

D. L.
01
T(513)
C. 3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

EFFECTO DE NIVELES DE SODIO Y CALCIO EN LA SOLUCION
NUTRITIVA SOBRE EL DESARROLLO DE SORGO
(*Sorghum vulgare* L.), FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)
Y TOMATE (*Lycopersicon esculentum* M.).



INGENIERO AGRONOMO

En el Grado Académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Enero de 1984

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

DR. EDUARDO MEYER MALDONADO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. César A. Castañeda S.
Vocal 1o.:	Ing. Agr. Oscar René Leiva R.
Vocal 2o.:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
Vocal 3o.:	Ing. Agr. Rolando Lara A.
Vocal 4o.:	Prof. Heber Arana
Vocal 5o.:	Prof. Francisco Muñoz.

SECRETARIO:	Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez P.
-------------	--------------------------------

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Dr. Antonio A. Sandoval S.
Examinador:	Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
Examinador:	Ing. Agr. René Molina S.
Examinador:	Ing. Agr. Manuel Martínez.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Carlos R. Fernández P.



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

21 de octubre de 1983.

Ing. Agr. César A. Castañeda.
Decano de la
Facultad de Agronomía.

Señor Decano:

En base al nombramiento que emitiera para asesorar al estudiante Carlos Enrique Sosa Castillo, carnet No.78-04493, en su trabajo de tesis: "EFECTO DE NIVELES DE SODIO Y CALCIO EN LA SOLUCION NUTRITIVA, SOBRE EL DESARROLLO DE SORGO, FRIJOL Y TOMATE".

Comunicamos a Ud. que hemos asesorado el trabajo de investigación y revisado el documento final, encontrándolo satisfactorio, por lo cual sugerimos su aceptación para discutirse en el Examen General Público que el estudiante Sosa Castillo deberá sustentar.

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. José J. Chonay P.
Asesor.

Ing. Agr. Hugo A. Tobías V.
Asesor.

JJCP/jjs.

Guatemala,
noviembre de 1,983.

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 su consideración el trabajo de tesis titulado:

EFFECTO DE NIVELES DE SODIO Y CALCIO EN LA SOLUCION NUTRI-
TIVA, SOBRE EL DESARROLLO DE SORGO, FRIJOL Y TOMATE.

Como requisito previo para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando sea aceptado, me suscribo de ustedes respetuosamente.

P.A. Carlos Enrique Sosa Castillo

ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

A MIS PADRES: Pedro Sosa
 Esther Castillo de Sosa

A MIS HERMANOS: Irma, Gloria, Sergio, Homero
 Baldemar y Saúl.

A MIS TIOS: Especialmente a
 Reynaldo Castillo H.

A LA FAMILIA: Alegría Méndez

A MIS AMIGOS:

TESIS QUE DEDICO

A: GUATEMALA

A: HUEHUETENANGO

A: LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA.

A: LA FACULTAD DE AGRONOMIA

A G R A D E C I M I E N T O S

- A: Mis padres, por su inquebrantable apoyo para obtener este triunfo, que sea para ellos el mejor reconocimiento a sus constantes esfuerzos.
- A: Mis asesores Ings. Agrs. José Jesús Chonay y Hugo Antonio Tobías, por la dirección técnica y revisión del presente trabajo.
- A: La señorita Evelyn Toasperm por su valiosa contribución en la realización de la presente tesis en la transcripción mecanográfica.
- A: Todas las personas que siguieron detenidamente el desarrollo del presente estudio, prestando - su desinteresada colaboración.

	<u>INDICE DE CONTENIDO</u>	<u>Pag.</u>
	INDICE DE CUADROS-----	i
	INDICE DE GRAFICAS-----	v
	RESUMEN-----	vii
I)	INTRODUCCION-----	1
II)	REVISION DE LITERATURA-----	2
	A) Características de los suelos salinos-----	2
	B) Respuesta de los cultivos en suelos salinos	2
	C) Tolerancia relativa de los cultivos a las sa- les y elementos tóxicos.-----	3
	1.- Sodio intercambiable-----	4
	2.- Calcio-----	4
	D) Mecanismos mediante los cuales las plantas toleran altas concentraciones de sales----	6
	E) Factores que modifican la tolerancia de los cultivos a las sales.-----	6
	F) Respuesta de varios cultivos a las sales----	7
	1.- Respuesta del frijol a las sales y el so- dio.-----	7
	2.- Efecto de carbonato y silicato de calcio en sorgo-----	7
	3.- Respuesta del tomate al calcio-----	7
	4.- Interacciones de sales y fertilizantes - en cebada-----	8
III)	OBJETIVO-----	9
IV)	HIPOTESIS-----	9
V)	Materiales y metodología-----	10
	A) Localización del área experimental-----	10
	1.- Ubicación-----	10

	<u>Pag.</u>
B) Niveles de los factores evaluados-----	10
C) Características medidas-----	11
Tiempo de germinación-----	11
Biomasa expresada en g/maceta-----	11
Análisis de N, P, K, Ca, Mg, Na-----	11
Altura de plantas-----	11
Longitud radicular-----	11
D) Solución nutritiva-----	11
E) Análisis estadístico-----	12
F) Análisis de datos-----	13
G) Manejo del experimento-----	13
1.- Siembra-----	13
2.- Cantidad de plantas/maceta-----	13
3.- Lavados-----	13
4.- Fertilización-----	13
5.- Cortes-----	13
VI) RESULTADOS Y DISCUSION-----	14
A) Cuadros y Gráficas correspondientes a Sor- go-----	15
B) Cuadros y Gráficas correspondientes a Fri- jol.-----	25
C) Cuadros y Gráficas correspondientes a To- mate-----	39
VII) CONCLUSIONES-----	57
VIII) BIBLIOGRAFIA-----	59

	<u>INDICE DE CUADROS</u>	<u>Pag.</u>
CUADRO No. 1	Características químicas de los suelos salinos y sódicos-----	2
CUADRO No. 2	Clasificación de los cultivos de acuerdo con la resistencia a la salinidad-----	5
CUADRO No. 3	Tolerancia relativa de los cultivos a las sales-----	5
CUADRO No. 4	Niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva-----	10
CUADRO No. 5	Fuente de nutrimentos de la solución nutritiva-----	12
CUADRO No. 6	Tiempo de germinación después de la siembra-----	14
CUADRO No. 7	Análisis de varianza para altura de plantas de sorgo-----	15
CUADRO No. 8	Altura media de plantas de sorgo por efecto de niveles de calcio-----	15
CUADRO No. 9	Altura media de plantas de sorgo por efecto de niveles de sodio-----	16
CUADRO No. 10	Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la altura de plantas de sorgo-----	16
CUADRO No. 11	Análisis de varianza para peso seco de sorgo-----	17
CUADRO No. 12	Peso seco medio de plantas de sorgo por efecto de niveles de calcio-----	17
CUADRO No. 13	Peso seco medio de plantas de sorgo por efecto de niveles de sodio-----	18
CUADRO No. 14	Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco de plantas de sorgo----	18
CUADRO No. 15	Análisis de varianza para altura de plantas de frijol-----	25

	<u>Pag.</u>
CUADRO No.16 Altura media de plantas de frijol por efecto de niveles de calcio-----	25
CUADRO No.17 Altura media de plantas de frijol por efecto de niveles de sodio-----	26
CUADRO No.18 Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la altura de plantas de frijol-	26
CUADRO No.19 Análisis de varianza para peso seco de frijol (g/planta)-----	27
CUADRO No.20 Peso seco medio de plantas de frijol por efecto de niveles de calcio-----	27
CUADRO No.21 Peso seco medio de plantas de frijol por efecto de niveles de sodio-----	28
CUADRO No.22 Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco de frijol-----	28
CUADRO No.23 Análisis de varianza para peso seco radicular de frijol (g/planta)-----	29
CUADRO No.24 Peso seco medio radicular de plantas de frijol por efecto de niveles de calcio--	29
CUADRO No.25 Peso seco medio radicular de plantas de frijol por efecto de niveles de sodio---	30
CUADRO No.26 Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco radicular de frijol	30
CUADRO No.27 Análisis de varianza para longitud radicular de frijol-----	31
CUADRO No.28 Longitud radicular media de plantas de frijol por efecto de niveles de calcio--	31
CUADRO No.29 Longitud radicular media de plantas de frijol por efecto de niveles de sodio---	32
CUADRO No.30 Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la longitud radicular de frijol	32

CUADRO No. 31	Análisis de varianza para altura de plantas de tomate-----	39
CUADRO No. 32	Altura media de plantas de tomate por efecto de niveles de calcio-----	39
CUADRO No. 33	Altura media de plantas de tomate por efecto de niveles de sodio-----	40
CUADRO No. 34	Efecto de la interacción de sodio y - calcio sobre la altura de tomate-----	40
CUADRO No. 35	Análisis de varianza para peso seco de tomate (g/planta)-----	41
CUADRO No. 36	Peso seco medio de plantas de tomate por efecto de niveles de calcio-----	41
CUADRO No. 37	Peso seco medio de plantas de tomate por efecto de niveles de sodio-----	42
CUADRO No. 38	Efecto de la interacción de sodio y - calcio sobre el peso seco de tomate--	42
CUADRO No. 39	Análisis de varianza para peso seco radicular de tomate (g/planta)-----	43
CUADRO No. 40	Peso seco radicular medio de plantas - de tomate por efecto de niveles de calcio-----	43
CUADRO No. 41	Peso seco radicular medio de plantas - de tomate por efecto de niveles de sodio-----	44
CUADRO No. 42	Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco radicular de tomate-----	44
CUADRO No. 43	Análisis de varianza para longitud radicular de tomate-----	45
CUADRO No. 44	Longitud radicular media de plantas de tomate por efecto de niveles de calcio	45

CUADRO No. 45	Longitud radicular media de plantas de tomate por efecto de niveles de sodio-----	46
CUADRO No. 46	Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la longitud radicular de tomate-----	46

INDICE DE GRAFICAS

Pag.

GRAFICA No. 1	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de nitrógeno - en el tejido foliar de sorgo-----	19
GRAFICA No. 2	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de sorgo-----	20
GRAFICA No. 3	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de sorgo-----	21
GRAFICA No. 4	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de sorgo-----	22
GRAFICA No. 5	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de sorgo-----	23
GRAFICA No. 6	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de sodio en el; tejido foliar de sorgo-----	24
GRAFICA No. 7	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de nitrógeno en el tejido foliar de frijol-----	33
GRAFICA No. 8	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de frijol-----	34
GRAFICA No.9	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de frijol-----	35
GRAFICA No.10	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de frijol-----	36
GRAFICA No. 11	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de frijol-----	37

GRAFICA No. 12	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de sodio en el tejido foliar de frijol-----	38
GRAFICA No. 13	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de nitrógeno en el tejido foliar de tomate-----	47
GRAFICA No. 14	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de tomate-----	48
GRAFICA No. 15	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de tomate-----	49
GRAFICA No. 16	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de tomate-----	50
GRAFICA No. 17	Efecto de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de tomate-----	51
GRAFICA No. 18	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de sodio en el tejido foliar de tomate-----	52
GRAFICA No. 19	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la altura de sorgo, frijol y tomate-----	53
GRAFICA No. 20	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva con presencia de calcio sobre la altura de sorgo, frijol y tomate-----	54
GRAFICA No. 21	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre el peso seco de sorgo, frijol y tomate-----	55
GRAFICA No. 22	Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva con presencia de calcio sobre el peso seco de sorgo, frijol y tomate-----	56

" R E S U M E N "

Los suelos salinos y sódicos presentan problemas debido a la acumulación de sales solubles, o a la excesiva presencia de sodio intercambiable. Para reducir los efectos de estos problemas, se recomienda la eliminación de las sales mediante lavados periódicos de suelo, o el establecimiento de cultivos tolerantes que puedan producir en forma económica.

Con el presente trabajo se pretendió evaluar la tolerancia de Sorgo, Frijol y Tomate sometidos a diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva, estos cultivos son frecuentes dentro de las áreas semiáridas del país.

La presente investigación se realizó en el invernadero de la Facultad de Agronomía, localizada a 1500 metros sobre el nivel del mar. Durante el período en que se desarrolló la investigación la temperatura media dentro del invernadero fue de 29.2°C. Y la humedad media de 63.5%.

Para dar respuesta al objetivo e hipótesis planteados, se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar y el diseño de tratamientos un factorial de seis por dos, que consiste en seis niveles de sodio y dos niveles de calcio. La unidad experimental consistió en una maceta plástica de un litro y medio de capacidad y el sustrato utilizado fue de arena pómez tamizada.

Las características medidas fueron: tiempo de germinación (días después de la siembra), biomasa (g/planta), análisis de concentración de nutrimentos en la planta (%), altura de planta (cm) y longitud radicular (cm).

Los resultados relevantes indican que cuando se adicionan 10 meq de Na/100 ml en la solución nutritiva sin presencia de calcio, las plantas en los tres cultivos germinan, pero no completan su ciclo vegetativo. Mientras que la presencia de 8 meq de Ca/100 ml en la solución y 10 meq de Na/100 ml de solución, las plantas tienen poco desarrollo. Por lo tanto, se observa el efecto que ejerce el calcio sobre la tolerancia al sodio en la solución nutritiva.

Respecto al rendimiento en biomasa (g/planta), se determinó que los mayores promedios en los tres cultivos se obtuvieron con los niveles que contienen de 0 a 3 meq de Na/100 ml en la solución nutritiva con o sin la presencia de calcio. Con más de 3 meq de Na/100 ml en la solución nutritiva, el rendimiento en biomasa tiende a disminuir para los tres cultivos, pero se obtienen rendimientos mayores con la presencia de 8 meq de Ca/100 ml en la solución nutritiva.

El análisis de concentración de nutrimentos en la planta (%), en los tres cultivos tienen un comportamiento similar, respecto al K, Ca, Mg; con la presencia de calcio tienden a incrementar su concentración para los diferentes niveles de sodio evaluados; pero al analizar el sodio en los tres cultivos, se observó que el calcio influye en la disminución de la concentración de sodio en el tejido foliar.

La altura de planta, en los tres cultivos evaluados tiene un comportamiento similar al observado en rendimiento de biomasa.

1) INTRODUCCION

Uno de los problemas que pueden presentarse en los suelos son: a) acumulación de sales solubles; b) El exceso de sodio intercambiable o c) Ambos casos a la vez. En suelos explotados bajo condiciones de riego, la salinidad es una amenaza constante a la producción, especialmente cuando las condiciones climáticas y morfológicas del suelo la estimulan, asociadas con el manejo y el uso del agua y suelo.

Las regiones en donde el problema de salinidad se hace notorio, están localizadas en zonas áridas y semiáridas, sujetas a intensa evaporación. - Formadas por suelos aluviales, lo cual les hace fácilmente sujetables a irrigación o sufren directamente los efectos de acumulaciones cercanas de agua salina.

Varios países de América Tropical, dentro de ellos Guatemala, afrontan en la actualidad procesos progresivos de salinización, lo cual implica que - deberán establecerse programas tendientes tanto al control y prevención del problema, como a búsqueda y selección de cultivos tolerantes a las sales.

Para mantener la productividad de los suelos que contienen sales, existen dos alternativas: a) Eliminar las sales mediante un lavado de suelo, b) Establecer cultivos que mediante ciertas prácticas de manejo sean capaces de desarrollarse bajo condiciones de salinidad y producir rendimientos económicos.

En el presente trabajo de investigación se pretende evaluar el crecimiento de Sorgo, Frijol y Tomate a diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva.

II) REVISION DE LITERATURA

A) Características de los suelos salinos:

Los suelos salinos contienen sales solubles en cantidades que interfieren en el crecimiento de las plantas; siendo la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación mayor de cuatro mmhos/cm y el % de sodio intercambiable (PSI) mayor de 15, el pH del suelo saturado menor de 8.5, dichos suelos corresponden al "alcali blanco" o al "solonchak" (4). En el cuadro No. 1 se observan las propiedades químicas de los suelos salinos y sódicos.

CUADRO No. 1. Características químicas de los suelos salinos y sódicos.

	C.E.*	PSI**	pH
Suelo normal	- de 4	- de 15	- 8.5 generalmente
Suelo Salino	+ de 4	- de 15	+ de 8.5 pueden ser mayor en suelos calcáreos.
Suelo Salino - Sódico	+ de 4	+ de 15	+ de 8.5 casi siempre mayor de 7.5
Suelo Sódico	- de 4	+ de 15	De 8.5 a 10.

* Conductividad eléctrica expresada en mmhos/cm.

** Por ciento de sodio intercambiable.

FUENTE: IICA. Simposio sobre salinidad. Dirección Regional para la Zona Andina (9).

B) Respuesta de los cultivos en suelos salinos:

Cuando los cultivos se desarrollan en suelos salinos, las plantas usualmente presentan poco desarrollo con una variabilidad considerable en su tamaño y el color del follaje (12).

Debe tenerse cuidado para evitar la confusión de sintomatología entre los efectos causados por la baja fertilidad de los suelos y los causados por exceso de sales. Las plantas de bajo porte debido a la baja fertilidad, son de color verde-amarillentas, mientras que las de bajo porte por exceso de sales son de color verde-azulado (12).

El exceso de sales provoca: a) acumulación de iones tóxicos en los tejidos; b) incremento de la presión osmótica de la solución del suelo y c) alteraciones en la nutrición mineral de las plantas. (4).

Colmenares (4), señala que los suelos salinos son fisiológicamente secos - por las siguientes razones:

- a) La concentración osmótica de las sales incrementa el potencial negativo - del agua, en tal forma que las raíces deben tomar agua contra una gradiente disminuida.
- b) Los niveles de concentración de las sales que toleran las plantas varían - con la especie notablemente.

Varios investigadores citados por Colmenares (4), han demostrado que las - raíces se desarrollan menos en suelos salinos que en normales y que a medida - que el suelo se torna más salino, se observan pronunciados enanismos y un marcado descenso en los rendimientos. También señalan que a menor salinidad hay mayor pérdida de agua por las plantas, además mencionan que el concepto límite de tolerancia para cualquier planta parece ser un concepto intangible, ya - que la muerte tiene lugar lentamente sobre un rango de concentraciones, pero - en días cálidos las plantas pueden morir rápidamente.

C) Tolerancia relativa de los cultivos a las sales y elementos tóxicos.

La tolerancia de un cultivo a las sales, es la capacidad que tiene de desarrollarse bajo condiciones de salinidad, sin que afecte su división celular y la - plasticidad de las paredes celulares, a un grado tal que sus rendimientos sean - antieconómicos. (1).

Richards L. (12), menciona que la tolerancia de los cultivos a las sales, se puede evaluar de acuerdo a los siguientes criterios:

- 1) La capacidad del cultivo para sobrevivir en suelos salinos,
- 2) Rendimiento absoluto del cultivo en suelos salinos,
- 3) Rendimiento relativo del cultivo en suelos salinos, en comparación con el - correspondiente a un suelo no salino bajo condiciones similares.

Aún cuando se conoce que el segundo criterio es el de mayor importancia - agronómica, el tercero es el que se usó para la formulación de las listas de tolerancia, ya que proporciona una mayor base de comparación entre los diversos - cultivos. (12).

Es importante recordar que las condiciones climáticas influyen mucho en la reacción de las plantas a la salinidad. La selección de la variedad de una cosecha que puede tolerar en el campo distintas variaciones de salinidad; depende por lo tanto, de los factores locales del clima y de las condiciones que afectan el crecimiento. (2)

Las principales características de las plantas tolerantes a la salinidad, se evalúan a partir de:

- a. La relación parte aérea/raíces es baja como resultado, la capacidad de absorción de agua es satisfactoria con relación a la capacidad de transpiración.
- b. Una gran sensibilidad de los estomas que les permite abrirse rápidamente temprano por la mañana y cerrarse rápidamente cuando se presenta una presión hídrica en la planta, y
- c. Una gran resistencia del protoplasma a las altas concentraciones de sales necesarias para mantener la turgidez.

1.- Sodio Intercambiable:

Se han reportado datos sobre la tolerancia de los cultivos al sodio intercambiable y en forma directa, pero el sodio intercambiable no produce ningún efecto sobre las plantas, ya que éstas sólo responden a los iones que se encuentran en forma absorbida y en el complejo de intercambio del suelo. (1)

Los efectos indirectos del sodio sobre las plantas se presentan cuando éste se encuentra en el suelo y él forma intercambio en % asociados con el deterioro de las características físicas del suelo. Estos efectos se deben a que cuando en un suelo se rebasa un límite de sodio intercambiable, el suelo se vuelve impermeable al aire y al agua, se incrementa el pH de la solución a niveles tales que se tienen problemas de nutrición para las plantas. (1)

2.- Calcio:

Tobías citado por Polanco (11), indica que en cantidades deficientes de este elemento, el crecimiento de muchas plantas se ve retardado posiblemente a consecuencia de la alteración que sufren los procesos de absorción y utilización del Nitrógeno. El síntoma de deficiencia, cuando este elemento se encuentra bajo en el suelo, la planta lo muestra por medio de una condición clorótica en las hojas jóvenes, las hojas de mayor edad se vuelven quebradizas y hay tendencia a la muerte de raíces.

Perdomo citado por Galicia E. (7), indica que el calcio es un ión relativamente inmóvil, que se encuentra en cantidades mayores en los tejidos más viejos

de las plantas; por lo consiguiente, la deficiencia se muestra primero en las partes de mayor actividad metabólica.

Con respecto a la interacción K/Ca Bonnet (2), dice que cuando en un suelo con relación K/Ca es mayor de 2, la absorción de K por las raíces es normal y ligeramente influenciadas por las variaciones en la concentración de calcio. La absorción se reduce si la relación de K/Ca es menor de 2, debido al efecto viets.

CUADRO No. 2. Clasificación de los cultivos de acuerdo con la resistencia a la salinidad.

0-2	mmhos/cm	= Salinidad muy baja, efecto casi nulo sobre rendimiento
2-4	"	= Salinidad ligera, cultivos sensibles se afectan.
4-8	"	= Salinidad media, la mayoría de cultivos se ven afectados.
8-16	"	= Salinidad fuerte, sólo los cultivos tolerantes prosperan.
16	"	= Salinidad muy fuerte, muy pocas plantas se desarrollan
	"	= Conductividad eléctrica a 25° C.

FUENTE: Colmenares Mora (4) Efecto de la salinización del suelo sobre el crecimiento y producción del frijol.

CUADRO No. 3. Tolerancia relativa de los cultivos a las sales.

TOLERANTES CE x 10 ³ = 5	SEMI-TOLERANTES CE x 10 ³ = 3	SENSIBLES CE x 10 ³ = 12
Remolacha	Tomate, brócoli, repollo	Rábano
Kali	Lechuga, maíz dulce, pimienta	Apio
Espárrago	Zanahoria, cebolla guisante	Frijol verde
Espinaca	Calabaza, pepinillo, papas, col iflor.	

FUENTE: Richards L. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos (12).

D) Mecanismos mediante los cuales las plantas toleran altas concentraciones de sales

En general puede decirse que en la planta hay dos mecanismos de protección contra las sales. El primero se encuentra en la raíz, donde hay cierta regulación de los iones que pueden penetrar en el espacio libre aparente; el segundo se encuentra en las partes aéreas de la planta y comprende la restricción de la movilidad de los iones, impidiendo su redistribución entre los órganos maduros y en los que se encuentran en desarrollo. Ninguno de estos mecanismos por sí solo explica la tolerancia de las plantas a las sales, sino que es la combinación de ellos y los factores ambientales los que determinan la tolerancia de altas concentraciones (1).

E) Factores que modifican la tolerancia de los cultivos a las sales.

Es difícil determinar la tolerancia absoluta que refleja la respuesta fisiológica de las plantas a las sales, debido a que existen interacciones muy complejas dentro de las plantas, suelo, agua, factores del medio ambiente y práctica de manejo de cultivo, que modifican la capacidad de las plantas para tolerar la salinidad. Son precisamente estas interacciones las que permiten mediante una serie de condiciones del medio, manejo del suelo, el agua y las plantas, lograr que se aumente la tolerancia de los cultivos a las sales (1).

Aceves N. (1) indica que el rendimiento disminuye aproximadamente en forma lineal a medida que se aumenta la salinidad y sólo se presentan desviaciones de linealidad a nivel de salinidad donde los rendimientos no son económicamente aceptables, por lo que desde el punto de vista práctico, para evaluar el efecto de las sales sobre los cultivos, se puede considerar una respuesta lineal.

Se ha propuesto una ecuación para calcular los rendimientos relativos para un cultivo y una salinidad de suelo dada, siendo la siguiente:

$$RR = \frac{100 (CE_0 - CE_s)}{(CE_0 - CE_{100})} \quad \text{Donde:}$$

RR = Rendimiento relativo expresado en %.

CE₀ = Conductividad eléctrica del suelo abajo de la cual se obtiene cero de rendimiento.

CE_{100} = Conductividad eléctrica del suelo abajo de la cual se obtiene un rendimiento 100%.

CE_s = Conductividad eléctrica del suelo, medida en el extracto de saturación.

Esta ecuación sirve para seleccionar cultivos tolerantes, mediante el mayor rendimiento relativo, o para evaluar los daños causados o que pueden causar las sales sobre un cultivo o una serie de cultivos de un distrito de riego, donde éstas se encuentran a diferentes concentraciones, aún en el mismo suelo (1)

F) Respuesta de varios cultivos a las sales:

1.- Respuesta del frijol a sales y el sodio:

El frijol es considerado por muchos investigadores como una de las plantas más sensibles a la salinidad. Se indica que la salinidad puede reducir los rendimientos en un 25% sin que se hayan hecho perceptibles los síntomas (4)

Colmenares Mora (4), indica que el frijol en suelos sódicos puede afectarse severamente, aún antes que las condiciones físicas del suelo se hayan deteriorado y la producción en tales suelos es deficiente a causa del escaso desarrollo de las plantas y la reducción de la floración.

2.- Efecto de Carbonato y Silicato en el Sorgo:

Estos efectos se observan al seleccionar tres suelos a nivel de invernadero, dos de ellos con alta capacidad de fijación de fósforo, pH ácido, elevado contenido de aluminio soluble pH 4.8 y el tercero considerado como testigo con características menos críticas que las anteriores. (10)

Con las dosis aplicadas el carbonato y silicato de calcio aumentaron la capacidad de intercambio catiónico en los tres suelos. El aumento más importante se observó en el suelo de Chontalpa con la adición de silicato de calcio. El rendimiento máximo de sorgo independiente de los tres tratamientos, se obtuvo en el suelo de Chapin-go, el cual era el testigo. (10)

3.- Respuesta del tomate al calcio:

Polanco Salguero (11), concluyó en que el efecto de la cal agrícola fue mínimo al no encontrar respuesta significativa en cuanto a la producción de frutos comerciales de tomate, sin embargo, en el suelo una respuesta, aunque en mínimo grado, logró mejorar tanto el nivel de calcio como la relación Ca/mg. La mínima respuesta se dio bajo las condiciones de la Aldea "El Ovejero", atribuyéndolo al régimen pluviométrico de la estación durante la cual se realizó el ensayo.

4.- Interacciones de sales y fertilizantes en cebada:

La cebada es un cultivo con bastante tolerancia a la salinidad y que responde , favorablemente a las aplicaciones de sodio. Esto se debe en gran parte a la sustitución del sodio en el requerimiento de potasio del cultivo, cuando el nivel de potasio es bajo. (14).

Se hizo una investigación en invernadero con suelo de migajón arenoso calizo para determinar los efectos en el desarrollo y composición de la cebada, debido a las combinaciones de sales y fertilizantes. En casos de niveles bajos o moderados de salinidad, las aplicaciones de fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo, redujeron los efectos nocivos de la salinidad del suelo en los rendimientos. En el caso de altos niveles de salinidad, no se encontró mejora en los rendimientos. (14).

Los rendimientos fueron más afectados por el cloruro de potasio que por el cloruro de sodio, a igual concentración de sal en el suelo y la presencia de un fertilizante NP. El pH del suelo bajo, tanto en la pasta saturada como en la dilución 1:5, al aumentar la salinidad. (14).

III) OBJETIVO:

Evaluar la tolerancia a diferentes concentraciones de sodio y calcio en la solución nutritiva para los cultivos de Sorgo (Sorghum vulgare L.), Frijol (Phaseolus vulgaris L.) y Tomate (Lycopersicon es-culetum M.).

IV) HIPOTESIS:

- 1) La tolerancia de los cultivos a la concentración de sales de sodio en la solución nutritiva, está en función de la presencia de calcio.
- 2) El rendimiento de biomasa está en función de los niveles de sodio en la solución nutritiva según el cultivo.

V) MATERIALES Y METODOLOGIA:

A) LOCALIZACION DEL AREA EXPERIMENTAL:

1. Ubicación: El experimento fue realizado en el invernadero de la facultad de Agronomía, el cual se encuentra localizado en la Ciudad Universitaria de la Zona 12 de la Ciudad Capital de Guatemala; bajo condiciones climáticas artificiales. La localización geográfica es de 14° 15' Latitud Norte y 90° 31' Longitud Oeste y a una altura de 1,500 metros sobre el nivel del mar. (8)

Los datos de temperatura y humedad durante el tiempo de conducción del experimento fueron los siguientes: Temperatura mínima 25.3° C, temperatura máxima 31.6° C, temperatura media 29.2° C, humedad mínima 43.3%, humedad máxima 74%, humedad media 63.5%.

B) NIVELES DE LOS FACTORES EVALUADOS:

En el Cuadro No. 4 se muestran los diferentes niveles de sodio y calcio para cada uno de los tratamientos en sorgo, frijol y tomate.

CUADRO No. 4. Niveles de Sodio y Calcio en la Solución Nutritiva.

Tratamiento	Sodio	Calcio
	Meq/100 ml de solución	Meq/100 ml de solución
0	0.0	0
1	1.0	0
2	3.0	0
3	5.0	0
4	7.5	0
5	10.0	0
6	0.0	8
7	1.0	8
8	3.0	8
9	5.0	8
10	7.5	8
11	10.0	8

C) Características medidas:

La evaluación de las diferentes características de cada cultivo son las siguientes:

Tiempo de germinación, días después de la siembra.
Biomasa expresada en gramos/maceta de raíz y parte aérea.
Análisis de N, P, K, Ca, Mg y Na en las plantas.
Altura de plantas en cm y longitud radicular en cm.

D) Solución nutritiva:

Sánchez y Escalante (13), indican que una solución nutritiva es la disolución de diversos fertilizantes en el agua, con la que se riegan las plantas y cuya función es proporcionar los nutrimentos esenciales para su desarrollo.

Para el presente trabajo, se preparó una solución nutritiva, con los equivalentes en nutrimentos a la solución de Hoagland (6), la que se muestra en el cuadro No. 5. Para aplicar los tratamientos se prepararon doce soluciones nutritivas para un volumen de 200 litros de agua desmineralizada por cada tratamiento. Las soluciones fueron aplicadas diariamente durante ocho días; luego se regó con agua desmineralizada durante dos días para evitar el incremento de sales que pudieran quedar en el sustrato; la metodología de aplicación se repitió hasta la finalización del experimento.

CUADRO No. 5. Fuente de nutrimentos de la solución nutritiva.

Fuente	Fórmula	ppm	
Urea	$(\text{NH}_2)_2 \text{CO}$	200	N
Fosfato Diamónico	$(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$	100	P
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	400	K
Sulfato de Calcio	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0 y 1600	Ca
Sulfato de Magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	400	Mg
Bicarbonato de Sodio	NaHCO_3	0, 230, 1150, 1725	Na
		690	Na
		2300	Na
Sulfato Ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5%	Fe
Cloruro de Manganeso	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.5	Mn
Acido Bórico	H_3BO_3	0.5	B
Sulfato de Zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.05	Zn
Sulfato Cúprico	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.02	Cu

FUENTE: Manual de Soluciones de Laboratorio, Ediciones Bellatera, S.A. 1973 (6).

E) Anál isis Estadístico:

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, y el diseño de tratamiento un factorial 6×2 , con 6 niveles de sodio y 2 niveles de calcio; con 3 repeticiones por unidad experimental en cada cultivo.

La unidad experimental consistió en una maceta plástica de 1.5 litros de capacidad, la cual contenía el sustrato de arena pómez tamizada; llenando el primer tercio de la maceta con arena mayor de 4 mm de diámetro y las otras dos terceras partes con arena de 0.5 a 2 mm de diámetro.

El modelo estadístico lineal para el análisis de las características medidas es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 Y_{ijk} &= M + R_i + A_j + B_k + (AB) + (E)_{ijk} \\
 Y_{ijk} &= \text{Variable respuesta en la } ijk\text{-ésima unidad experimental} \\
 M &= \text{Efecto de la media general} \\
 R_i &= \text{Efecto de la } i\text{-ésima repetición} \\
 A_j &= \text{Efecto del } j\text{-ésimo nivel de factor "A" (sodio)} \\
 B_k &= \text{Efecto del } k\text{-ésimo nivel del factor "B" (calcio)} \\
 AB &= \text{Interacción del factor A con el B} \\
 E_{ijk} &= \text{Error experimental asociado a } ijk\text{-ésima unidad experimental.}
 \end{aligned}$$

- i = 1, 2, 3 repeticiones
- j = 1, 2, 3, 4, 5, 6 niveles de sodio.
- k = 1, 2, niveles de calcio.

F) Análisis de datos:

Para darle respuesta a los objetivos e hipótesis, se procesaron los datos mediante:

El análisis de varianza, separación de medios por el método estadístico de Tuckey y las pruebas de F.

G) Manejo del experimento:

1. Siembra: La siembra se realizó en forma directa para los tres cultivos. En cada unidad experimental se sembraron 4 semillas para los cultivos de frijol y sorgo, mientras que para tomate se sembraron 10 semillas.

En lo que respecta al frijol, se utilizó la variedad Suchitán, y al sorgo la variedad Advance. Para el cultivo de tomate se usó la variedad Flora-dade. Desde la siembra se aplicó la solución nutritiva, todos los días y el exceso se recolectó en platos plásticos.

2. Cantidad de Plantas/maceta: A los 10 días de efectuada la siembra, se realizó el raleo, para dejar 2 plantas/maceta en frijol y tomate, para el sorgo se dejaron 3 plantas/maceta.

3. Lavado de sustrato: Sánchez y Escalante (13), indican que el lavado es para evitar acumulación de sales en la base del tallo de las plantas; por lo que sugirieron que el sustrato sea lavado con abundante agua una vez por semana, o al menos cada quince días. En tal sentido, se procedió a lavar el sustrato con agua desmineralizada (pH7), durante dos días, con un intervalo de 8 días cada lavado.

4. Fertilización: La aplicación del fertilizante se realizó conjuntamente con la solución nutritiva.

5. Cortes: Para el sorgo se efectuó un corte. Con respecto al tomate y al frijol se dejaron crecer hasta la floración para su corte y poder medir las características anteriormente señaladas.

VI) RESULTADOS Y DISCUSION

Para dar respuesta a los objetivos e hipótesis planteados; a continuación se presentan los resultados obtenidos en el siguiente orden:

- 1) Tiempo de germinación para cada uno de los cultivos.
- 2) Análisis de varianza, separación de medias por el estadístico de tuckey y - pruebas de F.
- 3) Análisis de tejidos de planta, para los tres cultivos evaluados.

CUADRO No. 6. Tiempo de germinación después de la siembra.

Cultivo	Niveles Calcio	Niveles de sodio en las soluciones								
		0	1	3	5	7.5	10	20	40	(meq)
		Días para emerger								
Sorgo	0	4	4	5	6	7	9	N.G.	N.G.	
	8	4	4	4	5	6	7	N.G.	N.G.	
Frijol	0	5	6	7	8	9	9	N.G.	N.G.	
	8	5	5	6	6	7	9	N.G.	N.G.	
Tomate	0	6	7	7	8	8	10	N.G.	N.G.	
	8	6	6	6	7	8	9	N.G.	N.G.	

N.G. = No germinó.

En el Cuadro No. 6 se observan los días de germinación para cada cultivo, en relación a los niveles de sodio y calcio. Se aprecia que a medida que se incrementa la concentración de sodio la germinación se retarda para los tres cultivos. El menor tiempo de germinación se obtuvo con 0 meq de sodio y el mayor al agregar a la solución nutritiva 10 meq de sodio; mientras que para 20 y 40 meq de sodio, las semillas no germinan.

A) Cuadros y Gráficas correspondientes a: SORGO

CUADRO No. 7. Análisis de varianza para altura de planta (cm).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	11	45572.87	4142.87	129.59**	3.02
Nivel Na	5	4255.81	8851.16	276.65**	3.90
Nivel Ca	1	306.25	306.25	9.58**	7.82
Na x Ca	5	1010.91	202.18	6.32 **	3.90
Error	24	767.34	31.97		
Total	35	46340 .31			

** = Significativo al 1% de probabilidad

C.V. = 9.48%

En el cuadro No. 7 se observa el análisis de varianza de altura de plantas de sorgo expresada en centímetros; evaluado bajo diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se deduce que existe efecto significativo al 1% de probabilidad debido a; niveles de sodio, calcio y la interacción sodio por calcio.

CUADRO No. 8. Altura media de plantas de sorgo por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Altura Media (cm)
8	62.55 a
0	56.72 b

D.S.H. 5% = 3.89

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 8 se aprecian las alturas promedio de sorgo con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva. Se infiere que existe efecto significativo al 5% de probabilidad para los tratamientos, la mayor altura promedio se obtiene cuando se aplican 8 meq de calcio/100 ml de solución nutritiva.

CUADRO No. 9. Altura media de plantas de sorgo por efectos de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Altura promedio (cm).
1	102.50 a
0	101.33 a
3	69.83 b
7.5	43.00 c d
5	34.16 d
10	7.00 e

D.S.H. 5% = 10.08

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 9 se observan las alturas promedio de sorgo con diferentes niveles de sodio en la solución nutritiva. Se deduce que cuando se aplican 0 y 1 meq de Na/100 ml de solución los tratamientos son estadísticamente iguales. Lo mismo sucede al adicionar 5 y 7.5 meq de sodio, mientras que en los demás tratamientos se aprecian diferencias significativas al 5% de probabilidad. La menor altura se obtuvo al adicionar 10 meq de Na/100 ml en la solución nutritiva.

CUADRO No. 10. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre altura de plantas de sorgo.

Fuente Var.	Grados de Lib.	F Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	32.66**	4.26
Ca con Na ₁	1	0.16 N.S.	4.26
Ca con Na ₃	1	937.50**	4.26
Ca con Na ₅	1	20.16**	4.26
Ca con Na _{7.5}	1	32.66**	4.26
Ca con Na ₁₀	1	264.00 **	4.26

** = Significativo al 5% de probabilidad.

N.S. = No significativo.

En el Cuadro No. 10 se aprecia el comportamiento de la altura de plantas por efecto de la interacción de sodio y calcio. Se infiere que al adicionar 1 meq de Na en la solución nutritiva no existe efecto significativo debido a la presencia del calcio, mientras que con los demás niveles se tiene efecto de calcio.

CUADRO No.11. Análisis de varianza para peso seco (g/planta).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	11	1244.40	113.12	235.67**	3.02
Nivel Na	5	1182.11	236.42	492.54**	3.90
Nivel Ca	1	0.06	0.06	0.12 N.S.	7.82
Na x Ca	5	62.23	12.45	25.54**	3.90
Error	24	11.55	0.48		
Total	35	1255.95			

** = Significativo al 1% de probabilidad.

N.S. = No significativo

C.V. = 13.90%

En el Cuadro No. 11 se aprecia el análisis de varianza de peso seco de sorgo, expresado en g/planta con diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se deduce que existe efecto significativo al 1% de probabilidad debido a: niveles de sodio e interacción de sodio por calcio, pero no existe significancia para los niveles de calcio evaluados.

CUADRO No. 12. Peso seco medio de plantas de sorgo por efectos de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Peso seco(g/planta)
8	5.02 a
0	4.94 a
D.S.H. 5% =0.47	

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 12 se aprecia el rendimiento promedio en g/planta de sorgo bajo diferentes niveles de calcio, en el cual son iguales al 5% de probabilidad los tratamientos, para 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución nutritiva, lo que demuestra el efecto no significativo del calcio en el análisis de varianza para peso seco, discutido en el Cuadro No. 11.

CUADRO No. 13. Peso seco medio de plantas de sorgo por efectos de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Peso seco (g/planta)
0	15.38 a
1	9.42 b c
3	3.67 d e
7.5	0.85 f g
5	0.38 g
10	0.04 g

D.S.H. 5% = 1.24

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

El Cuadro No. 13 muestra el rendimiento promedio en g/planta de sorgo con diferentes niveles de sodio en la solución nutritiva. Se deduce que existe significancia - al 5% de probabilidad cuando se agregan 0, 1, 3, 7.5 meq de Na/100 ml de solución, sin embargo, a los tratamientos que se adicionó 5, 7.5 y 10 meq de Na, son iguales al 5% de probabilidad. El mayor peso seco se obtiene al adicionar 0 meq de Na/100 ml de solución.

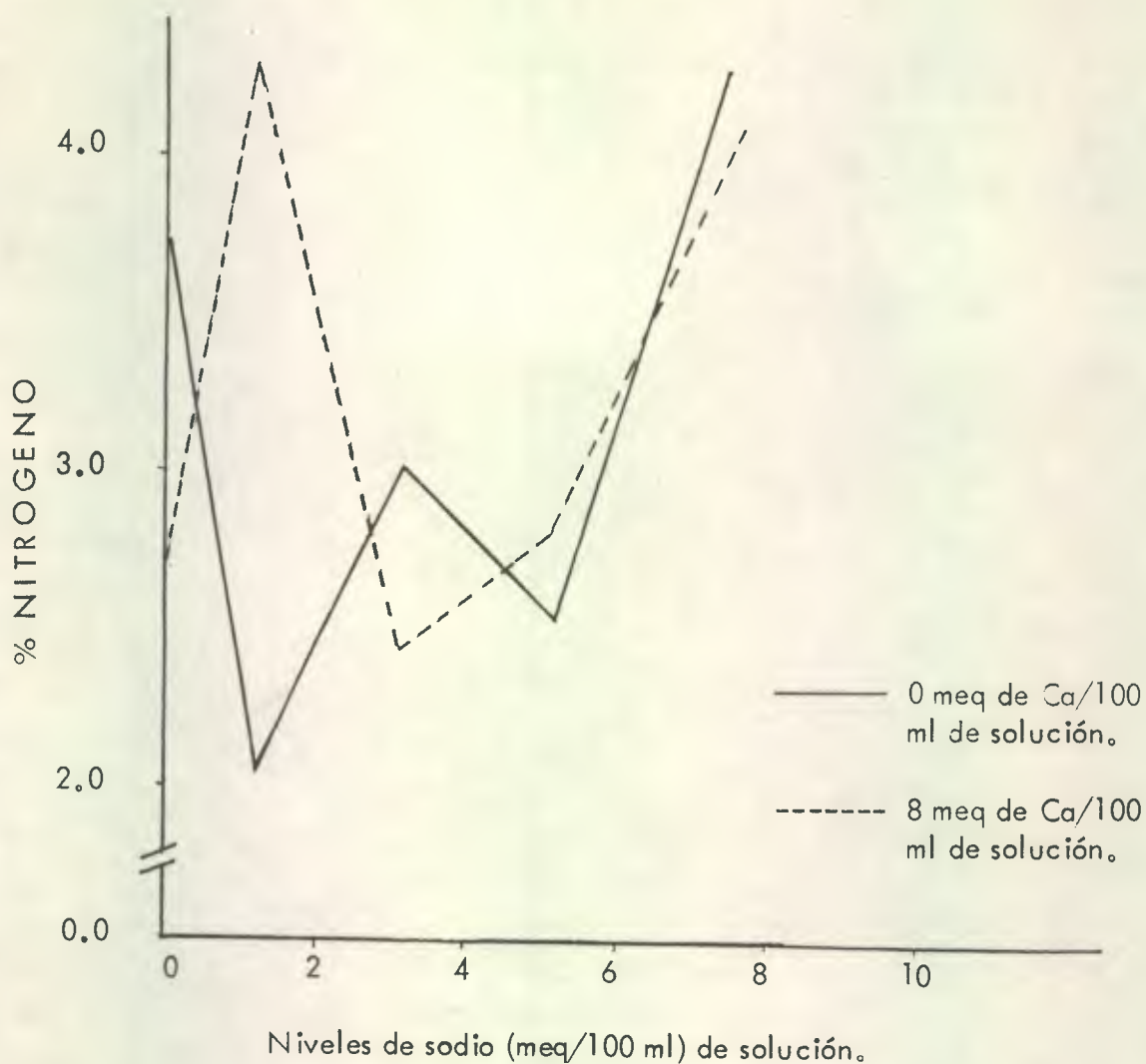
CUADRO No. 14. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco de plantas de sorgo.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F. Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	2.94 N.S.	4.26
Ca con Na ₁	1	22.04 **	4.26
Ca con Na ₃	1	39.22 **	4.26
Ca con Na ₅	1	0.006 N.S.	4.26
Ca con Na _{7.5}	1	0.28 N.S.	4.26
Ca con Na ₁₀	1	0.009 N.S.	4.26

** = Significativo al 5% de probabilidad.

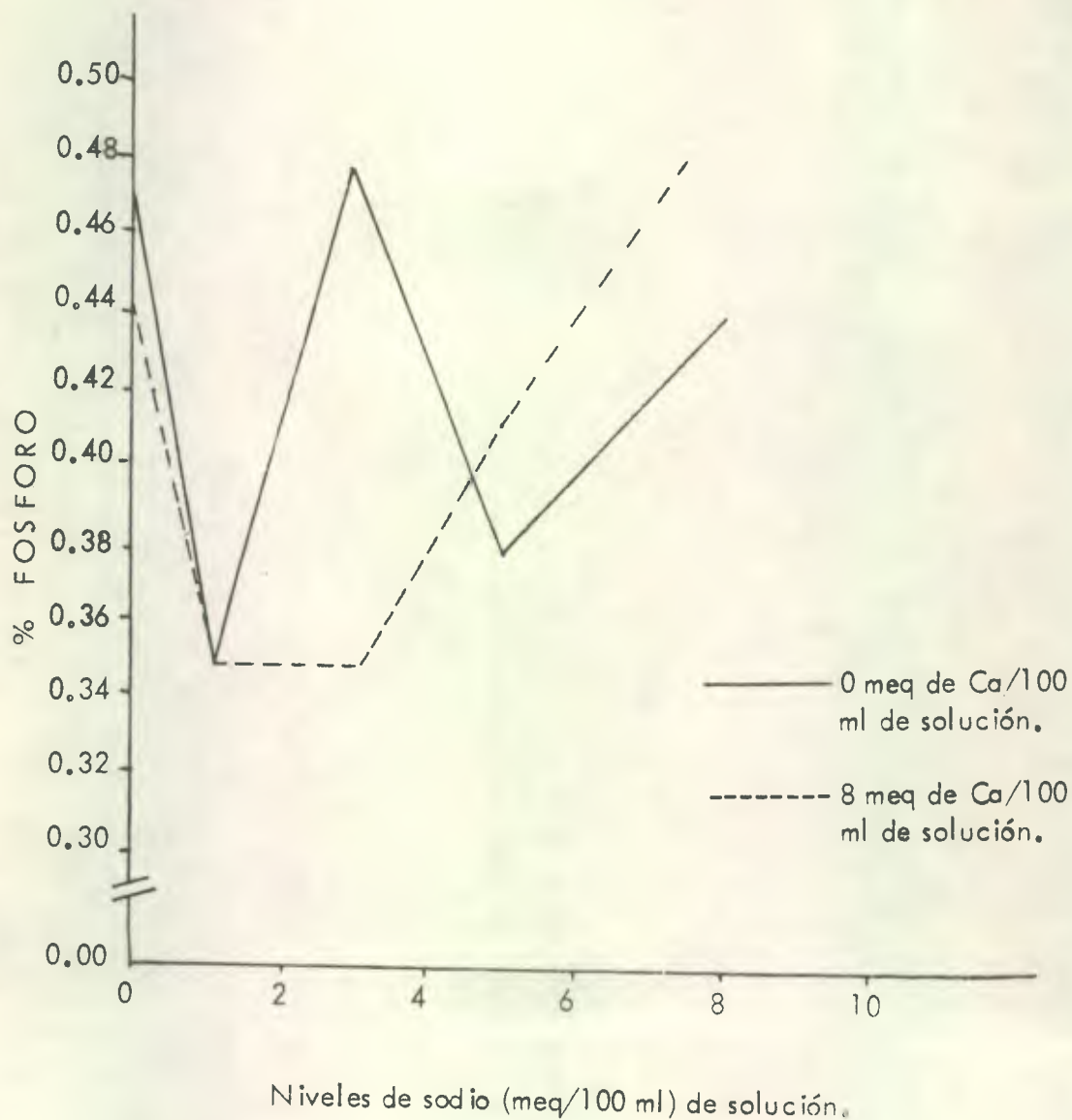
N.S. = No significativo.

En el Cuadro No. 14 se observa el comportamiento del peso seco de sorgo, por efecto de la interacción de Na y Ca. Se infiere que sólo existe diferencia significativa para los tratamientos con 1 y 3 meq de Na en la solución nutritiva por la presencia de Ca; y los demás tratamientos son iguales al 5% de probabilidad.



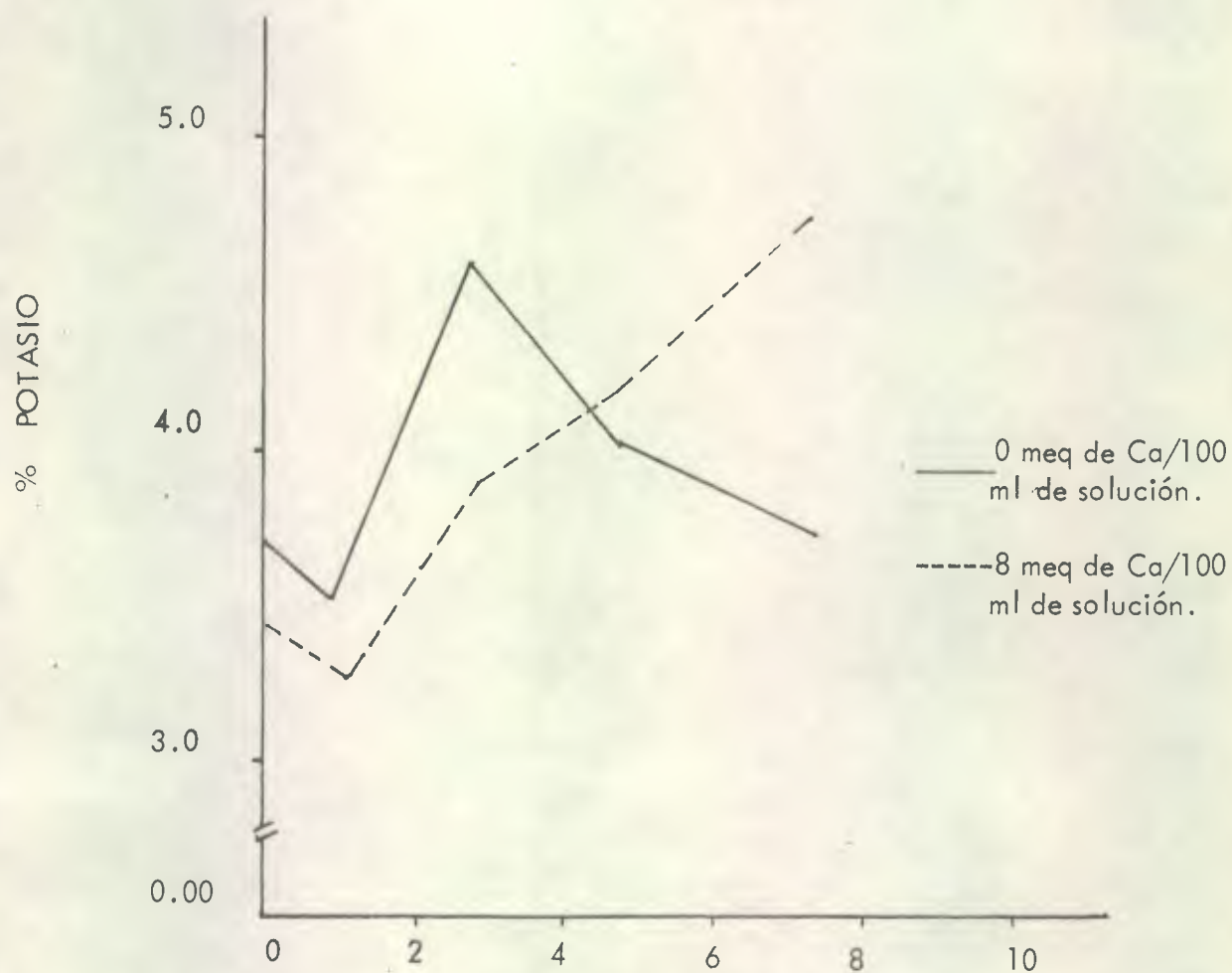
GRAFICA No. 1. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Nitrógeno en el tejido foliar de sorgo.

La gráfica No. 1, muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de N en el tejido foliar de sorgo. El contenido de Nitrógeno es diferente al adicionar 0 y 8 meq de Ca/100 ml en la solución nutritiva y el comportamiento en términos de concentración de Nitrógeno es inverso en los niveles que contienen de 0 a 5 meq de Na, pero cuando el contenido de Na es mayor de 5 meq, la concentración de N tiende a incrementar.



GRAFICA No. 2. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de sorgo.

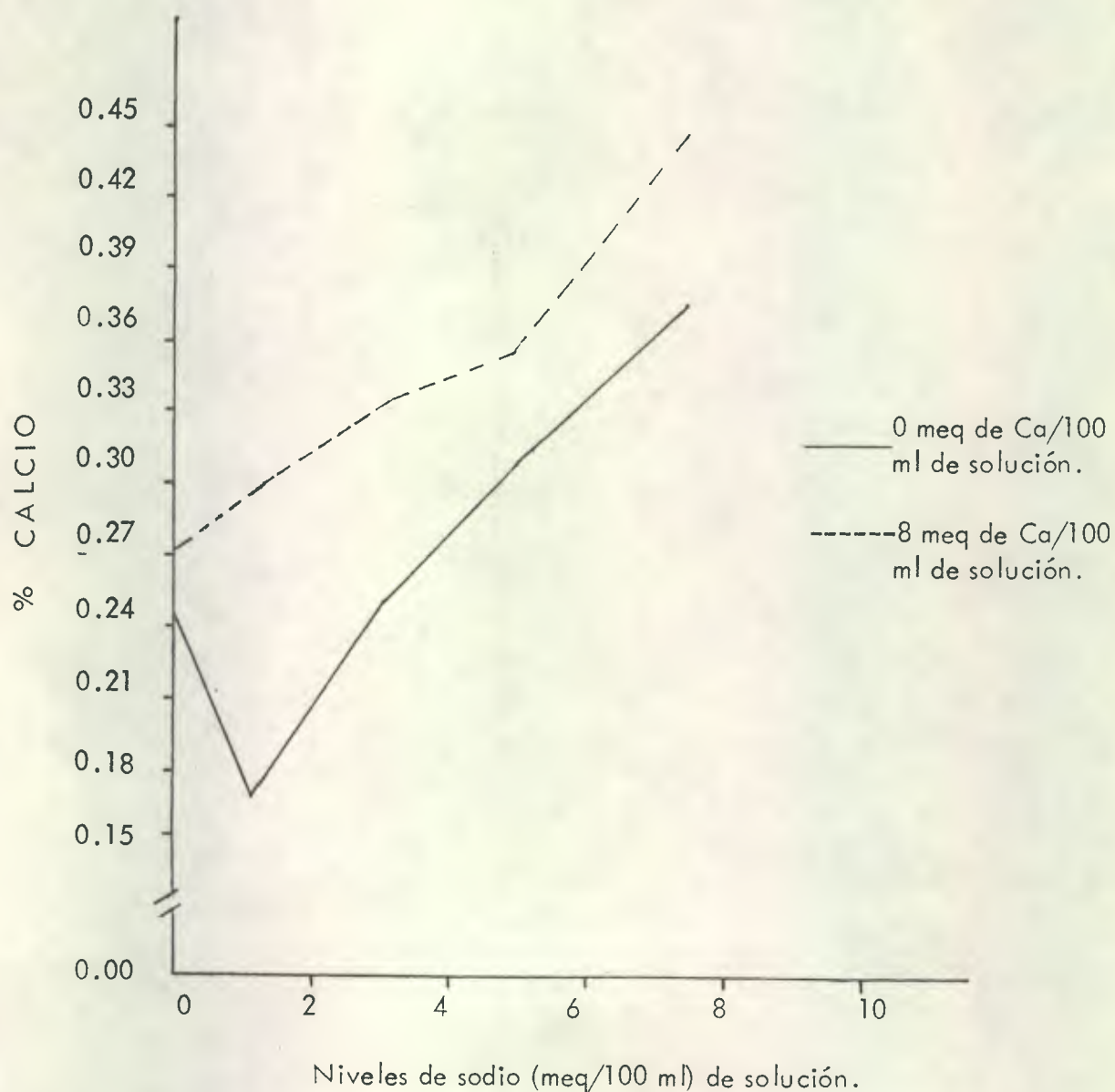
En la Gráfica No. 2 se aprecia el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de sorgo. Se observa que existe diferencia en el contenido de fósforo para 0 y 8 meq de Ca/100 ml en la solución nutritiva con variación en la concentración de P en el tejido foliar pero en niveles de sodio mayores de 5 meq se obtiene una concentración creciente de fósforo.



Niveles de sodio (meq/100 ml) de solución.

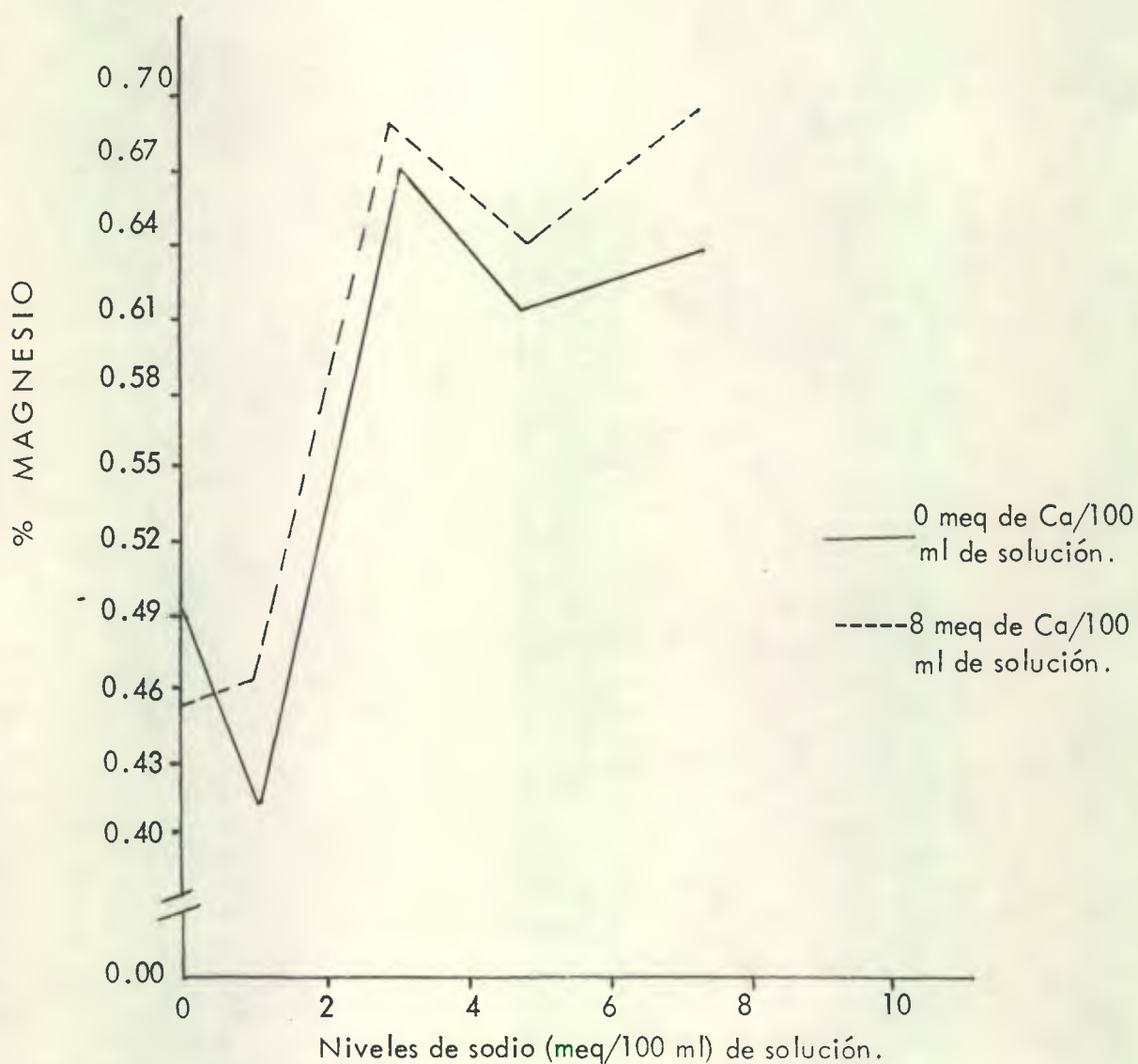
GRAFICA No. 3. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Potasio en el tejido foliar de sorgo.

La Gráfica No. 3 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de sorgo. Se aprecia que con 8 meq de Ca en la solución nutritiva se incrementa el contenido de potasio en el tejido foliar en mayor proporción que cuando se adicionan 0 meq de Ca/100 ml en solución; además, cuando se tienen niveles mayores de 5 meq de Na, la concentración de potasio tiene un comportamiento diferente y estos resultados se asocian con lo que indica Bonnet (2) con respecto a la interacción K/Ca.



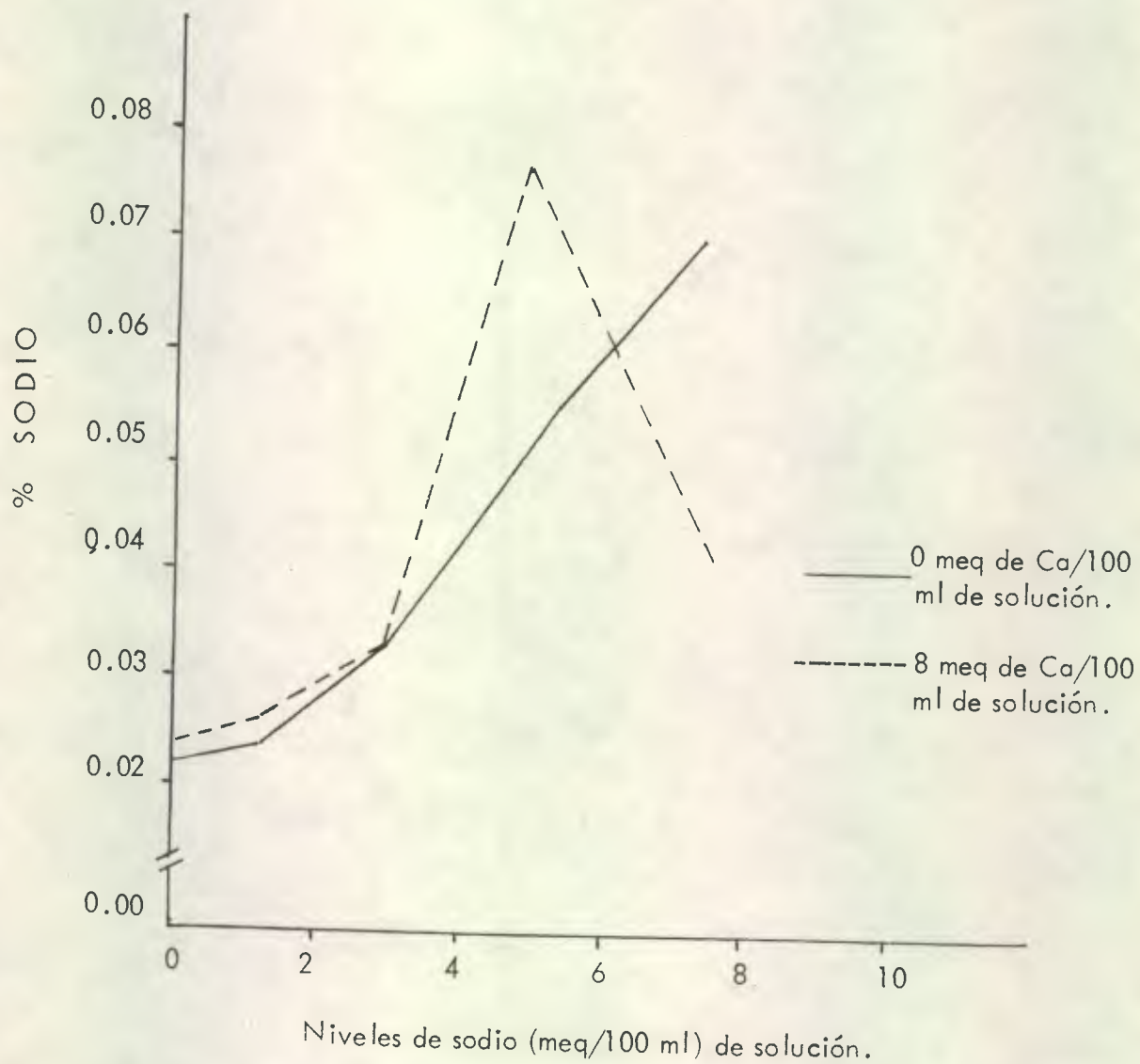
GRAFICA No. 4. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de sorgo.

En la Gráfica No. 4 se aprecia el efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de sorgo. Cuando se aplican 8 meq de Ca/100 ml de solución, se logra un mayor contenido de calcio en el tejido foliar que cuando se agrega a la solución nutritiva 0 meq de calcio en cada nivel de sodio evaluado.



GRAFICA No. 5. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de sorgo.

En la Gráfica No. 5 se aprecia el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de sorgo. El Contenido de Magnesio en el tejido foliar se comporta en forma similar cuando se adicionan 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución.



GRAFICA No. 6. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de sodio en el tejido foliar de sorgo.

La Gráfica No. 6 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de sodio en el tejido foliar de sorgo. Se observa un incremento de sodio en el tejido foliar en cada uno de los niveles de sodio, tanto para 0 y 8 de meq de Ca/100 ml de solución; pero al adicionar a la solución nutritiva 7.5 meq de Na y 8 meq de Ca en el contenido de sodio en el tejido foliar disminuye.

B) Cuadros y Gráficas correspondientes a : FRIJOL

CUADRO No. 15. Análisis de varianza para altura de plantas (cm).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	11	7145.57	649.57	130.17 **	3.02
Nivel Na	5	6785.91	1357.18	271.98 **	3.90
Nivel Ca	1	154.41	154.41	30.94 **	7.82
Na x Ca	5	205.25	41.05	8.23 **	3.90
Error	23	114.87	4.99		
Total	34	7260.44			

** = Significativo al 1% de probabilidad.

C.V. = 7.5%

En el Cuadro No. 15. se aprecia el análisis de varianza de altura de plantas de frijol, evaluado bajo diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se deduce que existe efecto significativo al 1% de probabilidad debido a: niveles de sodio, calcio y la interacción de sodio por calcio.

CUADRO No. 16. Altura media de plantas de frijol por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Altura media (cm).
8	31.64 a
0	27.44 b

D.S.H. = 1.53

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 16 se observa la altura promedio de frijol con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva. Se deduce que existe diferencia significativa al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados; la mayor altura promedio se obtiene al adicionar 8 meq de Ca/100 de solución.

CUADRO No. 17. Altura media de plantas de frijol por efecto de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Altura Media (cm)
0	44.6 a
1	44.3 a b
3	33.2 c d
7.5	26.3 e f
5	21.0 g h
10	3.0 i

D.S.H. 5% = 3.98

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

El Cuadro No. 17 muestra las alturas promedio de frijol con diferentes niveles de sodio. Se infiere que cuando se aplica 0 y 1 meq de Na, se obtiene la mayor altura. En los demás tratamientos se observa diferencia significativa al 5% de probabilidad; además, al incrementar el contenido de sodio la altura decrece.

CUADRO No. 18. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la altura de frijol.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	6.00**	4.28
Ca con Na ₁	1	2.66 N.S.	4.28
Ca con Na ₃	1	13.50**	4.28
Ca con Na ₅	1	54.00**	4.28
Ca con Na _{7.5}	1	216.00**	4.28
Ca con Na ₁₀	1	45.00**	4.28

** = Significativo al 5% de probabilidad.

N.S. = No significativo.

El cuadro No. 18 muestra el comportamiento de altura de frijol por efecto de la interacción sodio y calcio. Se infiere que al adicionar 1 meq de Na en la solución, no existe efecto significativo, pero con los demás niveles de sodio se obtiene efecto de calcio sobre el desarrollo de las plantas, asociando los resultados con los de Epstein 1961 (5).

CUADRO No. 19. Análisis de varianza para peso seco (g/planta).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	11	658.83	59.89	139.28**	3.02
Nivel Na	5	640.51	128.10	297.91**	3.90
Nivel Ca	1	0.51	0.51	1.19 N.S.	7.82
Na x Ca	5	17.81	3.56	8.28**	3.90
Error	23	9.82	0.23		
Total	34	668.85			

** = Significativo al 1% de probabilidad

N.S. = No significativo

C.V. = 10.16%

En el Cuadro No. 19 se aprecia el análisis de varianza de peso seco de frijol expresado en g/planta, evaluado con diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se deduce que existe diferencia significativa al 1% de probabilidad debido a: niveles de sodio, interacción sodio por calcio y no existe diferencia significativa para los niveles de calcio.

CUADRO No. 20. Peso seco medio de plantas de frijol por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Peso seco (g/planta)
0	6.25 a
8	6.01 a

D.S.H. 5% = 0.45

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 20 se observa el rendimiento promedio en g/planta de frijol, bajo diferentes niveles de calcio, los tratamientos son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad.

CUADRO No. 21. Peso seco medio de plantas de frijol por efecto de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Peso seco (g/planta)
0	11.8 a
1	10.6 b
3	7.6 c
7.5	3.0 d e
5	2.5 e
10	0.17 f
D.S.H. 5% = 1.17	

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 21 se aprecia el rendimiento promedio de frijol bajo diferentes niveles de sodio en la solución nutritiva. Se infiere que en los tratamientos en que se adicionó 5 y 7.5 meq de Na son iguales al 5% de probabilidad; mientras que en los demás tratamientos existe diferencia significativa al 5% de probabilidad; el mayor rendimiento promedio se obtiene al agregar 0 meq de Na y al aumentar la concentración de sodio el rendimiento de biomasa decrece.

CUADRO No. 22. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco de frijol.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	4.97 **	4.28
Ca con Na ₁	1	8.71 **	4.28
Ca con Na ₃	1	0.12 N.S.	4.28
Ca con Na ₅	1	1.79 N.S.	4.28
Ca con Na _{7.5}	1	2.51 N.S.	4.28
Ca con Na ₁₀	1	0.41 N.S.	4.28

** = Significativo al 5% de probabilidad

N.S. = No significativo.

En el Cuadro No. 22 se aprecia el efecto de la interacción de sodio y calcio con respecto al rendimiento de frijol. Se deduce que existe diferencia significativa en los tratamientos con 0 y 1 meq de Na por presencia de calcio; los demás tratamientos son iguales al 5% de probabilidad.

CUADRO No. 23. Análisis de varianza para peso seco radicular (g/planta).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	11	83.32	7.57	44.53**	3.02
Nivel Na	5	78.35	15.67	92.18**	3.90
Nivel Ca	1	2.34	2.34	13.76**	7.82
Na x Ca	5	2.63	0.53	3.12 N.S.	3.90
Error	23	3.89	0.17		
Total	34	87.21			

** = Significativo al 1% de probabilidad

N.S. = No significativo

C.V. = 15.6%

En el Cuadro No. 23 se observa el análisis de varianza de peso seco radicular de frijol, expresado en g/planta en el cual se aplicaron diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se infiere que existe diferencia significativa al 1% de probabilidad debido a: niveles de sodio, calcio, y no significativo para la interacción de sodio por calcio.

CUADRO No. 24. Peso seco medio radicular de plantas de frijol por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Peso seco radicular (g/planta)
8	2.89 a
0	2.38 b

D.S.H. 5% = 0.28

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 24. se muestra el peso seco radicular promedio en g/planta de frijol, con diferentes niveles de calcio. Se deduce que existe diferencia significativa al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados, y se obtiene el mayor peso seco radicular al adicionar a la solución nutritiva 8 meq de calcio.

CUADRO No. 25. Peso seco medio radicular de plantas de frijol por efecto de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Peso seco radicular (g/planta)
1	4.21 a
0	4.15 a
3	3.55 a b
7.5	2.10 c d
5	1.16 e
10	0.19 f

D.S.H. 5% = 0.73

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

El Cuadro No. 25 muestra el peso radicular promedio de frijol con diferentes niveles de sodio. Se infiere que los tratamientos con 0, 1, 3, meq de Na son iguales al 5% de probabilidad con el mayor peso seco radicular; mientras que en los demás tratamientos existe diferencia significativa al 5% de probabilidad y al incrementar el contenido de sodio disminuye el peso seco radicular.

CUADRO No. 26. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco radicular de frijol.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F Calculada	F Tabulada
Ca con Na ₀	1	0.01 N.S.	4.28
Ca con Na ₁	1	0.00 N.S.	4.28
Ca con Na ₃	1	3.22 N.S.	4.28
Ca con Na ₅	1	0.48 N.S.	4.28
Ca con Na _{7.5}	1	0.96 N.S.	4.28
Ca con Na ₁₀	1	0.18 N.S.	4.28

N.S. No significativo

El Cuadro No. 26 muestra el efecto de la interacción de sodio y calcio con respecto al peso radicular promedio de frijol en g/planta. Se infiere que todos los tratamientos son iguales al 5% de probabilidad.

CUADRO No. 27. Análisis de varianza para longitud radicular (cm).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	11	1169.14	106.28	40.10**	3.02
Nivel Na	5	1130.47	226.09	85.32**	3.90
Nivel Ca	1	32.50	32.50	12.26**	7.82
Na x Ca	5	6.17	1.23	0.46 N.S.	3.90
Error	23	61.00	2.65		
Total	34	1230.14			

** = Significativo al 1% de probabilidad

N.S. = No significativo

C.V. = 11.8%

En el Cuadro No. 27 se aprecia el análisis de varianza de longitud radicular de frijol expresada en cm; evaluada con diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se deduce que existe diferencia significativa al 1% de probabilidad debido a: niveles de sodio, de calcio y no existe significancia para la interacción - de sodio por calcio.

CUADRO No. 28. Longitud radicular media de plantas de frijol por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Longitud radicular (cm)
8	14.70 a
0	12.77 b

D.S.H. 5% = 1.12

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 28 se aprecia el comportamiento de la longitud radicular promedio de frijol, bajo diferentes niveles de calcio. Se infiere que existe diferencia al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados; la mayor longitud radicular promedio se obtiene al adicionar 8 meq de calcio a la solución nutritiva.

CUADRO No. 29. Longitud radicular media de plantas de frijol por efecto de niveles de sodio.

Niveles de Na (meq)	Longitud radicular (cm)
1	20.3 a
0	18.2 a b
3	15.2 c d
7.5	13.8 d e
5	10.8 f
10	2.0 g

D.S.H. 5% = 2.90

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 29, se aprecia la longitud radicular de frijol con diferentes niveles de sodio. Se deduce que en los tratamientos con 0 y 1 meq de Na no existe significancia; lo mismo sucede cuando se adiciona a la solución nutritiva 3 y 7.5 meq de Na, pero en los demás tratamientos existe diferencia al 5% de probabilidad, al incrementar el sodio disminuye la longitud radicular.

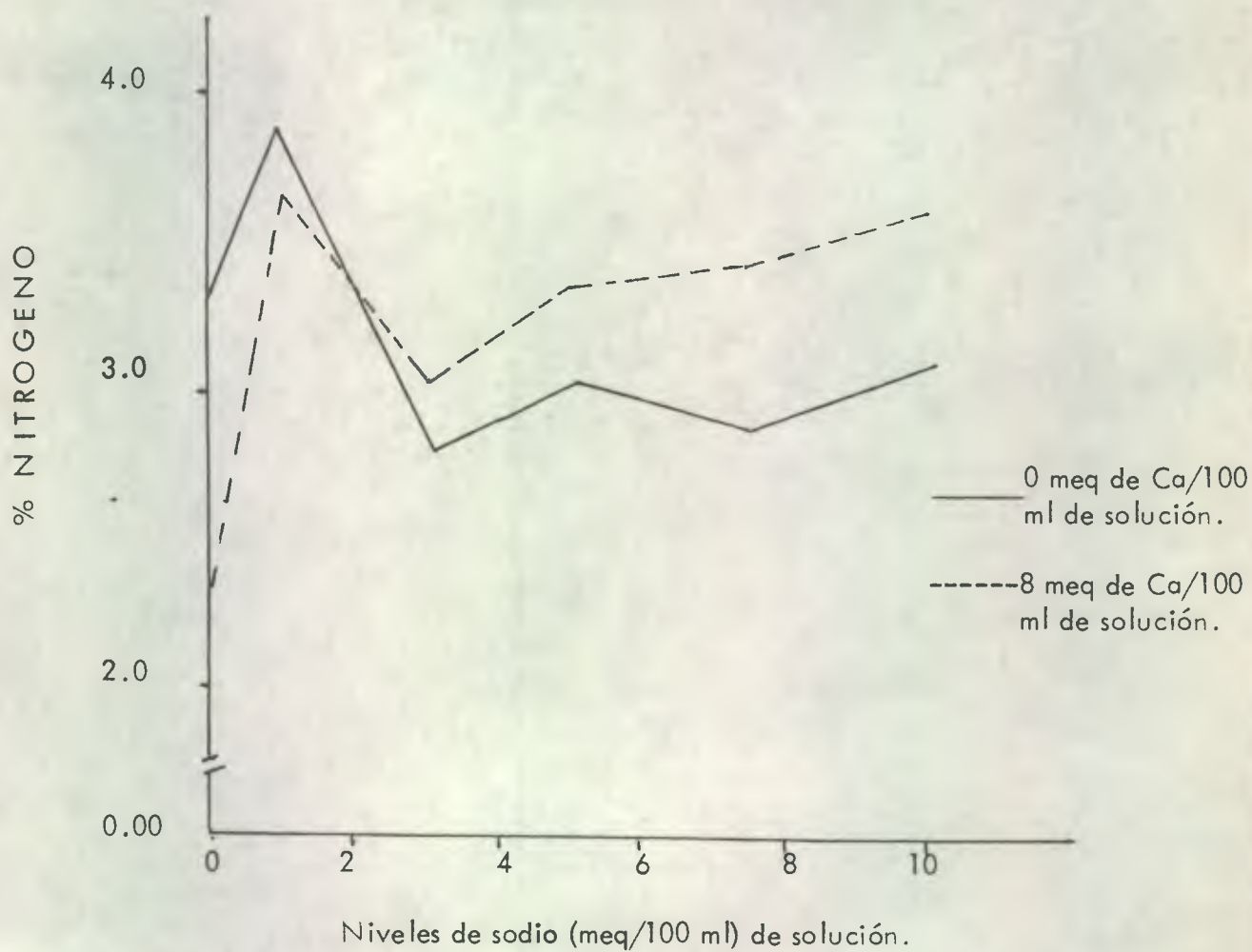
CUADRO No. 30. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la longitud radicular de frijol.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F. Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	0.16 N.S.	4.28
Ca con Na ₁	1	0.00 N.S.	4.28
Ca con Na ₃	1	0.16 N.S.	4.28
Ca con Na ₅	1	0.16 N.S.	4.28
Ca con Na _{7.5}	1	0.16 N.S.	4.28
Ca con Na ₁₀	1	20.00 **	

** = Significativo al 5% de probabilidad.

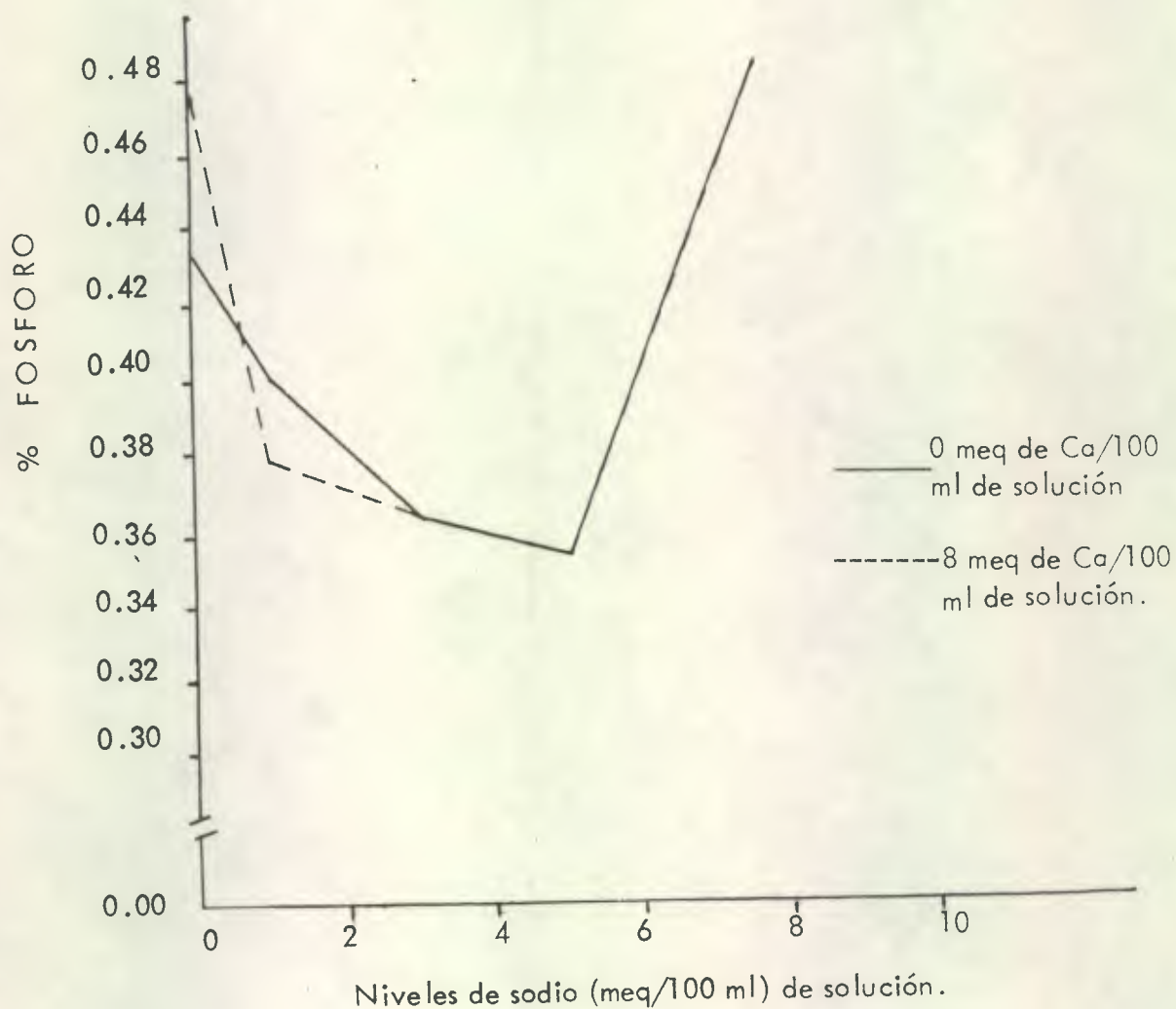
N.S. = No significativo.

El Cuadro No. 30, muestra el efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la longitud radicular de frijol. Se aprecia que existe significancia al adicionar 10 meq de Na en la solución nutritiva por efecto de la presencia de calcio, los demás tratamientos son iguales estadísticamente al 5% de probabilidad.



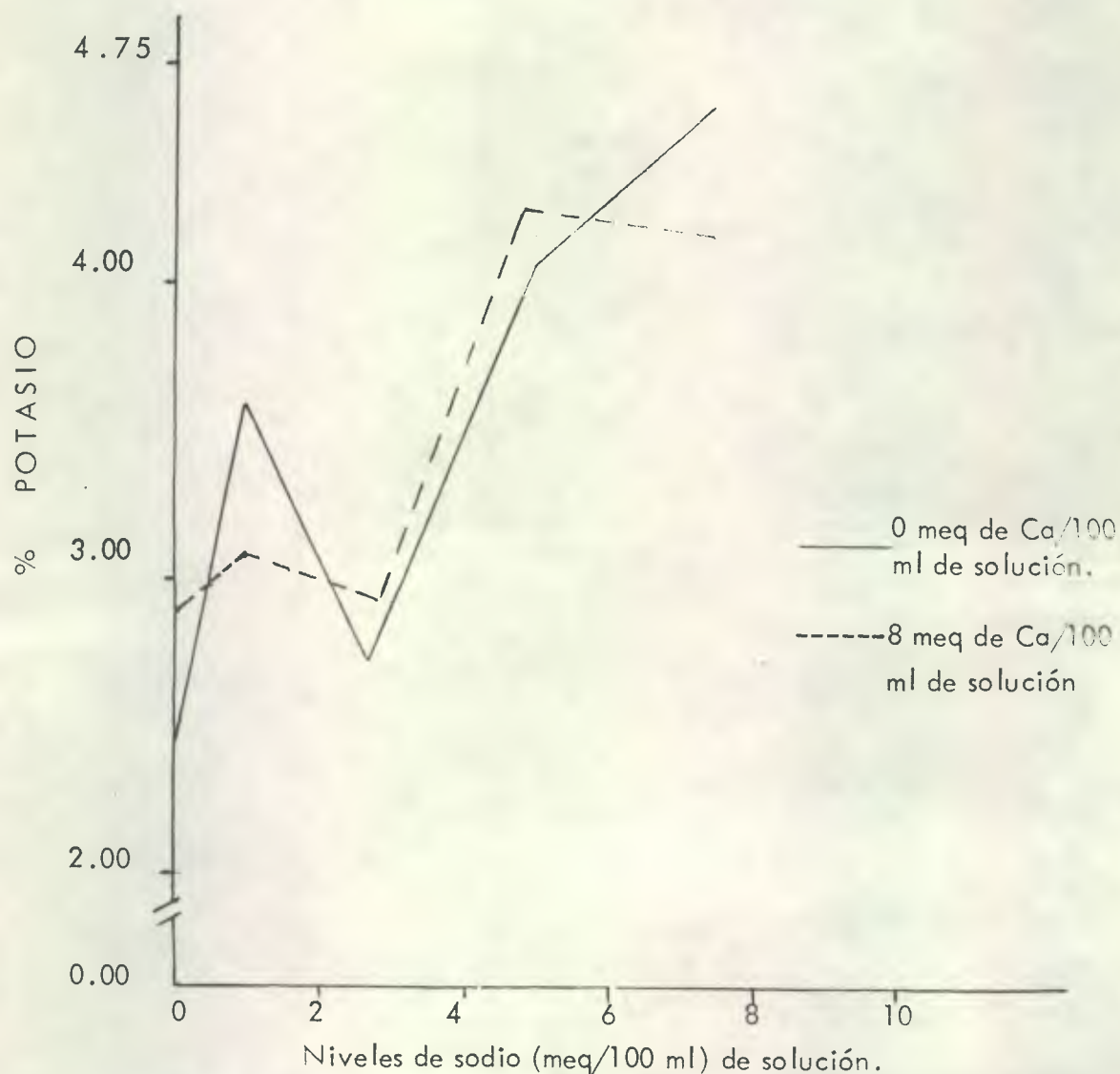
GRAFICA No. 7. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Nitrógeno en el tejido foliar de frijol.

La Gráfica No. 7 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Nitrógeno en el tejido foliar de frijol. Se aprecia un comportamiento similar para los diferentes niveles de sodio al adicionar 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución nutritiva.



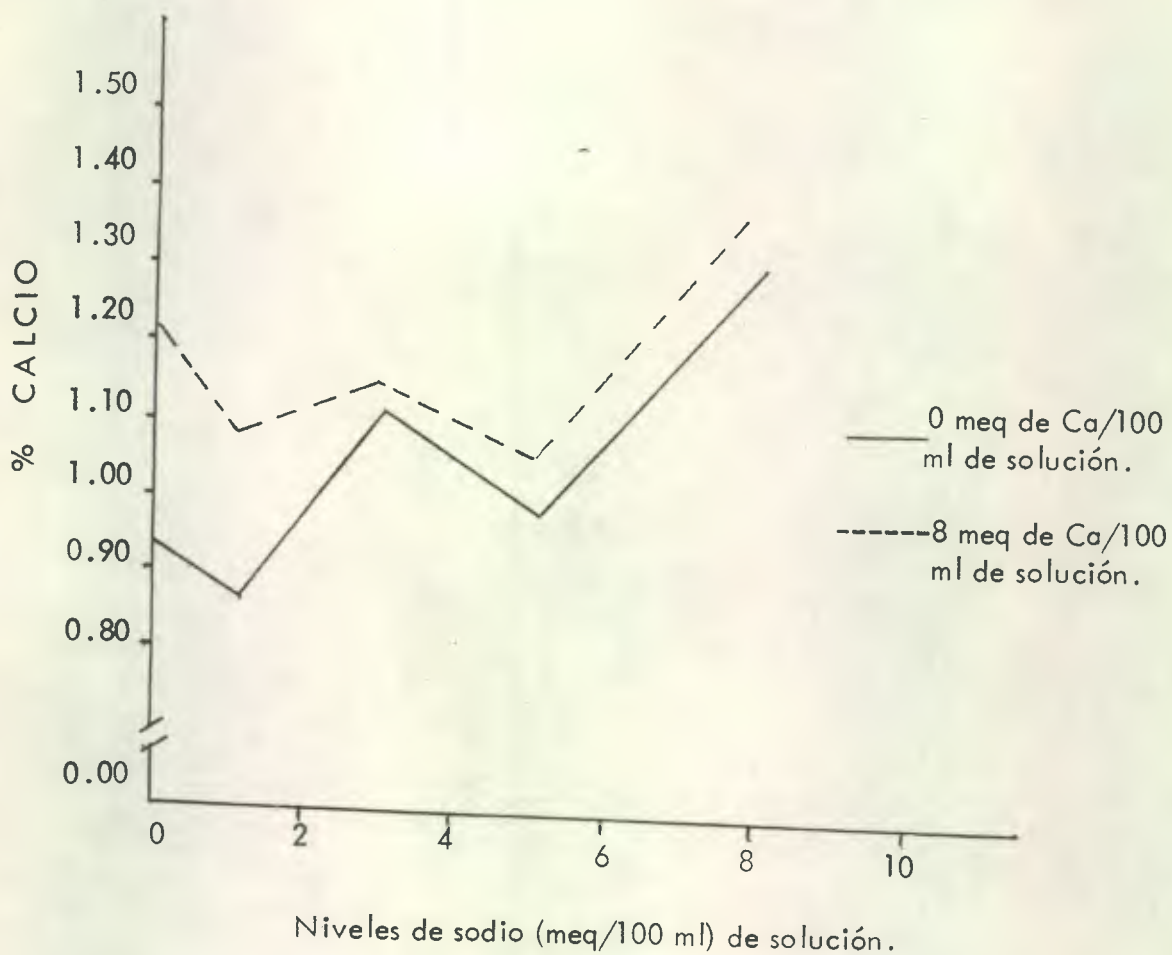
GRAFICA No. 8. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de frijol.

La Gráfica No. 8 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de fósforo en el tejido foliar de frijol. Se deduce que con 0,1 y 3 meq de Na existe diferencia en la concentración de fósforo para 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución, pero en los demás niveles de sodio la concentración de fósforo es la misma con calcio como sin él.



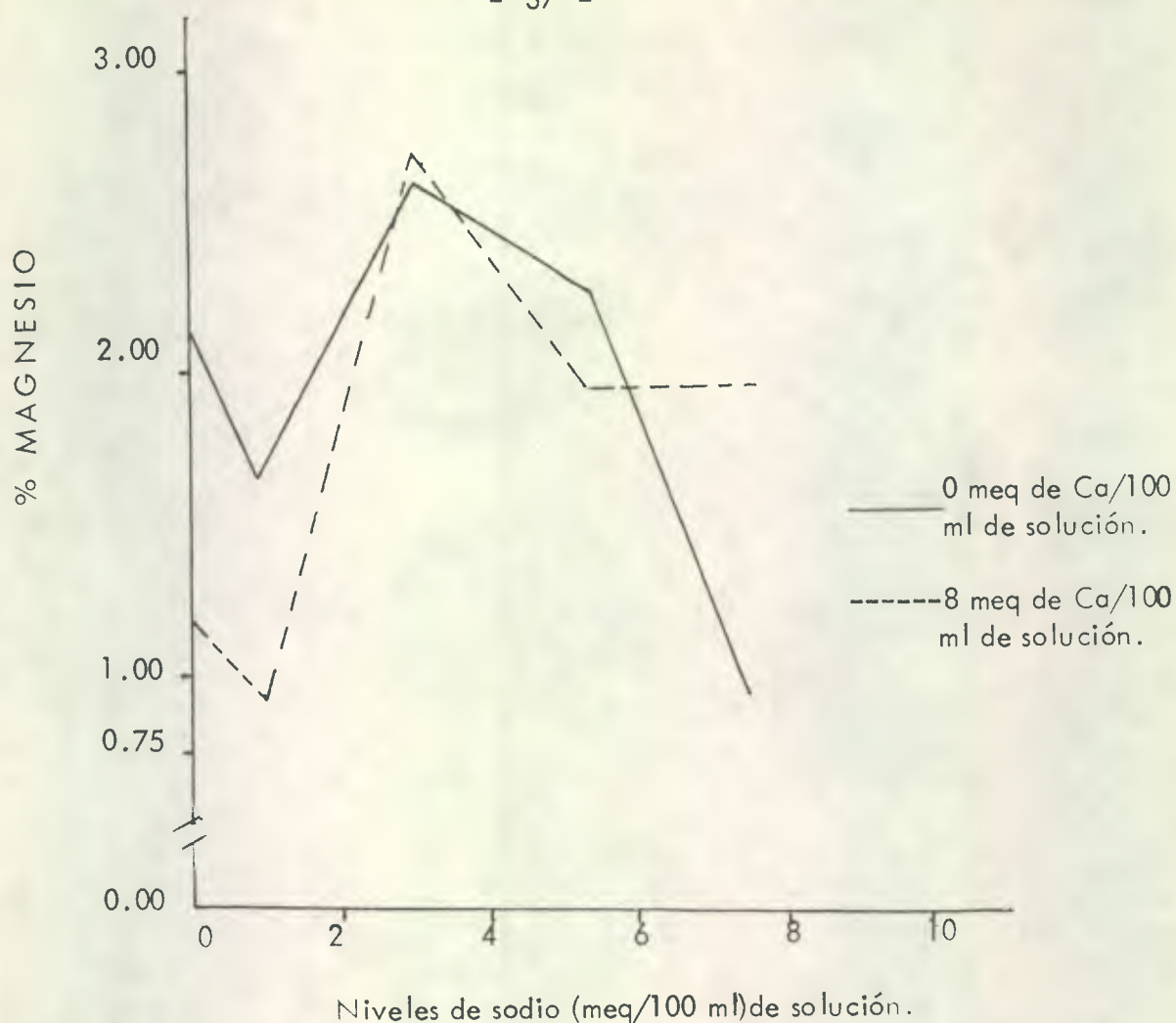
GRAFICA No. 9. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de frijol.

En la Gráfica No. 9 se aprecia el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de potasio en el tejido foliar de frijol. Se infiere que la concentración de Potasio es similar al adicionar 3 y 5 meq de Na; para 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución, pero en los demás niveles de sodio la concentración de Potasio es diferente; además se aprecia que el comportamiento de la concentración de K en este cultivo es muy diferente a la obtenida en sorgo.



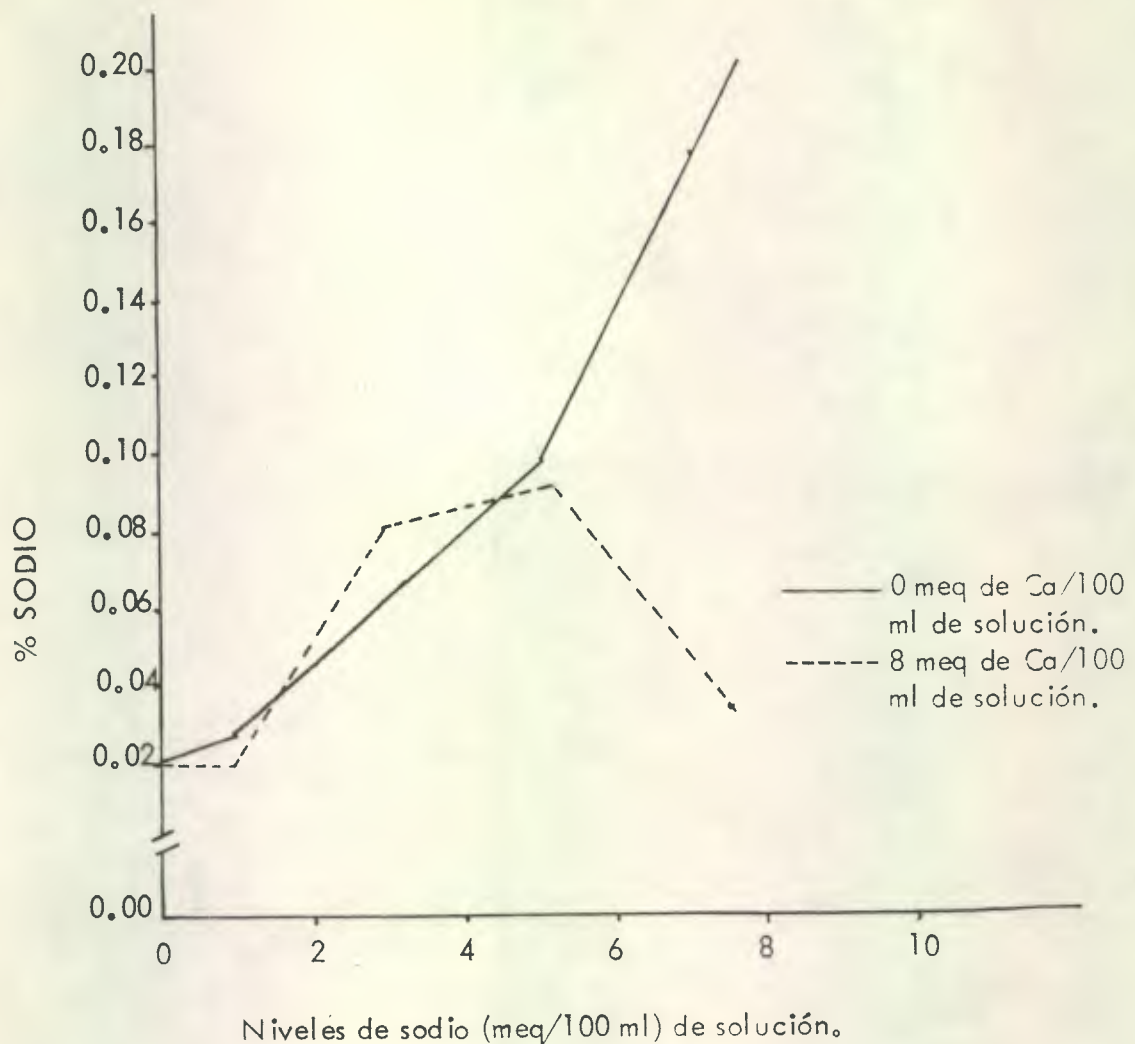
GRAFICA No. 10. Efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de frijol.

La Gráfica No. 10 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de calcio en el tejido foliar de frijol. Se deduce que el comportamiento es similar para los diferentes niveles de sodio; - pero se obtiene mayor concentración de calcio al adicionar 8 meq de Ca/100 ml de solución.



GRAFICA No. 11. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Magnesio en el tejido foliar de frijol.

La Gráfica No. 11 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de frijol. Se aprecia que la concentración de magnesio es diferente para 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución nutritiva en los diferentes niveles de sodio.



GRAFICA No. 12. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de sodio en el tejido foliar de frijol.

La Gráfica No. 12, muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de Sodio en el tejido foliar de frijol. Se aprecia un incremento de sodio en el tejido foliar en cada uno de los niveles de sodio, para 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución nutritiva, pero al adicionar a la solución nutritiva 7.5 meq de Na y 8 de Ca, el contenido de sodio en el tejido foliar disminuye; sin embargo al no existir presencia de calcio, la concentración de sodio continúa en aumento.

C) Cuadros y Gráficas correspondientes a: TOMATE

Cuadro No. 31. Análisis de varianza para altura de plantas (cm).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	7	6434.97	919.28	156.61**	4.03
Nivel Na	3	5992.80	1997.60	340.31**	5.29
Nivel Ca	1	0.25	0.25	0.04N.S.	8.53
Na x Ca	3	441.93	147.31	25.09**	5.29
Error	16	94.00	5.87		
Total	23	6528.97			

** = Significativo al 1% de probabilidad

N.S. = No significativo

C.V. = 5.84%

En el Cuadro No. 31 se aprecia el análisis de varianza de altura de plantas de tomate expresada en centímetros, bajo diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se deduce que existe efecto significativo al 1% de probabilidad debido a: niveles de sodio, la interacción de sodio por calcio; y no así para los niveles de calcio.

CUADRO No. 32. Altura media de plantas de tomate por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Altura media (cm)
8	41.55 a
0	41.38 a

D.S.H. 5% = 1.71

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 32 se observa la altura promedio de tomate expresada en centímetros bajo diferentes niveles de calcio. Se infiere que los tratamientos evaluados son iguales estadísticamente al 5% de probabilidad.

CUADRO No. 33. Altura media de plantas de tomate por efecto de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Altura Media (cm)
1	60.50 a
0	52.16 b
3	41.83 c d
7.5	39.83 d e
5	34.83 f
10	19.66 g

D.S.H. 5% = 4.00

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 33 se observan las alturas promedio de tomate bajo diferentes niveles de sodio. La mayor altura promedio se obtiene al adicionar 1 meq de Na - en la solución nutritiva; además al agregar 3 y 7.5 meq de Na no existe diferencia al 5% de probabilidad, los demás tratamientos son diferentes al 5% de probabilidad.

CUADRO No. 34. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la altura de tomate.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	1.5 N.S.	4.49
Ca con Na ₁	1	4.1 N.S.	4.49
Ca con Na ₃	1	37.5 **	4.49
Ca con Na ₅	1	48.1 **	4.49
Ca con Na _{7.5}	1	308.1 **	4.49
Ca con Na ₁₀	1	42.6 **	4.49

** = Significativo al 5% de probabilidad.

N.S. = No significativo.

En el Cuadro No. 34 se aprecia la interacción de sodio y calcio sobre la altura del tomate. Se infiere que al agregar 0 y 1 meq de Na en la solución nutritiva no existe significancia, mientras que con los demás tratamientos de sodio se tiene efecto de calcio sobre el desarrollo de las plantas.

CUADRO No. 35. Análisis de varianza para peso seco (g/planta).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	7	176.73	25.25	180.35**	4.03
Nivel Na	3	175.06	58.35	416.78**	5.29
Nivel Ca	1	0.11	0.11	0.78 N.S.	8.35
Na x Ca	3	1.56	0.52	3.71 N.S.	5.29
Error	16	2.32	0.14		
Total	23	179.05			

** = Significativo al 1% de probabilidad

N.S. = No significativo

C.V. = 11.42%

En el Cuadro No. 35 se aprecia el análisis de varianza de peso seco de tomate expresado en g/planta, evaluado con diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Existe diferencia significativa al 1% de probabilidad debido a: niveles de sodio, respecto a los niveles de calcio y la interacción sodio por calcio, no son significativos.

CUADRO No. 36. Peso seco medio de plantas de tomate por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Peso seco medio (g/planta)
0	3.33 a
8	3.22 a
D.S.H. 5% = 0.26	

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 36 se muestra el rendimiento de biomasa de plantas de tomate en g/planta con diferentes niveles de calcio. En el cual se aprecia que los tratamientos evaluados son iguales al 5% de probabilidad.

CUADRO No. 37. Peso seco medio de plantas de tomate por efecto de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Peso seco medio (g/planta)
1	6.77 a
0	5.87 b
3	2.15 c d
5	1.99 d
7.5	1.86 d e
10	0.98 f

D.S.H. 5% = 0.62

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 37 se muestra el rendimiento promedio de tomate en g/planta con diferentes niveles de sodio. Se infiere que en los tratamientos que se adicionó 3, 5, 7.5 meq de Na en la solución nutritiva no existe diferencia significativa al 5% de probabilidad, el mayor rendimiento se obtiene al adicionar 1 meq de Na; también se aprecia que al incrementar el contenido de sodio decrece el peso seco.-

CUADRO No. 38. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco de tomate.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	0.00 N.S.	4.49
Ca con Na ₁	1	0.79 N.S.	4.49
Ca con Na ₃	1	0.46 N.S.	4.49
Ca con Na ₅	1	0.01 N.S.	4.49
Ca con Na _{7.5}	1	0.40 N.S.	4.49
Ca con Na ₁₀	1	0.00 N.S.	4.49

N.S. = No significativo al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 38 se aprecia el efecto de la interacción de sodio y calcio con respecto al rendimiento de peso seco de tomate. Se deduce que no existe diferencia significativa al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados.

CUADRO No. 39. Análisis de varianza para peso seco radicular (g/planta)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	7	12.53	1.79	84.23**	4.03
Nivel Na	3	11.61	3.87	182.12**	5.29
Nivel Ca	1	0.005	0.005	0.23 N.S.	8.53
Na x Ca	3	0.92	0.31	14.58 N.S.	5.29
Error	16	0.34	0.021		
Total	23	12.87			

** = Significativo al 1% de probabilidad

N.S. = No significativo

C.V. = 15.2%

El Cuadro No. 39 muestra el análisis de varianza de peso seco radicular de tomate expresado en g/planta, en el que se aplicaron diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se infiere que existe diferencia significativa al 1% de probabilidad debido a: niveles de sodio, pero no significativo para los niveles de calcio y la interacción sodio por calcio.

CUADRO No. 40. Peso seco radicular medio de plantas de tomate por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Peso seco radicular (g/planta)
8	0.94 a
0	0.93 a

D.S.H. 5% = 0.10

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

El Cuadro No. 40 muestra el peso seco radicular promedio de tomate con diferentes niveles de calcio. Se infiere que los tratamientos evaluados son iguales al 5% de probabilidad.

CUADRO No. 41. Peso seco radicular medio de plantas de tomate por efecto de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Peso seco radicular (g/planta)
1	1.77 a
0	1.59 a b
3	0.85 c d
5	0.74 d e
7.5	0.46 f
10	0.20 g

D.S.H. 5% = 0.24

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 41 se aprecia el peso seco radicular de tomate con diferentes niveles de sodio. Se infiere que los tratamientos en que se adicionó 0 y 1 meq de Na son iguales al 5% de probabilidad, lo mismo sucede en los tratamientos con 3 y 5 meq de Na, pero en los demás tratamientos existe diferencia significativa al 5% de probabilidad. El peso seco radicular decrece al incrementar el contenido de sodio.

CUADRO No. 42. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco radicular de tomate.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	0.18 N.S.	4.49
Ca con Na ₁	1	0.60 N.S.	4.49
Ca con Na ₃	1	0.00 N.S.	4.49
Ca con Na ₅	1	6.00 **	4.49
Ca con Na _{7.5}	1	8.12 **	4.49
Ca con Na ₁₀	1	0.01 N.S.	4.49

N.S. = No significativo al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 42 se observa el efecto de la interacción de sodio y calcio sobre el peso seco radicular. Se deduce que existe diferencia significativa en los tratamientos con 5 y 7.5 meq de Na por presencia de calcio, los demás tratamientos son iguales al 5% de probabilidad.

CUADRO No. 43. Análisis de varianza para longitud radicular (cm).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculada	F Tabulada 1%
Tratamiento	7	888.89	126.98	84.65**	4.03
Nivel Na	3	813.55	271.18	180.78**	5.29
Nivel Ca	1	25.00	25.00	16.66**	8.53
Na x Ca	3	50.34	16.78	11.19**	5.29
Error	16	24.00	1.5		
Total	23	912.89			

** = Significativo al 1% de probabilidad.

C.V. = 9.11%

En el Cuadro No. 43 se observa el análisis de varianza de longitud radicular de tomate expresada en centímetros, evaluada bajo diferentes niveles de sodio y calcio en la solución nutritiva. Se infiere que existe efecto significativo al 1% de probabilidad debido a niveles de sodio, de calcio y la interacción de sodio por calcio.

CUADRO No. 44. Longitud radicular media de plantas de tomate por efecto de niveles de calcio.

Nivel de Ca (meq)	Longitud radicular (cm)
0	14.28 a
8	12.61 b

D.S.H. 5% = 0.86

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

El Cuadro No. 44 expresa la longitud radicular de tomate bajo diferentes niveles de calcio. Existe efecto significativo al 5% de probabilidad para los tratamientos evaluados; la mayor longitud radicular promedio se obtiene al adicionar 0 meq de calcio a la solución nutritiva.

CUADRO No. 45. Longitud radicular media de plantas de tomate por efecto de niveles de sodio.

Nivel de Na (meq)	Longitud radicular media (cm).		
0	20.83	a	
1	18.00	b	
3	13.83	c	
7.5	10.66	d	e
5	10.00	e	f
10	6.83		g

D.S.H. 5% = 2.02

Las medias con la misma letra son iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro No. 45 se aprecia la longitud radicular promedio de tomate con diferentes niveles de sodio. Al adicionar 0, 1, 3, y 7.5 meq de sodio a la solución nutritiva, existe diferencia significativa al 5% de probabilidad. La mayor longitud radicular se obtiene con 0 meq de sodio; con 5 y 7.5 meq de sodio los tratamientos son iguales al 5% de probabilidad, al aumentar el contenido de sodio decrece la longitud radicular.

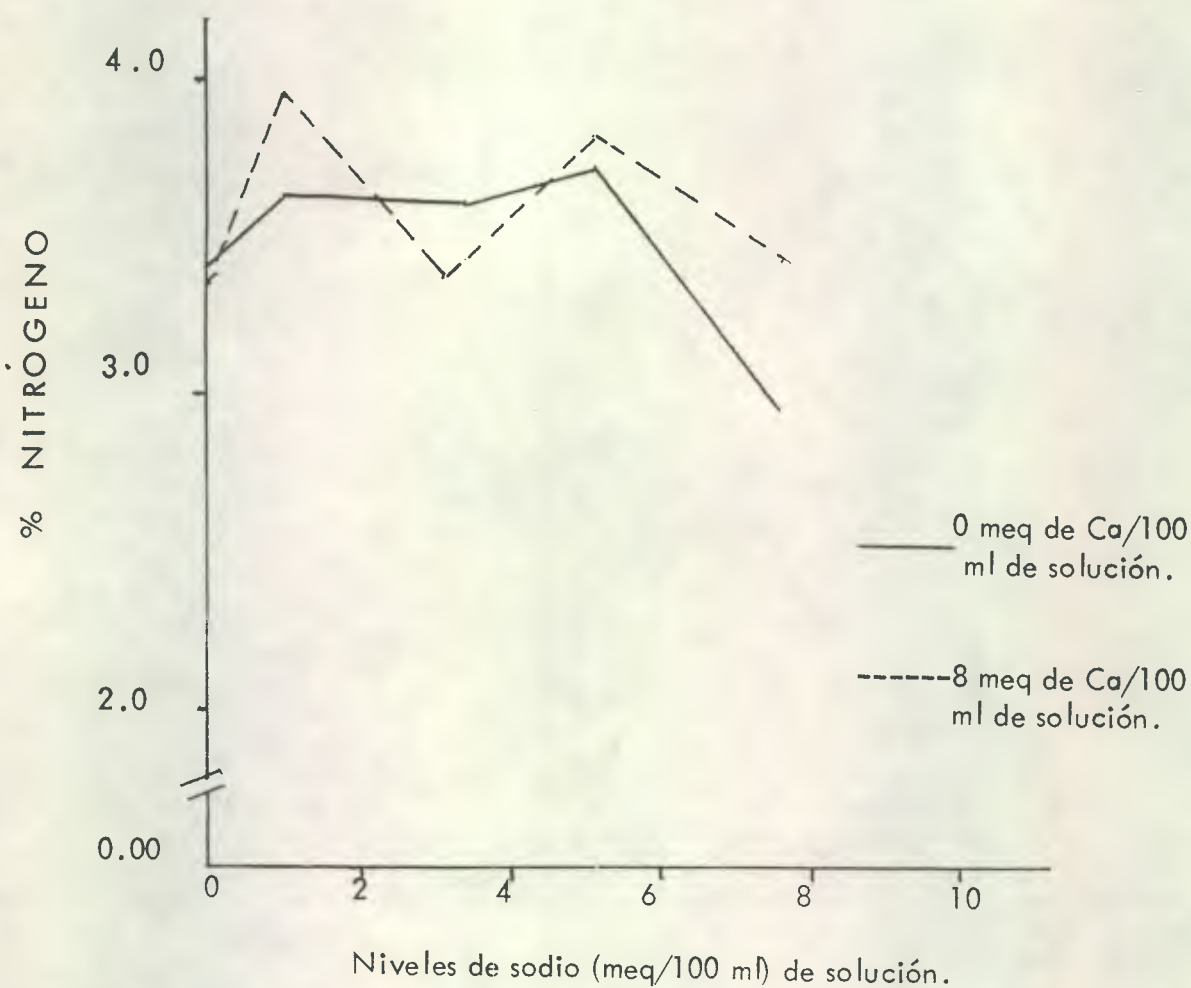
CUADRO No. 46. Efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la longitud radicular de tomate.

Fuente de Var.	Grados de Lib.	F Calculada	F Tabulada 5%
Ca con Na ₀	1	0.16 N.S.	4.49
Ca con Na ₁	1	54.00**	4.49
Ca con Na ₃	1	20.16**	4.49
Ca con Na ₅	1	0.16 N.S.	4.49
Ca con Na _{7.5}	1	0.66 N.S.	4.49
Ca con Na ₁₀	1	0.16 N.S.	4.49

** = Significativo al 5% de probabilidad

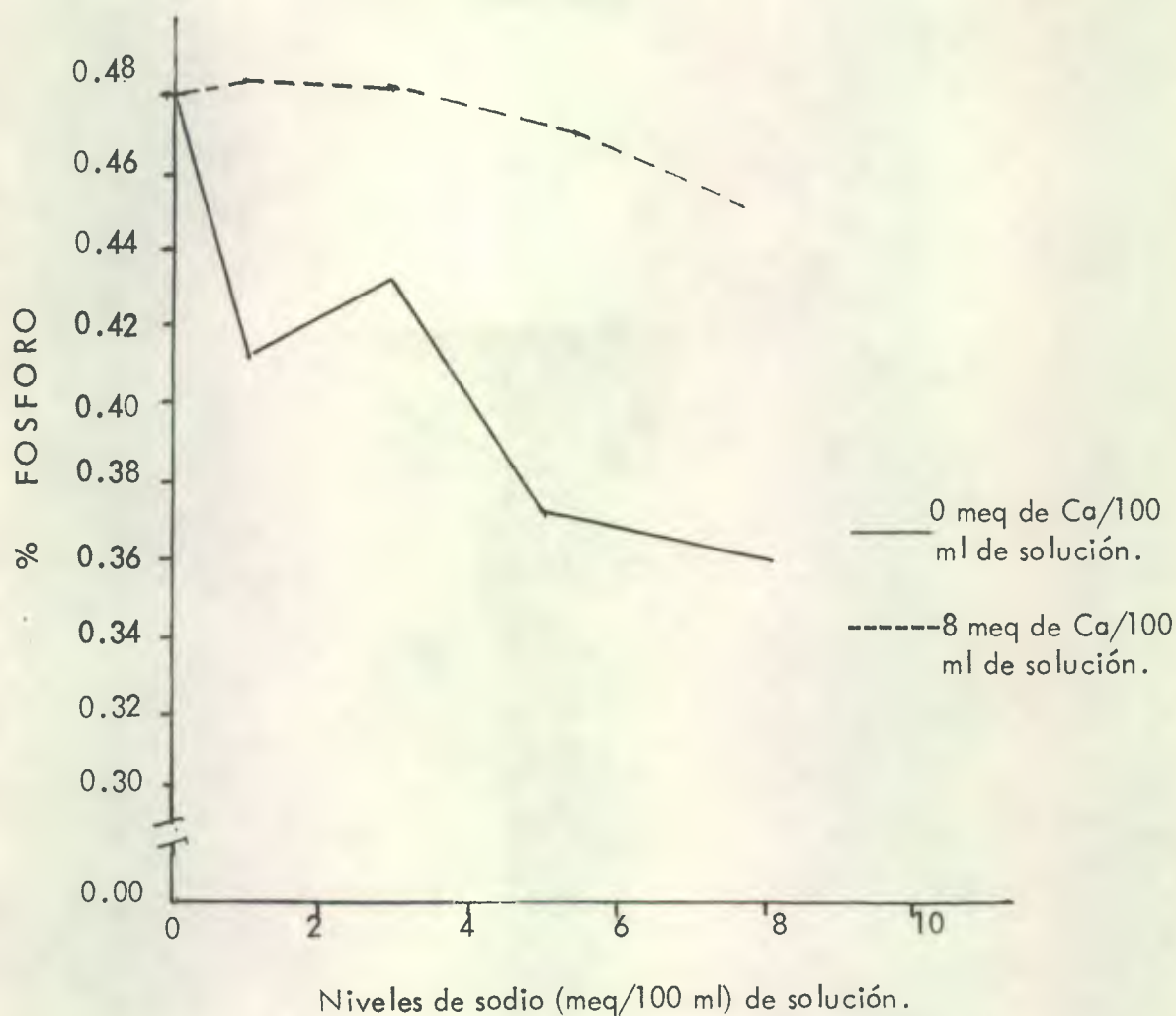
N.S. = No significativo

El Cuadro No. 46 muestra el efecto de la interacción de sodio y calcio sobre la longitud radicular. Existe diferencia significativa al 5% de probabilidad con 1 y 3 meq de Na en la solución nutritiva por la presencia de calcio; los demás tratamientos son iguales al 5% de probabilidad.



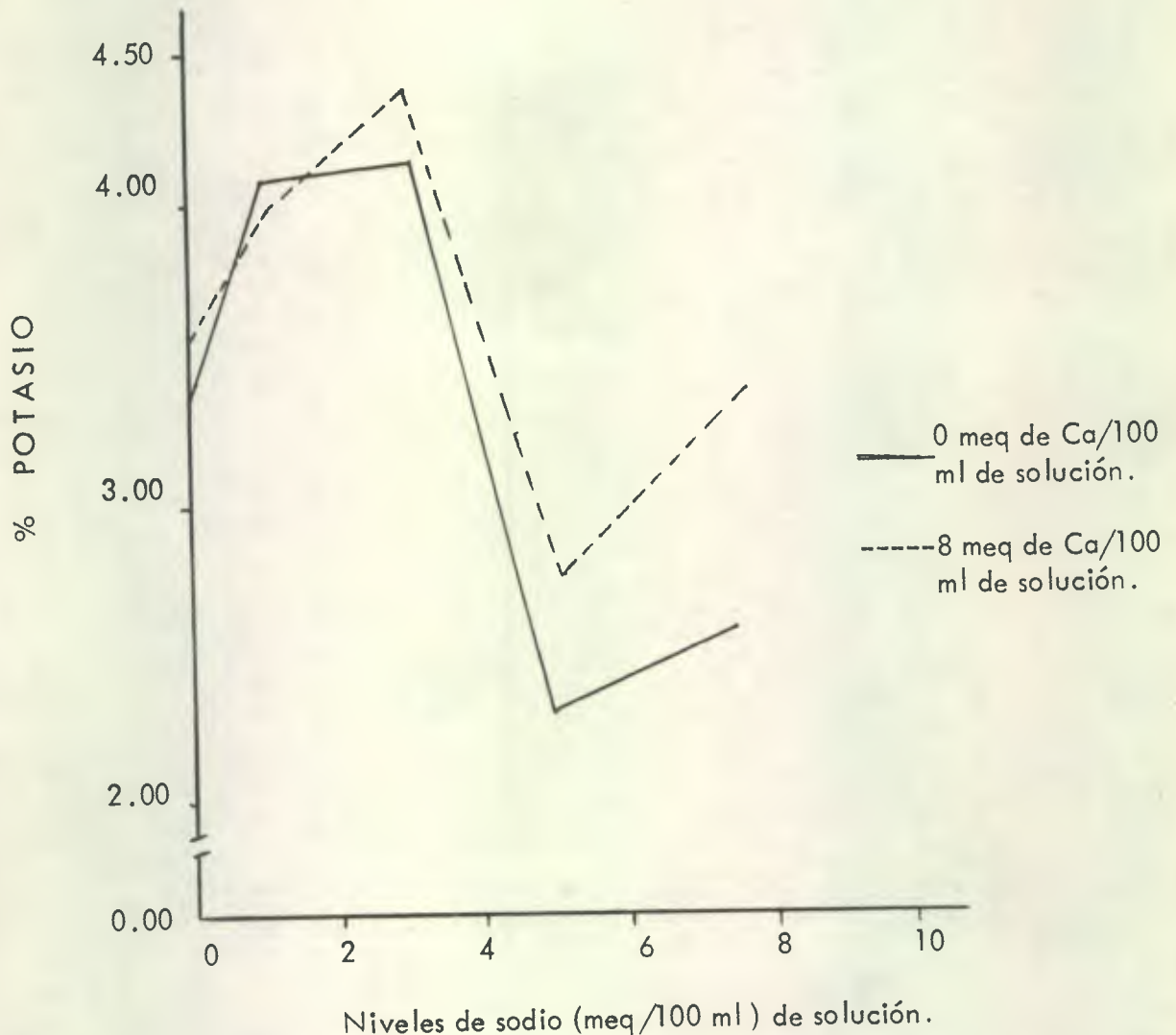
GRAFICA No. 13. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Nitrógeno en el tejido foliar de tomate.

La Gráfica No. 13 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de Nitrógeno en el tejido foliar de tomate. Se observa que existe una concentración de Nitrógeno diferente en los niveles de sodio para 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución nutritiva.



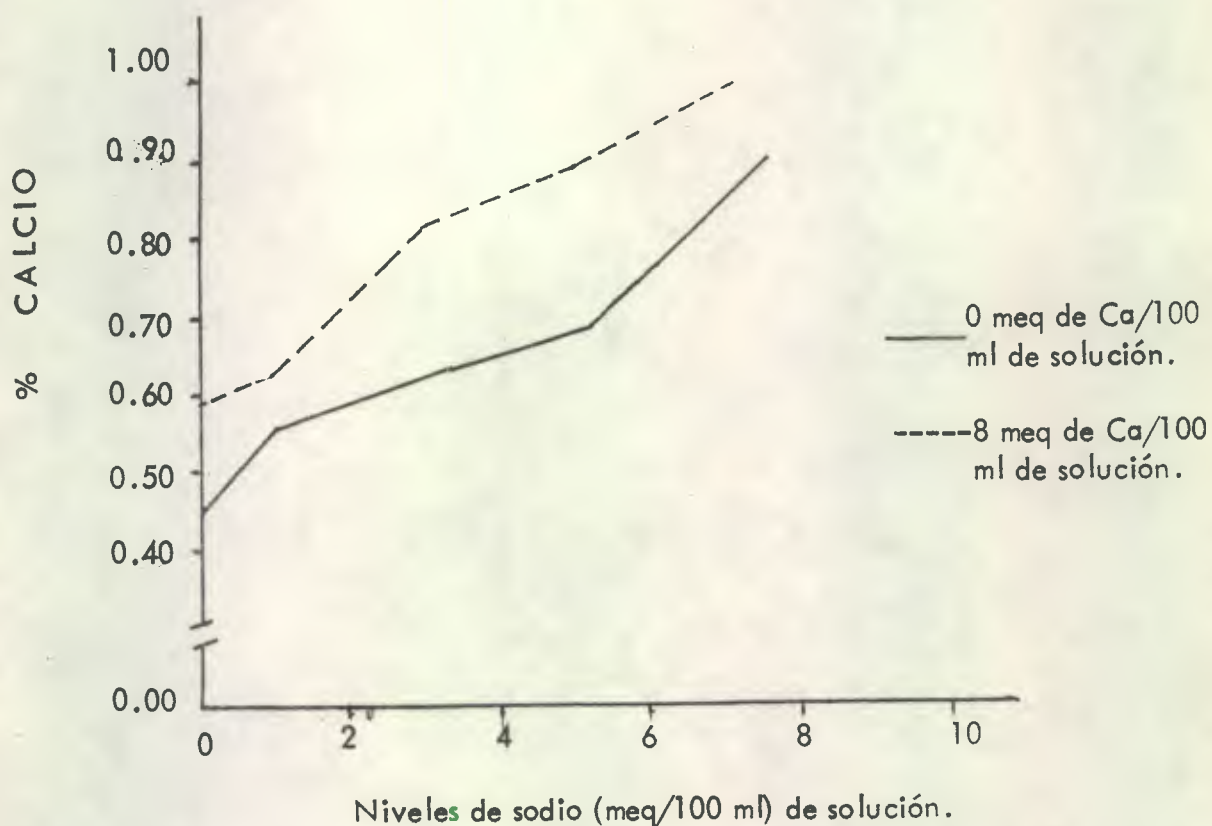
GRAFICA No. 14. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Fósforo en el tejido foliar de tomate.

La Gráfica No. 14 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de Fósforo en el tejido foliar de tomate. Se infiere que la concentración de Fósforo en los diferentes niveles de sodio es mayor cuando se adiciona a la solución nutritiva 8 meq de Ca/100 ml de solución. También se aprecia que disminuye la concentración de fósforo al incrementar los niveles de sodio con calcio o sin él.



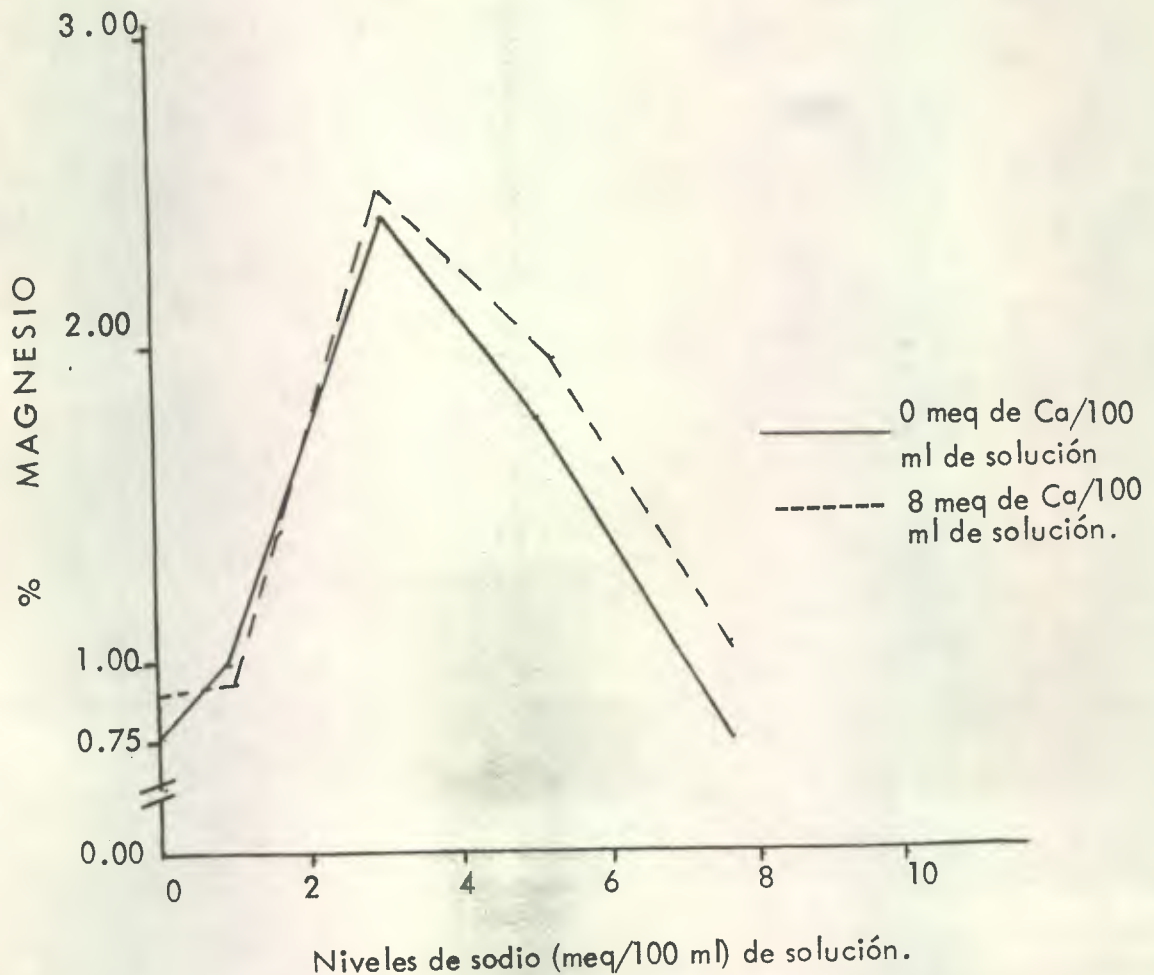
GRAFICA No. 15. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Potasio en el tejido foliar de tomate.

En la Gráfica No. 15 se aprecia el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de Potasio. Se deduce que la concentración de Potasio es similar en los diferentes niveles de sodio para 0 y 8 meq de Ca/100 ml de solución nutritiva, pero se obtiene mayor concentración de Potasio con 8 meq de Ca/100 ml de solución. Además se deduce que con más de 3 meq de sodio, la concentración de potasio en la planta disminuye con calcio o sin el.-



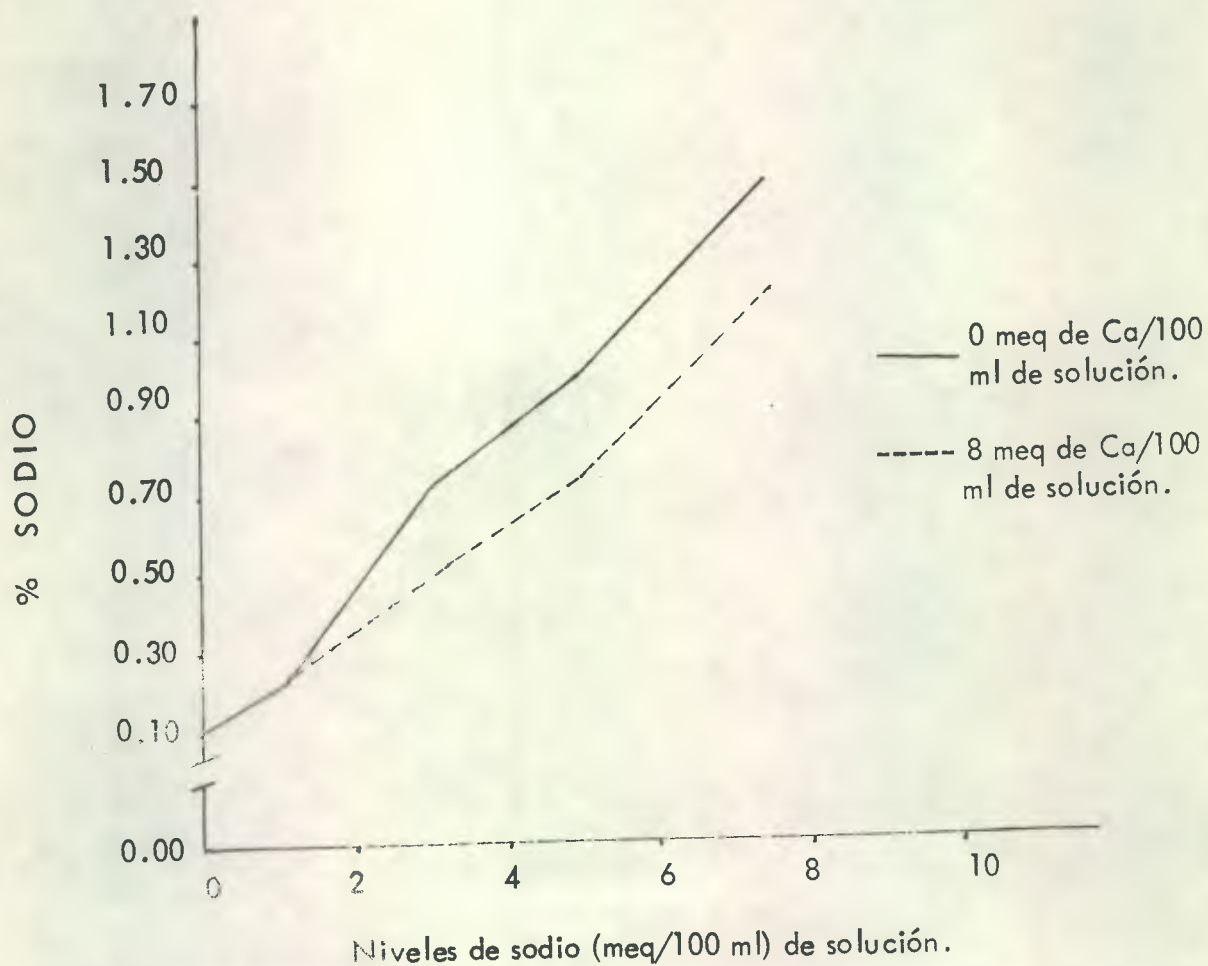
GRAFICA No. 16. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Calcio en el tejido foliar de tomate.

La Gráfica No. 16 muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de Calcio en el tejido foliar de tomate. Se observa un comportamiento creciente en la concentración de calcio para los diferentes niveles de sodio; pero se obtiene una mayor concentración de Calcio cuando se agregan a la solución nutritiva 8 meq de Ca/100 ml de solución.



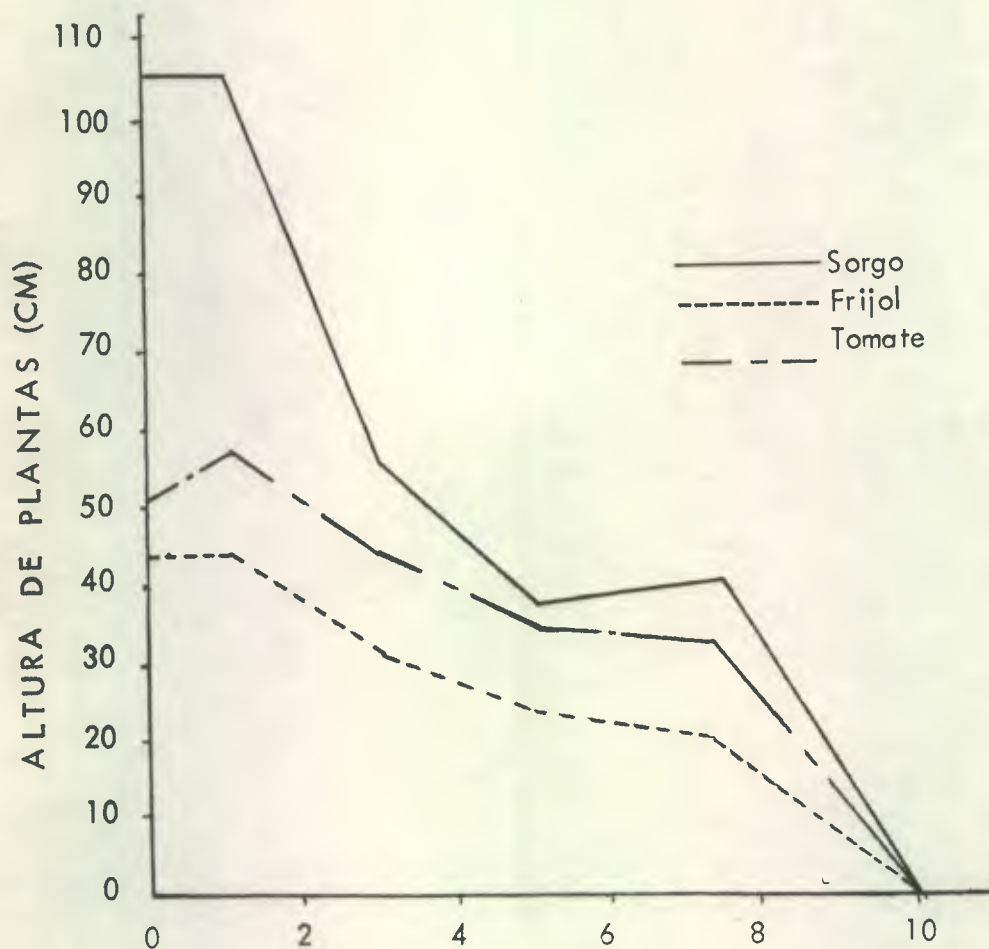
GRAFICA No. 17. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de tomate.

En la Gráfica No. 17 se muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de magnesio en el tejido foliar de tomate. Se aprecia un comportamiento similar para los diferentes niveles de sodio. Además se deduce que con más de 3 meq de sodio, la concentración de magnesio en la planta disminuye con calcio o sin el.



GRAFICA No. 18. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la concentración de Sodio en el tejido foliar de tomate.

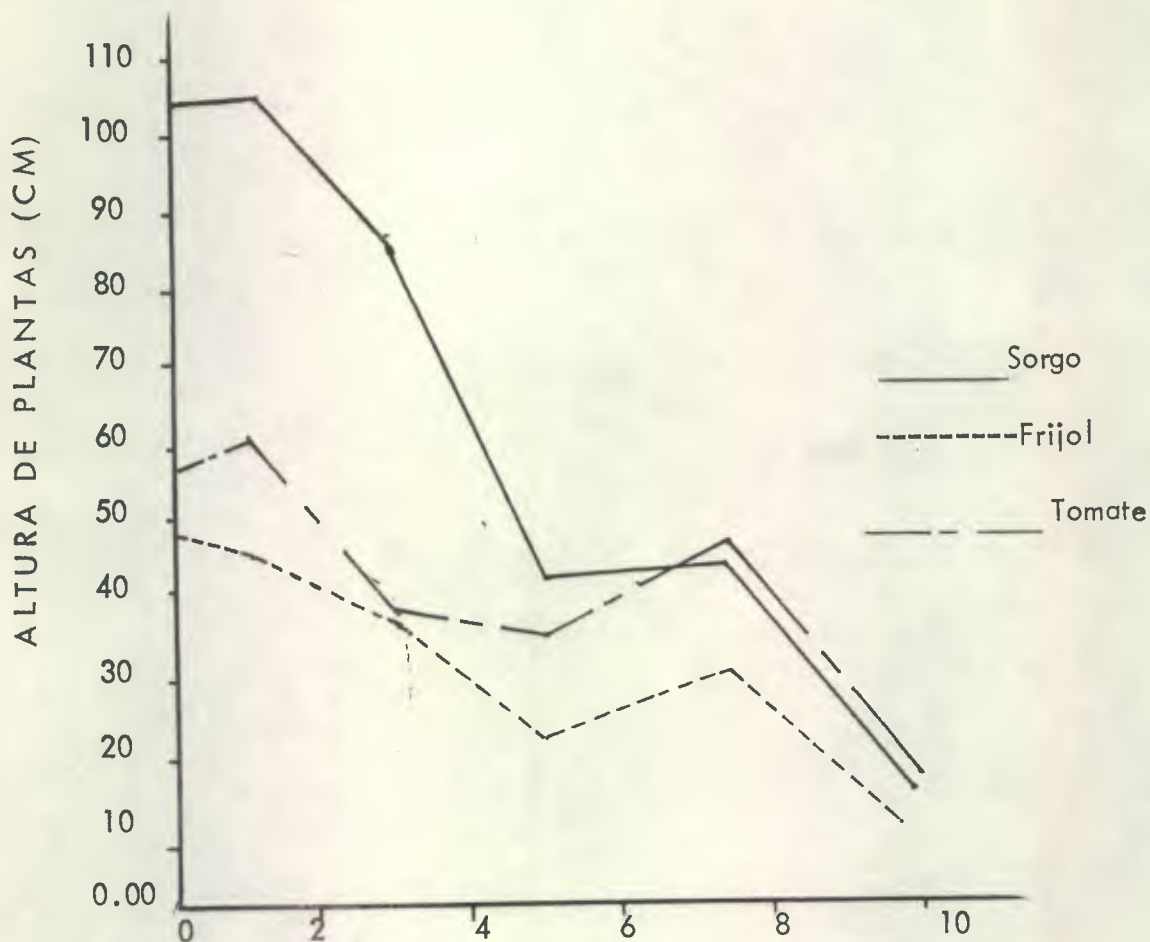
En la Gráfica No. 18 se muestra el efecto de los niveles de sodio en la solución nutritiva, sobre la concentración de sodio en el tejido foliar de tomate. Se aprecia un incremento de la concentración de sodio en el tejido foliar, en cada nivel de sodio aplicado; pero se obtiene menor concentración de sodio en el tejido foliar cuando se adicionan a la solución nutritiva 8 meq de Ca/100 ml de solución.



Niveles de sodio (meq/100 ml) en la solución nutritiva con 0 meq de calcio.

GRAFICA No. 19. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre la altura de sorgo, frijol y tomate.

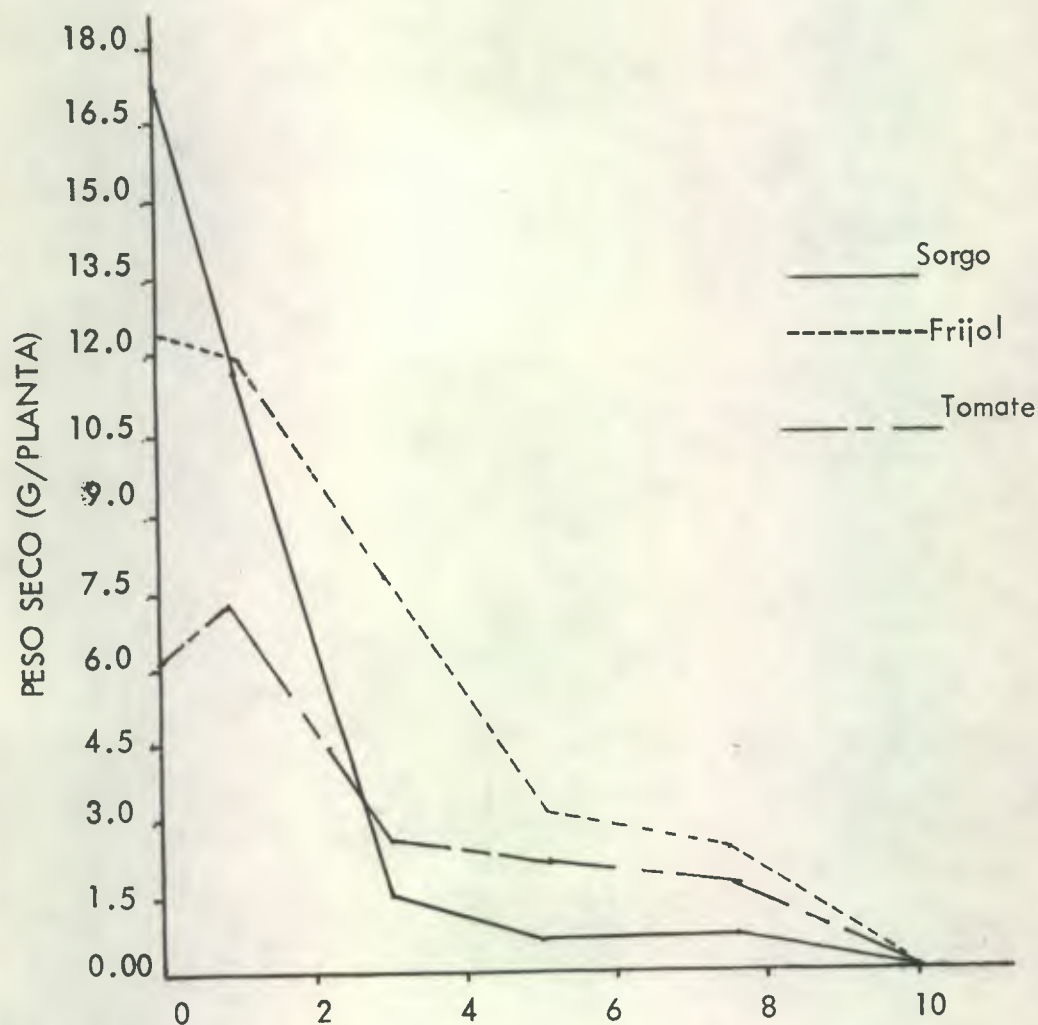
La Gráfica No. 19, muestra la altura promedio de sorgo, frijol y tomate bajo diferentes niveles de sodio en la solución nutritiva con 0 meq de Ca/100 ml de solución. Se observa que al incrementar el contenido de sodio en la solución nutritiva la altura en cm disminuye, y al adicionar a la solución nutritiva 10 meq de sodio, las plantas no se desarrollan.



Niveles de sodio (meq/100 ml) de solución nutritiva con 8 meq de calcio.

GRAFICA No. 20. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva con presencia de calcio sobre la altura de sorgo, frijol y tomate.

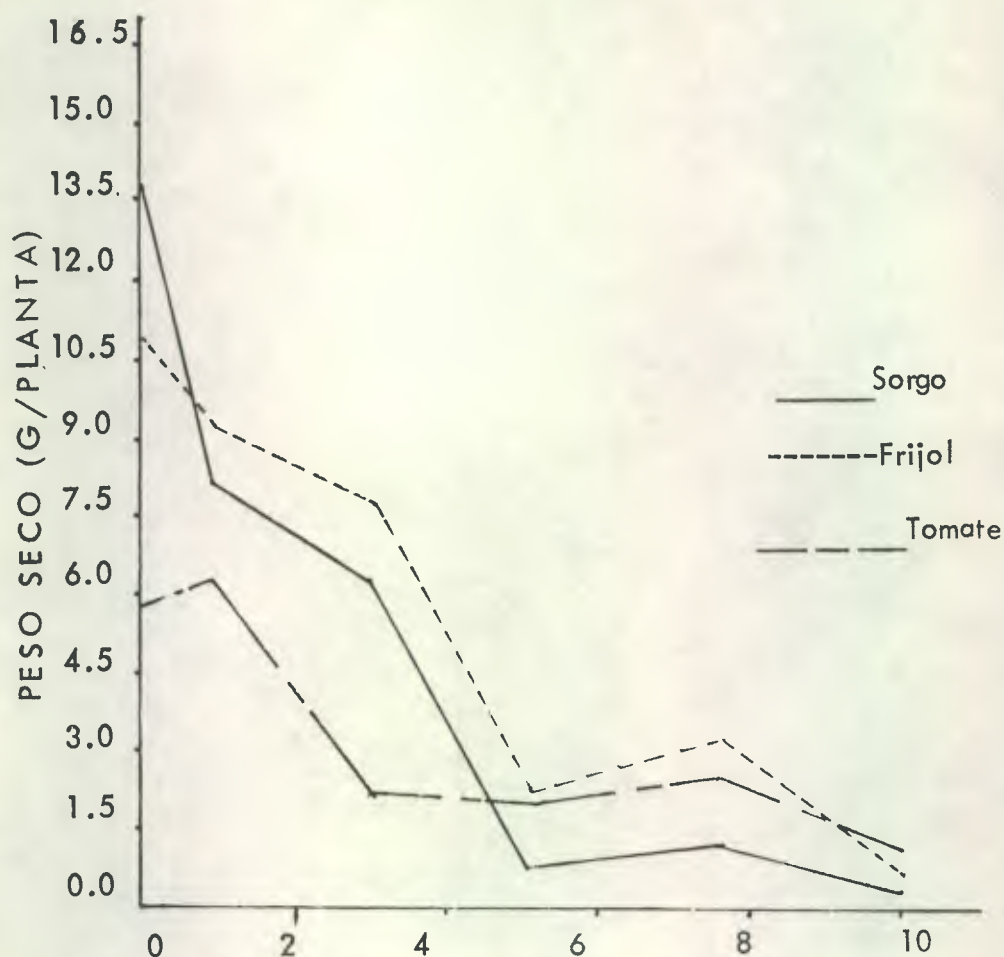
La Gráfica No. 20 muestra la altura promedio de sorgo, frijol y tomate bajo diferentes niveles de sodio y 8 meq de Ca/100 ml en la solución nutritiva. Se deduce que existe efecto de calcio sobre el desarrollo de las plantas y estos resultados coinciden con los obtenidos por Epstein 1961 (5) y quien explica el efecto del calcio sobre el proceso selectivo en la absorción de sodio; que además disminuye la relación de sodio sobre calcio.



Niveles de sodio (meq/100 ml) de solución nutritiva con 0 meq de calcio.

GRAFICA No. 21. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva sobre el peso seco de sorgo, frijol y tomate.

En la Gráfica No. 21 se muestra el peso seco promedio en g/planta de sorgo frijol y tomate bajo diferentes niveles de sodio con 0 meq de Ca/100 ml en la solución nutritiva. En base a la gráfica se deduce que al incrementar el contenido de sodio en la solución nutritiva el peso seco disminuye para los tres cultivos.-



Niveles de sodio (meq/100 ml) en la solución nutritiva con 8 meq de calcio.

GRAFICA No. 22. Efecto de niveles de sodio en la solución nutritiva con presencia de calcio sobre el peso seco de sorgo, frijol y tomate.

En la Gráfica No. 22 se aprecia el peso seco promedio de sorgo, frijol y tomate bajo diferentes niveles de sodio y 8 meq de Ca/100 ml en la solución nutritiva. Al incrementar el contenido de sodio disminuye el peso seco para los tres cultivos, al relacionar los resultados de peso seco de la Gráfica 21 y la Gráfica 22 se infiere la importancia de sodio.

VII) CONCLUSIONES:

- 1) En base a las características evaluadas, para los tres cultivos: Sorgo, Frijol y Tomate respecto a biomasa (g/planta), altura (cm), longitud radicular (cm), análisis de concentración de nutrientes en la planta (%) y tiempo de germinación (días después de la siembra), se concluye:
 - a) El rendimiento de biomasa y altura de plantas, decrece al incrementar los niveles de sodio en la solución nutritiva para los tres cultivos evaluados, mientras que con la presencia de calcio el decremento es menor. En base a lo anterior, se aceptan las hipótesis uno y dos.
 - b) La concentración de sodio en el tejido foliar, tiende a disminuir con la presencia de calcio en la solución nutritiva para los tres cultivos evaluados. En base a lo anterior, se acepta la hipótesis uno.
 - c) Cuando se adicionan 10 meq de Na/100 ml en la solución nutritiva sin presencia de calcio, las plantas en los tres cultivos germinan pero no contemplan su ciclo vegetativo. En base a lo anterior se acepta la hipótesis uno.

2) SORGO:

Tanto para la altura como para biomasa, los promedios más altos se obtienen cuando se adicionan de 0 a 3 meq de Na/100 ml en la solución nutritiva con más de 3 meq de Na, se aprecia un decremento para altura y biomasa pero se obtienen promedios más altos con presencia de calcio.

3) FRIJOL:

En este cultivo, de igual manera los promedios más altos para la altura y biomasa se obtienen cuando se adicionan de 0 a 3 meq de Na/100 ml en la solución nutritiva. Con más de 3 meq de Na/100 ml se aprecia un decremento para altura y biomasa, pero se obtienen promedios altos con presencia de calcio.

4) TOMATE:

El tomate tiene un comportamiento similar al de sorgo y del frijol en cuanto a altura y biomasa.

Este cultivo es el que retiene la mayor concentración de sodio en el tejido foliar de los tres cultivos evaluados. Además en este cultivo el calcio no es significativo para la altura de plantas y peso seco de la parte aérea y radicular. La mayor longitud radicular se obtiene sin presencia de calcio, en base a lo anterior se rechaza la hipótesis uno.

En base a las conclusiones anteriores y por ser el inicio de la investigación sobre salinidad, los resultados obtenidos en el presente experimento, pueden servir como información para la realización de trabajos posteriores sobre salinidad a nivel de invernadero y campo con suelos específicos.

VIII) **BIBLIOGRAFIA:**

- 1) ACEVES NAVARRO, E. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Identificación, control, combate y adaptación. México, Colegio de Postgraduados, 1979. pp 195-203.
- 2) BONNET, J. A. Edafología de los suelos salinos y sódicos. San Juan, Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola, 1965. pp 63-64 y 167.-
- 3) COCHRAN, W. G. y COX, G. M. Diseños experimentales. Mexico Trillas, 1981. pp 177-214.-
- 4) COLMENARES MORA, J. E. Efecto de la salinización del suelo sobre el crecimiento y producción del frijol. Tesis Mag. Sc. - Producción Vegetal. Turrialba Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1972. pp 1-12.-
- 5) EPSTEIN, E. The essential role of calcium in selective cation transport by plants cells. California, University of California, Department of Soils and Plant Nutrition, 1961. pp 437-444.-
- 6) GABB, M. H. y LATCHEN, W. E. Manual de soluciones de laboratorio. Madrid, Bellaterra, 1973. p 106.-
- 7) GALICIA ESCOBAR, J. H. Efecto del encalado y respuesta al fósforo en suelos ácidos de Izabal con plantas indicadoras de tomate. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1981. p 100.-
- 8) GUATEMALA, INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, Atlas geográfico nacional. Guatemala, 1972.-
- 9) INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS, Simposio sobre salinidad. La Molina, Perú. 1966. p 6.-

- 10) MIRANTES, B. y ORTEGAT, E. Efecto del carbonato y silicato de calcio sobre el rendimiento de sorgo y algunas propiedades químicas de tres suelos de México. Agrociencia, México No. 7: 81-94, 1972. Serie "C".-
- 11) POLANCO SALGUERO, C. Niveles de fertilización con nitrógeno fósforo y aplicaciones de cal agrícola en tomate. Tesis Ing. Agr. Guatemala. Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1981. p 59.-
- 12) RICHARDS, L. A. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 4a. ed. México, Secretaria de Agricultura y Ganadería, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, 1965. pp 63-71-136 y 137. Manual de Agricultura No. 60.-
- 13) SANCHEZ DEL CASTILLO, F. y ESCALANTE REBOLLEDO, E. Hidroponia, un sistema de producción y métodos de cultivo. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo, 1981. p 33.-
- 14) VALENZUELA RUIZ, T. Las interacciones entre iones específicos de los fertilizantes y de las sales del suelo. México, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Memorandum Técnico No. 346, 1975. pp 5 y 15.-



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

"IMPRIMASE"

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Cesar A. Castaneda S.



ING. AGR. ~~CEGAR~~ A. CASTANEDA S.
D E C A N O