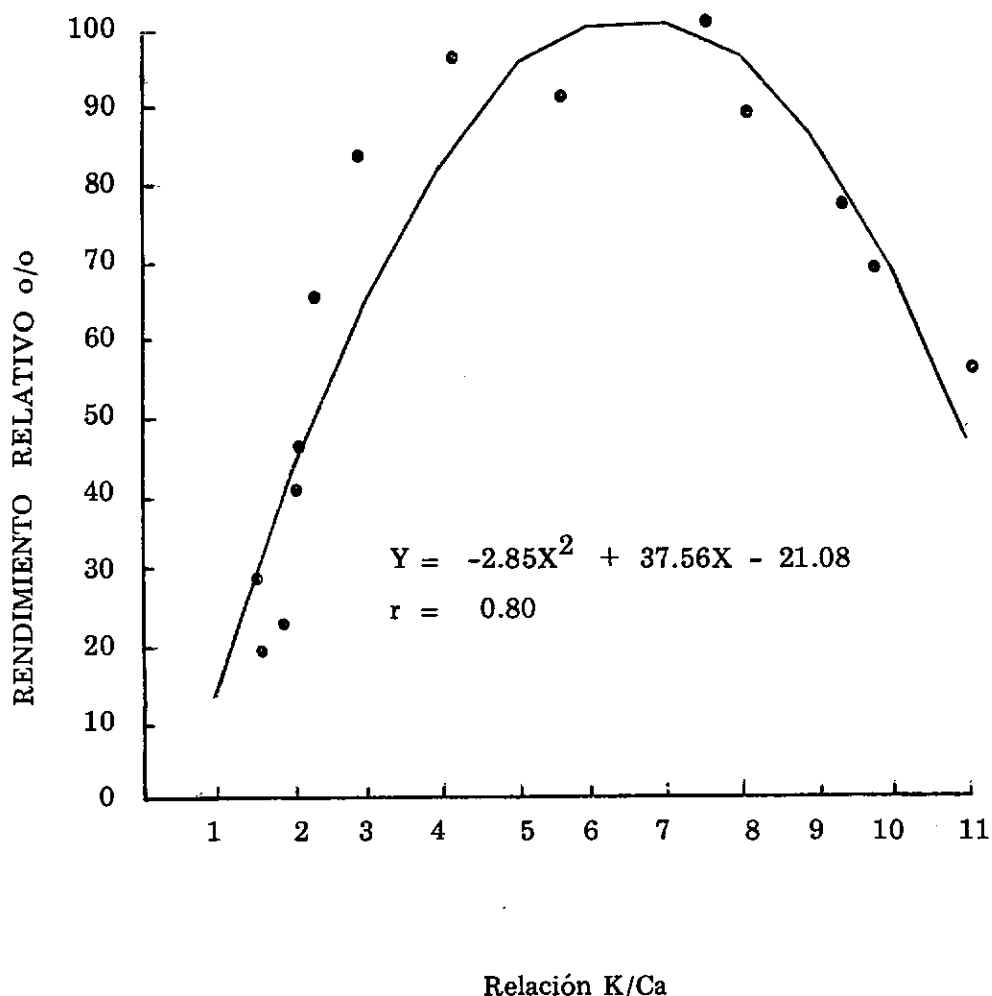


FIGURA 8. Relación entre K/Ca y el rendimiento relativo a los 35 días de crecimiento.

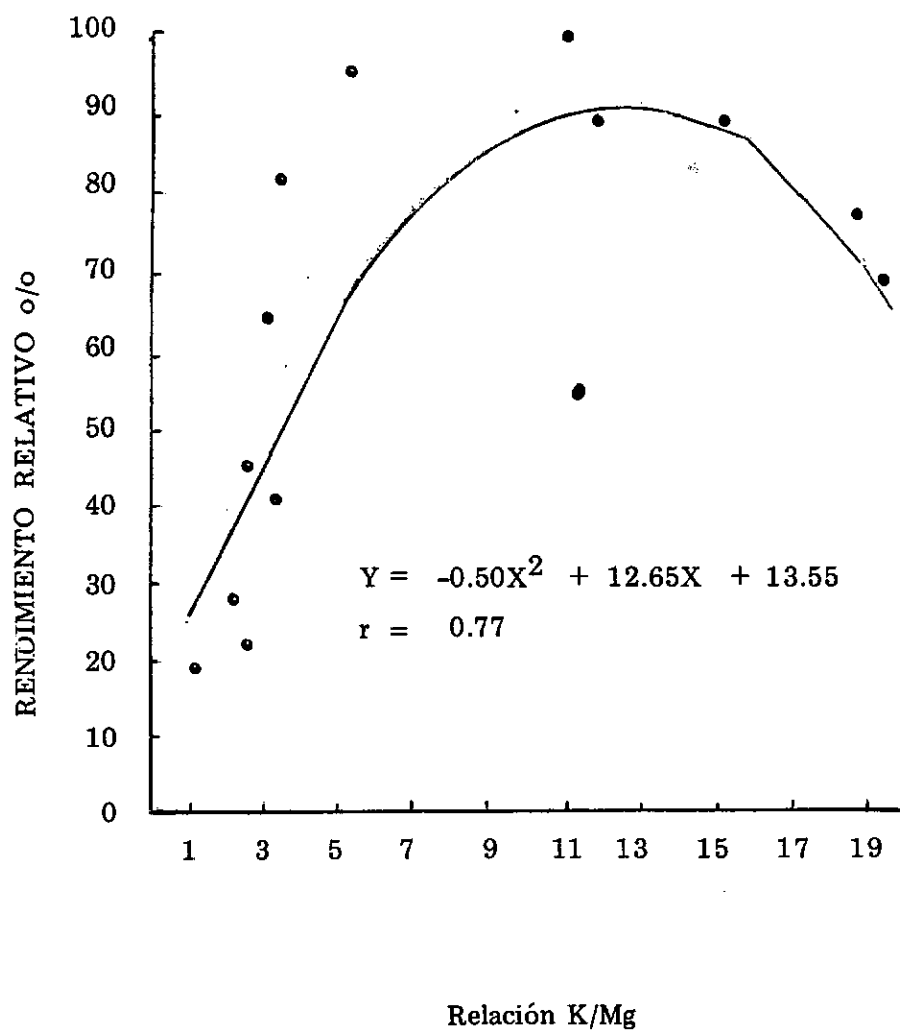


FIGURA 9. Relación entre K/Mg y el rendimiento relativo a los 35 días de crecimiento.



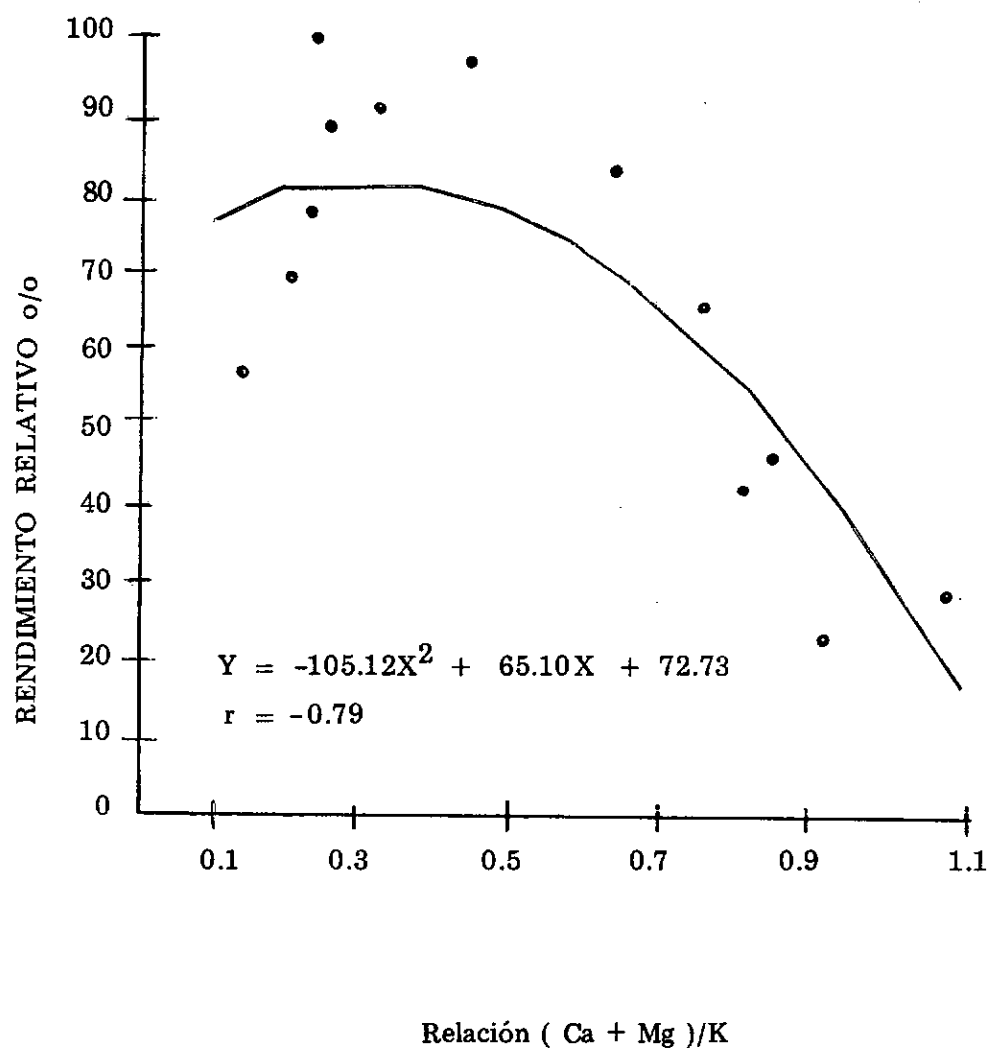


FIGURA 10. Relación entre (Ca+Mg)/K y el rendimiento relativo a los 35 días de crecimiento.

E. Influencia de la concentración de potasio en la altura de las plantas de trigo y en el rendimiento en gramos por maceta.

En la figura 11, se observa la influencia de la concentración de potasio en la planta a los 35 días de crecimiento sobre la altura de las plantas. La altura de las plantas aumenta progresivamente al incrementar la concentración de potasio, hasta alcanzar la altura máxima de 59.6 cm. con 5.4o/o de potasio foliar, notándose que cuando la concentración de potasio aumenta, la altura decrece por efectos tóxicos.

En la figura 12, se observa la influencia de la concentración de potasio sobre el rendimiento de trigo en gramos por maceta, se ajusta a un modelo cuadrático, a medida que aumenta la concentración de potasio, aumenta el rendimiento en grano de trigo por maceta.

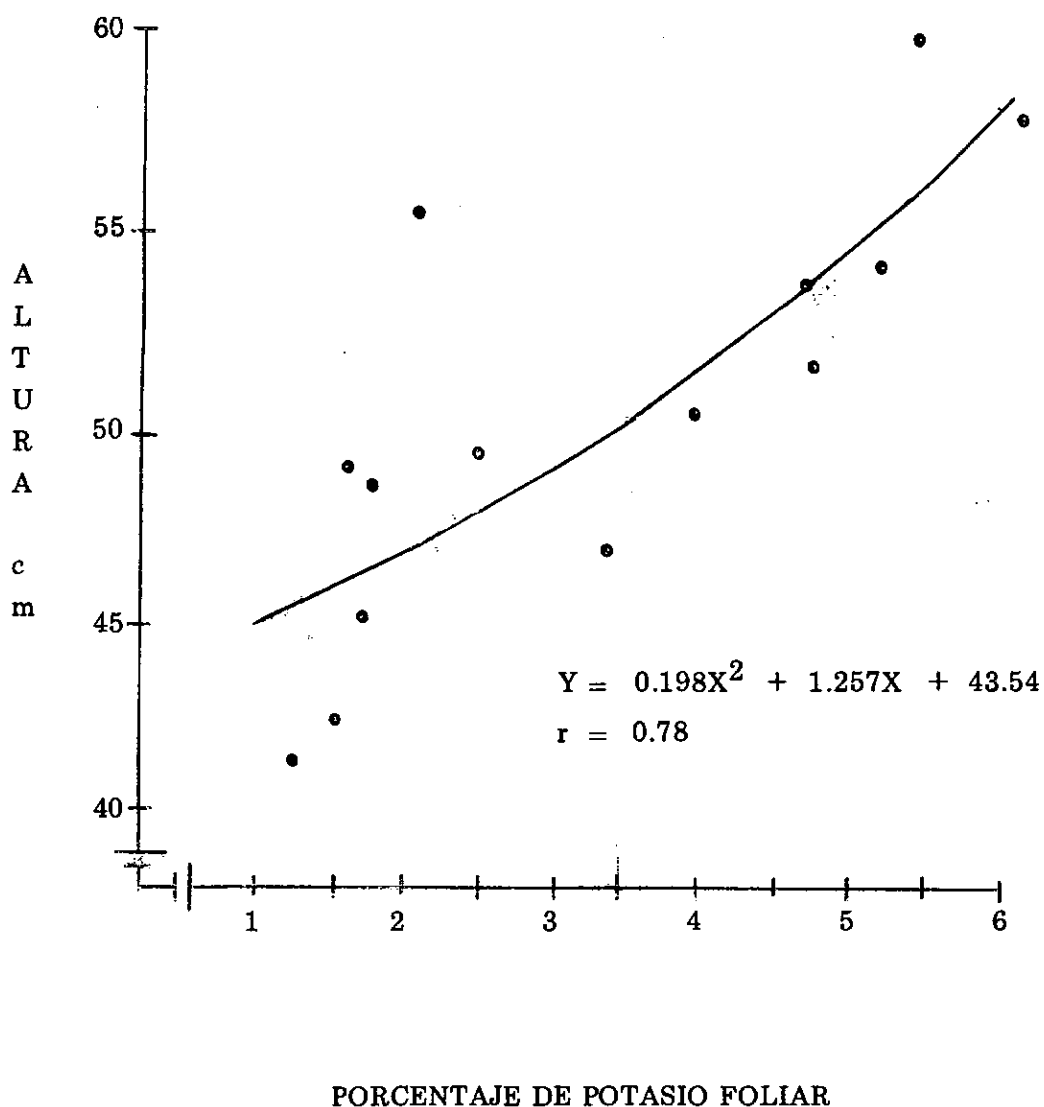
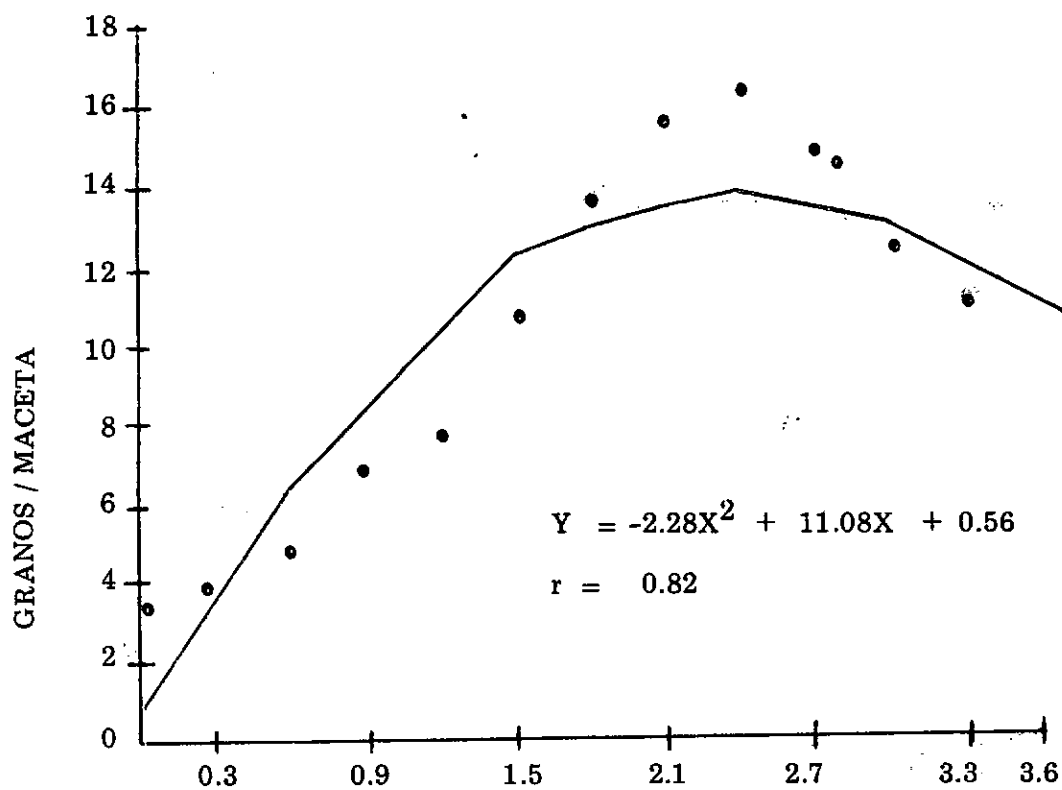


FIGURA 11 Relación entre la concentración de potasio en la hoja de trigo y la altura de plantas a los 35 días de crecimiento.



LOGARITMO DE LA CONCENTRACION DE POTASIO  
EN LA SOLUCION NUTRITIVA

FIGURA 12 Influencia de la concentración de potasio en el rendimiento en gramos por maceta de tratamiento.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las diferentes concentraciones de potasio, expresado en porcentaje en el tejido foliar hacen variar el rendimiento en grano seco de trigo, con lo que queda aceptada la hipótesis.

El rango crítico de concentración de potasio en plantas de trigo, encontrado bajo condiciones de invernadero a los 35 días de crecimiento es de 2.74 a 3.13o/o de potasio.

El rango de suficiencia de la concentración de potasio en plantas de trigo, bajo condiciones de invernadero a los 35 días de crecimiento es de 3.14 a 4.00o/o de potasio.

El potasio influye en el crecimiento de las plantas de trigo, al incrementar la concentración, aumenta la altura de las plantas, hasta llegar a una altura máxima de 59.6 centímetros con una concentración de 5.4o/o de potasio foliar.

El calcio y el magnesio, manifestaron un efecto antagónico con el potasio ya que al aumentar la concentración de potasio, disminuye la concentración de los cationes bivalentes  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  en la planta, por el efecto de Viets, los que presentaron valores de 0.63 y 0.42o/o respectivamente, a los 35 días de crecimiento.

Las relaciones K/P, K/Ca, K/Mg y (Ca+Mg)/K, presentaron a los 35 días de crecimiento, los siguientes valores al 100o/o de rendimiento relativo: K/P, 13:1; K/Ca, 7:1; K/Mg, 11:1 y (Ca+Mg)/K, 0.22:1.

En base a los resultados obtenidos, se recomienda utilizar el rango crítico de concentración de potasio en el tejido foliar de 2.73 a 3.13o/o, para recomendación de fertilizante.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, C. A. Relaciones suelo planta. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1975. v. 2 886 p.
2. BRAEUNER, M. E. Cuaderno de prácticas de laboratorio de edafología II. Reproducido y modificado por Salvador Castillo. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, s. f. 27 p.
3. BRENES GOMEZ, R. Respuesta del Pasto Estrella (Cynodon nlemfuensis) a la fertilización con potasio y azufre. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1973. 62 p.
4. BUCKMAN, H. y BRADY, J. Naturaleza y propiedades de los suelos. México, UTHEA, 1966. 590 p.
5. CORRIOLS ESPINOSA, M. A. Análisis de la planta como guía de la fertilización nitrogenada del frijol (Phaseolus vulgaris). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. 83 p.
6. DEVLIN, R. M. Fisiología vegetal. Barcelona, Omega, 1975. 468 p.
7. DIAZ, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos; análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones de invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 68 p.
8. DOW, A. I. and ROBERTS, S. Critical nutrient for crops diagnosis. *Agronomy Journal*, 74(2):401-403. 1982.
9. FRANCO, M. A. Efecto de las interacciones de los elementos N, P, K y S, sobre el rendimiento y el contenido de proteína en el grano de trigo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1972. 52 p.
10. GARCIA CARIELLO, A. Respuesta a la fertilización con fósforo y potasio en algunos suelos cañeros. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1973. 66 p.
11. GUATEMALA. GREMIAL NACIONAL DE TRIGUEROS. El cultivo de trigo para el altiplano central. Información técnica. Quetzaltenango, Guatemala, 1983. 10 p.
12. HAMMES, K. S. Experience with plant analysis in vegetable crops production. In Proceedings from a symposium on plant analysis. Frances Greer, Research & Develop Division, 1969. pp. 114-127.

13. HOWELER, R. Análisis foliar de algunos cultivos tropicales. Cali, Colombia, CIAT, 1974. 20 p.
14. JACKSON, M. Soil chemical analysis. New Jersey, Prentice Hall, 1958. 498 p.
15. LOPEZ DE LEON, E. E. Respuesta del trigo a la fertilización con NPK y Mg en los suelos Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1974. 43 p.
16. MILLER, E. V. Fisiología vegetal. México, UTHERA, 1967. 344 p.
17. ORTIZ MAYEN, O. Manual de suelos y fertilización del café. Asociación Nacional del Café. Guatemala, Boletín No. 12, 1973. 89 p.
18. REYES CASTAÑEDA, P. Diseños experimentales agrícolas. México, Trillas, 1978. 344 p.
19. ROO MAITIN, E. El Análisis de la planta como guía de la fertilización potásica del frijol (*Phaseolus vulgaris*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 49 p.
20. SALINAS, J. G. El potasio en la fertilización de suelos tropicales. Cali, Colombia, CIAT, 1981. 34 p.
21. SANDOVAL, J. L. El nivel crítico del nitrógeno en el maíz (*Zea mays*). Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 1971. 71 p.
22. WARD, R. C., WHITNEY, D. A. & WESTFALL, D. G. Plant analysis: small grains. In Soil testing and plant analysis. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1973. pp. 329-348.



*V. G. Ramirez*

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DEL ANALISIS FOLIAR A LOS 35 DIAS  
DE SEMBRADO EL TRIGO.

ppm K	o/o K	o/oP	o/oCa	o/oMg	K/P	K/Ca	K/Mg	(Ca+Mg)/K
0	1.373	0.48	0.83	0.75	2.8:1	1.6:1	1:8:1	1:15:1
2	1.601	0.41	0.87	0.59	3.8:1	1.8:1	2.7:1	0.91:1
4	1.699	0.43	1.13	0.69	3.9:1	1.5:1	2.4:1	1.07:1
8	1.895	0.44	0.93	0.58	4.2:1	2.0:1	3.2:1	0.79:1
16	1.862	0.41	0.87	0.69	4.4:1	2.1:1	2.7:1	0.83:1
32	2.156	0.43	0.93	0.67	4.9:1	2.3:1	3.2:1	0.74:1
64	2.548	0.40	0.87	0.69	6:3:1	2.9:1	3:6:1	0.61:1
128	3.463	0.37	0.83	0.63	9.3:1	4.1:1	5.5:1	0.42:1
256	4.704	0.34	0.63	0.42	13.5:1	7.4:1	11.2:1	0.22:1
512	3.920	0.32	0.70	0.33	12.0:1	5.6:1	12.0:1	0.26:1
700	4.802	0.37	0.60	0.32	12.9:1	8.0:1	15.3:1	0.19:1
1024	4.998	0.37	0.53	0.27	13.3:1	9.3:1	18.8:1	0.16:1
2048	5.588	0.46	0.57	0.28	11.7:1	9.7:1	19.6:1	0.15:1
4096	5.880	0.44	0.53	0.29	13.1:1	11.0:1	11.3:1	0.13:1



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia .....
Asunto .....
.....

"IMPRIMASE"



ING. AGR. CESAR A. CASTAÑEDA S.  
D E C A N O