

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



"EFECTO DE TRES DOSIS DE CINCO ELEMENTOS QUIMICOS
NO ESENCIALES SOBRE EL CULTIVO DEL SORGO
(Sorghum vulgare Pers.) BAJO CONDICIONES DE HIDROPONIA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

LEOPOLDO LOZANO GARZA

MARIN, N. L.

ABRIL DE 1989



T

SB235

L69

c.1



1080062124

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



"EFECTO DE TRES DOSIS DE CINCO ELEMENTOS QUIMICOS
NO ESENCIALES SOBRE EL CULTIVO DEL SORGO
(*Sorghum vulgare* Pera.) BAJO CONDICIONES DE HIDROPONIA"

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

LEOPOLDO LOZANO GARZA

MARIN, N. L.

ABRIL DE 1989

09778

T
SB 235
L69

040.633
FA 13
1989
C.5



Biblioteca Central
Magna Solidaridad

F. tesis



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

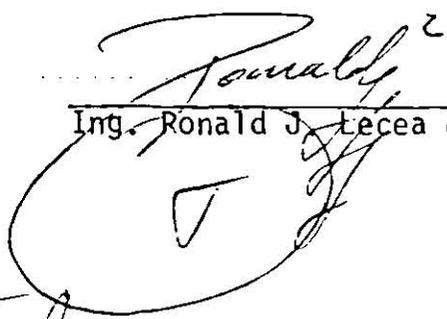
FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

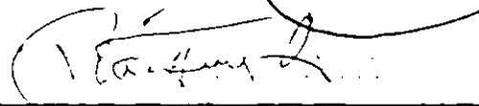
"Efecto de tres dosis de cinco elementos químicos no esenciales sobre el cultivo del sorgo (Sorghum vulgare Pers.) bajo condiciones de hidroponia"

Tesis aceptada y aprobada como requisito parcial para optar por el título de INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA, elaborada por LEOPOLDO LOZANO GARZA.

COMITE SUPERVISOR DE TESIS



Ing. Ronald J. Lecea Juárez



Ph.D. Rigoberto E. Vázquez A.



Ing. M.C. Cecilio Escareño Rdgz.

MARIN, N.L.

ABRIL DE 1989

DEDICATORIA

A DIOS:

Por tu ayuda y por darme la satisfacción de ver realizada una etapa más de mi vida.

A MIS PADRES:

Sr. Ricardo Santos Lozano Gutiérrez
Sra. María Lourdes Garza de Lozano

Con todo mi amor y admiración.

Gracias por el apoyo y comprensión que me han brindado desde siempre y que ha hecho posible el ver culminados mis estudios.

Que Dios los bendiga.

A MIS ABUELOS:

Sr. Leopoldo Lozano Garza
Sra. Josefa Gutiérrez de Lozano

Sr. José Garza Garza
Sra. Mercedes Cantú de Garza

Con respeto y cariño.

A MIS HERMANOS:

María de Lourdes

Diana Perla

Ricardo

Mónica Belinda

Con el cariño que nos ha unido
siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Ronald J. Lecea Juárez

Por su amistad y por la dedicación mostrada en la elaboración de este trabajo.

A los Maestros:

Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado

Ing. Cecilio Escareño Rodríguez

Por su colaboración en la revisión del presente trabajo.

A todos los Maestros que influyeron en mi educación universitaria y a todos mis amigos, que hicieron más agradable mi paso por esta Facultad.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización de este trabajo de tesis.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCION.	1
II. REVISION DE LITERATURA.	3
2.1. Origen de <u>Sorghum vulgare</u> Pers.	3
2.2. Importancia del cultivo del sorgo.	3
2.3. Descripción botánica.	4
2.3.1. Sistema radicular.	4
2.3.2. Tallos.	4
2.3.3. Hojas.	5
2.3.4. Flores.	5
2.3.5. Grano.	5
2.4. Exigencias ecológicas del sorgo.	6
2.4.1. Temperatura.	6
2.4.2. Humedad.	6
2.4.3. Fotoperíodo.	6
2.4.4. Altitud.	7
2.4.5. Latitud.	7
2.4.6. Suelos.	7
2.5. Etapas fenológicas del cultivo.	7
2.5.1. Fase vegetativa.	7
2.5.2. Fase reproductiva.	8
2.5.3. Fase de maduración.	8
2.6. Litio.	9
2.6.1. Importancia del elemento.	9
2.6.2. Contenido en las plantas.	9
2.6.3. Contenido en el suelo.	10
2.6.4. Litio extractable.	10
2.6.5. Toxicidad del elemento.	11
2.7. Vanadio.	12
2.7.1. Contenido en el suelo.	12
2.7.2. Esencialidad.	12
2.7.3. Trabajos similares.	12

	Página
2.8. Cobalto.	14
2.8.1. Importancia del elemento.	14
2.8.2. Disponibilidad del Cobalto.	14
2.8.3. Toxicidad del elemento.	16
2.8.4. Deficiencia del elemento.	16
2.9. Estroncio.	16
2.9.1. Importancia del elemento.	16
2.9.2. Relación Estroncio-Calcio.	17
2.9.3. Estroncio radioactivo.	18
2.9.4. Contenido en el suelo.	18
2.9.5. Disponibilidad en el suelo.	19
2.10. Uranio.	19
2.10.1. Importancia del elemento.	19
2.10.2. Uranio en el suelo.	20
2.11. Hidroponia.	20
2.11.1. Definición del concepto.	20
2.11.2. Importancia de la hidroponia.	20
2.11.3. Ventajas de la hidroponia.	22
2.11.4. Desventajas de la hidroponia.	23
2.11.5. Soluciones nutritivas.	24
2.11.6. Hidroponia en el estudio del contenido mineral de las plantas.	25
III. MATERIALES Y METODOS.	26
3.1. Localización del Sitio Experimental.	26
3.2. Materiales utilizados.	26
3.3. Solución nutritiva utilizada.	27
3.4. Características agronómicas de la variedad Master 911-R.	27
3.5. Descripción del diseño experimental.	28
3.6. Metodología.	29
3.6.1. Siembra.	29
3.6.2. Trasplante.	29
3.6.3. Aplicación de los elementos químicos	30

	Página
3.6.4. Aireación.	30
3.6.5. Vigilancia.	30
3.6.6. Variables evaluadas.	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.	33
V. CONCLUSIONES.	37
VI. RECOMENDACIONES.	38
VII. RESUMEN.	39
VIII. BIBLIOGRAFIA.	42
IX. APENDICE.	45

INDICE DE CUADROS Y TABLAS

Cuadro	Página	
1	Análisis de varianza para altura de planta (cm). Evaluación de tres dosis de Litio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponía.	46
2	Análisis de varianza para altura de planta (cm). Evaluación de tres dosis de Vanadio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponía.	46
3	Análisis de varianza para altura de planta (cm.) Evaluación de tres dosis de Cobalto en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponía.	46
4	Análisis de varianza para altura de planta (cm). Evaluación de tres dosis de Estroncio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponía.	47
5	Análisis de varianza para altura de planta (cm). Evaluación de tres dosis de Uranio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponía.	47
6	Análisis de varianza para peso seco de la planta (g). Evaluación de tres dosis de Litio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponía.	47
7	Análisis de varianza para peso seco de la planta (g). Evaluación de tres dosis de Vanadio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponía.	48
8	Análisis de varianza para peso seco de la planta (g). Evaluación de tres dosis de Cobalto en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponía.	48

Cuadro	Página
9 Análisis de varianza para peso seco de la planta (g). Evaluación de tres dosis de Estroncio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponia.	48
10 Análisis de varianza para peso seco de la planta (g.) Evaluación de tres dosis de Uranio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponia.	49
11 Análisis de varianza para concentración de Litio en la planta (ppm). Evaluación de tres dosis de Litio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponia.	49
12. Análisis de varianza para concentración de Vanadio en la planta (ppm). Evaluación de tres dosis de Vanadio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponia.	49
13 Análisis de varianza para concentración de Cobalto en la planta (ppm). Evaluación de tres dosis de Cobalto en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponia.	50
14 Análisis de varianza para la concentración de Estroncio en la planta (ppm). Evaluación de tres dosis de Estroncio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponia.	50
15 Análisis de varianza para concentración de Uranio en la planta (ppm). Evaluación de tres dosis de Uranio en el cultivo del sorgo bajo condiciones de hidroponia.	50
16 Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable altura de planta en plantas con concentración de Litio.	51
17 Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable altura de planta en plantas con concentración de Vanadio.	51

Cuadro		Página
18	Comparación múltiple de medias de tratamientos para la <u>va</u> riable peso seco de la planta en plantas con concentra- ción de Estroncio.	52
19	Comparación múltiple de medias de tratamientos para la <u>va</u> riable peso seco de la planta en plantas con concentra- ción de Uranio.	52
20	Comparación múltiple de medias de tratamientos para la <u>va</u> riable concentración de Litio en la planta.	53
21	Comparación múltiple de medias de tratamientos para la <u>va</u> riable concentración de Vanadio en la planta.	53
22	Comparación múltiple de medias de tratamientos para la <u>va</u> riable concentración de Cobalto en la planta.	54
23	Comparación múltiple de medias de tratamientos para la <u>va</u> riable concentración de Estroncio en la planta.	54
24	Comparación múltiple de medias de tratamientos para la <u>va</u> riable concentración de Uranio en la planta.	55
Tabla		
1	Sintomatología específica de exceso de Litio en cultivos de seis géneros diferentes.	11
2	Pesos secos de plantas de Lino, Soya y Chícharo creciendo en soluciones nutritivas conteniendo varias concentracio- nes de Vanadio.	14
3	Resultados de los análisis de varianza y los coeficientes de variación de las 15 variables probadas.	36

Tabla		Página
4	Variaciones de elementos traza en suelos (en ppm de suelo seco).	56
5	Solución nutritiva patrón.	57
6	Rangos mínimo, óptimo y máximo de elementos presentes en soluciones hidropónicas según Douglas (1976).	58

I. INTRODUCCION

Hace aproximadamente 130 años se descubrió que las plantas podían crecer satisfactoriamente solo con la ayuda de sales minerales y agua, y a partir de ese momento y hasta nuestros días los elementos minerales del suelo han ido cobrando cada vez mayor importancia.

En la actualidad, el hombre ha podido determinar entre 16 y 20 elementos considerados esenciales para el desarrollo de las plantas conocidos como macronutrientes y micronutrientes; sin embargo, las plantas absorben elementos minerales de las proximidades de las raíces de una forma indiscriminada y llegan a tener cantidades pequeñas de noventa o más elementos en sus tejidos. Sobre estos elementos, que en su conjunto representan menos del 1% de las cenizas totales de la planta, se han realizado muy pocas investigaciones.

El número ya muy grande de elementos que se han podido determinar aumenta a medida que los procedimientos de exámen son más sensibles. Elementos que solo se descubren en el suelo en cantidades pequeñas pueden representar cantidades apreciables cuando se refiere a la masa de tierra explorada por las raíces.

Es importante realizar estudios sobre estos elementos traza, ya que es muy poco lo que se sabe sobre ellos en cuanto a su relación con las plantas, ya sea ésta nociva, benéfica o nula.

Los objetivos del presente trabajo de investigación son los que a continuación se indican:

1. Conocer los niveles críticos de absorción de los elementos Litio,

Vanadio, Cobalto, Estroncio y Uranio por parte de la planta.

2. Determinar el grado de influencia de estos elementos sobre las variables cuantitativas de altura y peso seco.

Las hipótesis correspondientes son las siguientes:

1. Existen niveles críticos de absorción de los elementos Litio, Vanadio, Cobalto, Estroncio y Uranio por parte de la planta.
2. Las concentraciones de estos elementos actúan adversamente en relación a la altura de la planta y peso seco de la planta.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Origen de (Sorghum vulgare Pers.)

La palabra sorgo es de origen italiano y se emplea para citar a una gramínea que se encuentra en estado espontáneo en el Sudán occidental, desde los confines saharianos hasta Abisinia.

Se cree que el sorgo (Sorghum vulgare Pers.) es originario de Africa en la zona ecuatorial, y que habría aparecido en tiempos prehistóricos entre 5000 y 7000 años atrás, o tal vez más. Se considera que tiene 5000 años como especie cultivada.

Hacia el comienzo de la era cristiana, se le conocía en la India y Europa y Plinio ya lo menciona en el Siglo I. Parece que el sorgo llegó a China en el Siglo XIII y al hemisferio occidental hasta el XVIII (17; 24, 29).

2.2. Importancia del cultivo del sorgo

El cultivo del sorgo ha adquirido mucha importancia en los últimos años. Su mayor capacidad para tolerar la sequía, el álcali y las sales, que la mayor parte de las plantas cultivadas, lo hace muy valiosa en zonas marginales. La planta se cultiva en muchas regiones de Africa y extensamente también en la India, China, Manchuria y los Estados Unidos.

En México, el sorgo empezó a adquirir importancia aproximadamente en 1958 en la zona norte de Tamaulipas (Río Bravo) y de ahí, se extendió a todos los estados de la República, llegando en 1984 a ser el

segundo cultivo en importancia nacional con 2 millones de hectáreas cultivadas y una producción de 6;700,000 toneladas.

El sorgo es un cultivo con gran diversidad de usos, entre los cuales están: como forraje y grano para la engorda de animales, en la alimentación humana, como material de construcción y en la industria en la elaboración de combustible, alcohol, bebidas alcohólicas, jarabes, cera, almidón, "tapioca" de sorgo, dextrosa, aceite comestible y otros (4, 7, 8, 24).

2.3. Descripción botánica

2.3.1. Sistema radicular

Las raíces del sorgo son adventicias, fibrosas y desarrollan numerosas raíces laterales. La profusa ramificación y amplia distribución del sistema radicular, proporcionan al sorgo en parte, su resistencia a la sequía. Además, la planta tiene la capacidad de permanecer latente durante largos períodos de sequía sin que las partes florales en desarrollo mueran y continuar su crecimiento cuando las condiciones vuelvan a ser favorables (24).

2.3.2. Tallos

Los tallos del sorgo son cilíndricos, erectos, sólidos y crecen a una altura de 0.60 m a 4.50 m. Están divididos longitudinalmente en canutos (entrenudos) cuyas uniones las forman los nudos. Cada nudo está provisto de una yema lateral, en lados opuestos, lo mismo que en el maíz (16, 24).

2.3.3. Hojas

Las hojas aparecen alternas sobre el tallo, las vainas foliares son largas y en las variedades enanas se encuentran superpuestas. Su longitud puede ser de hasta 1.0 m y su anchura varía de 0.10 a 0.15 m. El número de hojas va desde 14 a 17 hojas en plantas bien adaptadas hasta 30 hojas en plantas menos adaptadas. Las hojas del sorgo se doblan durante períodos de sequía, reduciendo la transpiración. Además tienen una capa cerosa que también ayuda a la resistencia de la especie a la sequía (15, 24).

2.3.4. Flores

La inflorescencia del sorgo es llamada panícula y puede ser compacta, semicompacta o abierta según la variedad. Las florecillas son de dos clases, sésiles y pediceladas. Las últimas son por lo general estaminadas. Cada florecilla sésil contiene un ovario que da origen a una semilla. El androceo y el gineceo se encuentran total o parcialmente cubiertos por algunas según la variedad, las cuales pueden ser de color negro, rojo, café o color naja.

2.3.5. Grano

El grano es un cariopside de forma redondeada con un diámetro entre 3-6 mm y que en su madurez alcanza diferentes tonalidades y coloraciones a partir de los colores básicos: blanco, amarillo, gris, rojo, azul. La mayor parte del grano es endosperma, el cual se compone de almidón casi en su totalidad (17, 24).

2.4. Exigencias ecológicas del sorgo

2.4.1. Temperatura

Se considera como temperatura media óptima para su crecimiento los 26.7 °C y como mínima 16°C; temperaturas medias de 16°C ya no son convenientes, pues el ciclo se alarga y bajan los rendimientos; sin embargo, se han desarrollado variedades para climas templados con temperaturas medias de 15°C. La temperatura media máxima a que se puede desarrollar el sorgo es de 37.5 °C.

2.4.2. Humedad

Los sorgos se cultivan ampliamente en las zonas tropicales y templadas, pueden desarrollarse en regiones muy áridas. Por su resistencia a las sequías, es propio el sorgo de cultivarse en áreas donde la lluvia es insuficiente para el maíz, como en aquellas que tengan una distribución de 400 a 600 mm de precipitación media anual.

2.4.3. Fotoperíodo

El sorgo se caracteriza por ser de fotoperíodo corto, lo cual indica que la maduración de la planta se adelanta cuando el período luminoso es corto y el oscuro largo. Sin embargo, existen diferencias en cuanto a la sensibilidad a la longitud del fotoperíodo. Estas diferencias son de origen genético y tienen como resultado las diferencias en madurez que son comunes entre las diversas variedades del sorgo. Puede haber casos de insensibilidad al fotoperíodo, la cual se debe aparentemente a la influencia de ciertas condiciones de temperatura.

2.4.4. Altitud

Por sus altas exigencias de temperatura, raramente se cultiva a más de 1800 m de altura. Se cultiva favorablemente de 0 a 1000 msnm. Sin embargo, en México se ha cultivado con éxito a 2,200 msnm. En Toluca (2,600 msnm) se han hecho pruebas con resultados satisfactorios.

2.4.5. Latitud

Se puede cultivar desde los 45° latitud norte a los 35° latitud sur. Aquí se obtienen los mejores rendimientos, ya que fuera de esta zona las temperaturas bajan y baja el rendimiento (16, 24).

2.4.6. Suelos

Puede cultivarse en una diversidad de suelos pero se da mejor en los terrenos ligeros, profundos y ricos en nutrientes. Los de aluvión son buenos. Los suelos arcillosos, aunque pueden proporcionar buenos rendimientos, tienen el inconveniente de que la sequía daña la raíz, al agrietarse el terreno por lo que hay que recurrir al agua de riego en los casos extremos.

Debido a su tolerancia al alcali y a las sales, el sorgo puede cultivarse en terrenos donde ciertas proporciones de sales solubles limitan la producción de otros cultivos. El cultivo crece bien en suelos con un rango de pH entre 5.5 a 8.5 (16, 20, 24).

2.5. Etapas fenológicas del cultivo

2.5.1. Fase vegetativa

El período vegetativo del sorgo tiene una duración de 30 a 40 días y se caracteriza por el desarrollo de los órganos de asimilación

(raíces, tallos, hojas). Este período coincide con una fase de crecimiento intenso. En 30 días, cuando la planta tiene solo cerca de 40 cm de alto, prácticamente ya todas sus hojas han aparecido. La materia seca que se incorpora a la estructura tanto del protoplasma como de las paredes celulares durante el crecimiento, proviene casi por completo de las sustancias nutritivas (2, 11, 15, 22).

2.5.2. Fase reproductiva

La iniciación floral se forma 30-40 días después de la germinación generalmente y marca el final del crecimiento vegetativo debido a la actividad meristemática. En este período el crecimiento ocurre por elongación celular. Alrededor de los 50 días se entra al llamado estado de polaina o de buche, donde ya puede ser vista la futura inflorescencia, luego de unos 5 ó 6 días la inflorescencia ha salido totalmente y el proceso de floración, el cual puede durar de 4 a 9 días según la variedad, se ha iniciado. La antesis ocurre por lo general de 2 a 6 días después del espigamiento. Posteriormente ocurre la polinización y fecundación del óvulo (2, 6, 15).

2.5.3. Fase de maduración

El óvulo ya fecundado comienza a desarrollarse y le toma a la semilla 30 días el alcanzar su peso seco máximo (madurez fisiológica). Durante este período pasa a través de tres estados: estado lechoso, estado de masa suave y estado de masa dura. En madurez fisiológica las semillas tienen un 30% de humedad y en 20 o 25 días se secan hasta un 10 a 15% de humedad. Durante este período pierden hasta un 10% de peso seco. La semilla se puede cosechar en cualquier momento de madurez fisio-

lógica a secado de semilla; sin embargo, la semilla con más de 12% de humedad debe ser secada antes de almacenarse (6, 15).

2.6. Litio

2.6.1. Importancia del elemento

El Litio está ampliamente distribuido en pequeñas cantidades a través de la corteza de la tierra. Es absorbido por muchas especies de plantas y ejerce efecto tanto estimulativo como tóxico en bajas concentraciones sobre las especies de plantas probadas. No es conocido como un nutriente esencial para la planta, pero existe interés acerca del efecto tóxico que produce en las plantas.

Por otra parte, este elemento ha sido recientemente referido como esencial para un desarrollo óptimo para la salud de los animales y del hombre. El aspecto del suelo y de las plantas en el ciclo ambiental de este elemento es un problema nuevo de importancia actual (5, 23).

2.6.2. Contenido en las plantas

A pesar de que hay poca información cuantitativa de los casos donde sales de Litio han sido observadas en diferentes especies, los siguientes trabajos pueden ser útiles.

Bertrand (1959b), analizó 652 especímenes de plantas y encontró que el contenido promedio de Litio de monocotiledoneas fue de 0.85 ppm y el promedio de dicotiledonas fue 1.3 ppm, ocasionalmente más.

Bradford (1960) analizó una variedad de hojas vegetales crecidas en el campo de plantas irrigadas con agua de pozo que contenía un

nivel natural alto de Litio (0.1 a 0.2 ppm). En contenido de Litio encontrado (sobre la base de peso seco de hojas maduras, etc.) fue el siguiente: hojas de apio 10 a 12 ppm; raíces de apio 5 a 9 ppm; hojas de brocoli 14 ppm; hojas de cebolla 15 ppm; raíces de cebolla 11 ppm; alfalfa (hojas y tallos) de 7 a 12 ppm; hojas de cítrico (fuertemente quemadas) 40 ppm. Como se observa, el agua de riego puede ser un factor importante en el contenido de Litio en las plantas. La concentración máxima recomendada en mg/L de Litio en el agua de riego es de 2.5 (5, 19).

2.6.3. Contenido en el suelo

El Litio total en los suelos varía de 8 a 400 ppm. de acuerdo a Swaine (1955). Steinkoenig (1915) encontró de 10 a 100 ppm de Litio en la capa superficial del suelo, comparado con 20 a 70 ppm en el subsuelo de 19 muestras de suelo colectadas de seis áreas en los Estados Unidos (5).

2.6.4. Litio extractable

Una acidificación del suelo aumenta la solubilidad, disponibilidad o toxicidad del elemento en las plantas, mientras que un aumento en la concentración de Calcio en un medio nutritivo disminuye estos factores.

Investigaciones realizadas por Bradford (1960) analizando el extracto de acetato de amonio normal neutro de 12 muestras de suelo con diferentes valores de pH desde ácido hasta básico, de diferentes áreas de California, mostraron que el contenido de Litio extractable de esos suelos fluctuó de 0.1 a 0.9 ppm, con un promedio de 0.3 ppm.

La relación entre el Litio extractable en los suelos y la cantidad de Litio tomada por las plantas no ha sido investigado suficientemente como para establecer valores del suelo indicativos de exceso de Litio (3, 5,).

2.6.5. Toxicidad del elemento

El Litio puede tener efectos tóxicos en muchas plantas aún y cuando sea absorbido en bajas concentraciones. Sintomatología visual y datos cuantitativos sobre la toxicidad del Litio escasean para la mayoría de los cultivos.

A continuación se tiene una tabla que indica la sintomatología de plantas debido a un exceso de Litio para seis géneros diferentes (5).

Tabla 1.

Planta	Síntoma visual	Referencia
Aguacate (<u>Persea americana</u>)	Las hojas muestran manchas cafés aisladas y quemadura marginal.	Bingham (1961)
Apio (<u>Apium graveolens dulce</u>)	Las hojas muestran necrosis marginal.	Darby y Westgate (1958)
Frutos de cítrico (<u>Citrus spp.</u>)	Las hojas muestran necrosis marginal y de la punta, quemaduras y manchado, clorosis de toda la planta.	Aldrich et al. (1951) Haos (1929)
Maíz (<u>Zea mays</u>)	Clorosis de toda la planta. Las células meristemáticas de la punta de la raíz están envenenadas.	Darby y Westgate (1958) y Edwards (1941).
Olivo (<u>Olea europaea</u>)	Clorosis de toda la planta.	Petri (1910)
Trigo (<u>Triticum spp.</u>)	Germinación retardada, paja corta y debil, bajo rdtó.	Vaelcker (1901)

2.7. Vanadio

2.7.1. Contenido en el suelo

En muchos reportes incluidos los de Bray (1942), Butler (1954) y Connor et al. (1957), se indica que el Vanadio es encontrado en todos los suelos. Los valores reportados de Vanadio en los suelos varían de 3 a 230 ppm del peso seco del suelo. Según Swaine (1955) los suelos usualmente contienen 20 a 500 ppm de Vanadio total (5).

2.7.2. Esencialidad

El Vanadio ha sido definitivamente considerado como elemento esencial para el alga verde (*Scenedesmus*), pero las pruebas de esencialidad para el crecimiento de las plantas verdes superiores no han sido universalmente aceptadas. El Vanadio puede reemplazar al Molibdeno, hasta un cierto límite en el proceso de fijación de Nitrógeno en *Azotobacter*. Algunos investigadores han mostrado que puede reemplazar al Molibdeno en la nutrición de las *Rhizobia*, pero este punto de vista no ha sido aceptado por completo. Incrementos en el crecimiento de las plantas superiores atribuibles al Vanadio se han señalado para el esparrago, arroz, lechuga, cebada y maíz (28).

2.7.3. Trabajos similares

Resultados de experimentos realizados con plantas cultivadas han sido mucho menos concluyentes que los llevados a cabo con microorganismos; sin embargo, existen trabajos que pueden ayudar a entender mejor el papel del Vanadio en las plantas superiores (5).

El Cloruro de Vanadio ya da signos de toxicidad al 1/25,000 en soluciones nutritivas. Kryukoff ha comprobado que 0.014_g de V(NO₃)/kg de

arena disminuye el rendimiento de los cultivos en un tercio (9).

Warrington (1946) reportó que 0.1 ppm de Vanadio en soluciones nutritivas era algunas veces benéfica a lechuga.

Prince (1957) reportó que hojas maduras de maíz contenían de 0.36 a 1.05 ppm de Vanadio en un cultivo creciendo en suelos de New Jersey. No hubo indicaciones de toxicidad de Vanadio.

Gericke y Rennenkampff (1939) encontraron que 0.1, 1.0 y 2.0 mg de Vanadio como vanadato de calcio en cultivos en solución nutritiva incrementó el crecimiento de cebada, mientras que 10 mg eran tóxicos tanto para raíces como para hojas. Sin embargo, 1.0 mg de vanadio como cloruro de vanadio fue tóxico cuando se agregó a la solución y esta misma sal añadida a cultivos en agregado (arena como sustrato) producía daños.

Chiu (1953) encontró que 150 ppm de óxido de vanadio como metavanadato de amonio, produjo un incremento en el crecimiento de plántulas de arroz, pero que 500 ppm de óxido de vanadio produjo toxicidad y 1000 ppm mató todas las plántulas.

Vanselow (1950) descubrió que con solo 10 ppm de vanadio agregado como vanadato de calcio a un suelo arenoso se logró un decremento en el crecimiento de plantulas de naranjo agrio y que en 150 ppm de vanadio, todas las plantas murieron. En todos los casos, las hojas de las plántulas tenían menos de 1 ppm de vanadio.

Los beneficios reportados a plantas cultivadas debidos a aplicaciones de vanadio a cultivos en solución nutritiva, cultivos en agregado, o suelos han sido pocos e impredecibles. Además, el nivel bajo el cual

no hay efectos tóxicos es difícil de predecir. Por lo tanto, las aplicaciones de campo de sales de vanadio no son recomendadas (5).

Tabla 2. Pesos secos de lino, soya y chícharo creciendo en solución nutritiva conteniendo varias concentraciones de Vanadio.

Vanadio en solución (ppm)	Peso seco de las plantas (g)		
	Lino	Soya	Chícharo
0.05	3.85	--	--
0.10	--	8.87	8.91
0.50	2.54	6.90	--
2.50	--	4.75	3.13
5.00	0.11	1.91	--

2.8. Cobalto

2.8.1. Importancia del elemento

No ha sido demostrado definitivamente que el Cobalto sea necesario para el crecimiento de las plantas superiores; sin embargo, es requerido por la Rhizobia para la fijación del Nitrógeno elemental y desde este punto de vista, debe ser considerado esencial en la producción de leguminosas (24).

El Cobalto desempeña un papel más importante en el organismo animal que en la planta. Los ruminantes necesitan el elemento en mayores cantidades que las no ruminantes. Los ovinos y bovinos son los más afectados por la falta del elemento y pueden presentar síntomas caracterizados por pérdida de apetito, anemia, debilidad, emaciación intensa, disminución de la fertilidad, disminución en la producción de leche y lana (9, 12, 21).

El Cobalto tiene además una gran importancia biológica, pues es parte esencial en la formación de la vitamina B₁₂, que es uno de los factores determinantes de la salud de los seres vivos incluyendo las plantas. Se cree que esta vitamina es un ingrediente esencial de la dieta de todos los animales y está íntimamente ligada al proceso de la reproducción sexual. En clínica se emplea profusamente y de manera efectiva en el tratamiento de la anemia perniciosa en los seres humanos (5, 26, 27).

2.8.2. Disponibilidad del Cobalto

El contenido total de Cobalto en los suelos es variable, pero generalmente bajo. Algunas cifras para la India indican la oscilación de este elemento como de 4 a 78 ppm. de Cobalto total en los suelos estudiados. Indudablemente hay suelos con cantidades más bajas y más altas que éstas cifras. Los niveles de Cobalto disponible son más bajos, abarcando desde unas centésimas de una ppm hasta quizás 2 ó 3 ppm.

Existen algunos factores los cuales afectan la disponibilidad del Cobalto. Científicos polacos determinaron que la naturaleza del barro tenía una pronunciada influencia sobre la adsorción del Cobalto en soluciones. El orden de adsorción fue moscovita > hematita > bentonita = caolín. Además se ha descubierto que aumentos en el pH del suelo, así como la lixiviación disminuyen la disponibilidad del Cobalto. Por otra parte, experimentos realizados por Beeson et al. (1948) indican que el contenido de Cobalto en hojas de soya fue reducido por aplicaciones de fósforo (24, 28).

El Cobalto no se añade actualmente a los fertilizantes, sino que es administrado directamente a los animales que sufren de una deficiencia del elemento (28).

2.8.3. Toxicidad del elemento

El Cobalto exhibe toxicidad a las plantas cuando las cantidades disponibles a éstas exceden ciertos niveles bajos. Haselhoff (1895) mostró que 1 ppm en solución nutritiva era tóxica a frijoles y maíz. Las plantas de tomate en solución nutritiva muestran toxicidad con dosis de 0.1 mg/L. Ahmed y Twyman (1953) encontraron que en hidroponia, pequeñas cantidades de Cobalto, algunas veces tan bajas como 0.1 ppm, producen efectos adversos en muchas plantas cultivadas. Los síntomas del exceso de Cobalto incluyen crecimiento depresivo, clorosis, necrosis, e incluso muerte de la planta. La clorosis es frecuentemente descrita como aquella ocasionada por deficiencia de hierro (5, 19).

2.8.4. Deficiencia del elemento

Debido a que no se ha demostrado que el Cobalto es requerido por la planta, no puede haber actualmente síntomas de deficiencia en las plantas. Sin embargo, como el elemento es requerido por rumiantes puede haber, en cierto sentido una deficiencia de Cobalto en plantas para forraje, al menos en lo que consierne al apacentamiento de animales.

En general, un contenido de Cobalto de menos de 5 ppm en el suelo ó de 0.08 ppm en forraje, puede guiar a una enfermedad por deficiencia en animales. Deficiencias del elemento se han reportado en muchos países, siendo las principales regiones afectadas: Europa, Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos (18, 21).

2.9. Estroncio

2.9.1. Importancia del elemento

La importancia que tiene el Estroncio en los vegetales superiores todavía es incierta. Aunque la mayoría de las plantas contienen solamente vestigios de este elemento en sus tejidos, es posible que intervenga en ciertos procesos fisiológicos afines al transporte de otros elementos dentro de la planta (27).

2.9.2. Relación Estroncio-Calcio

Aún y cuando el Estroncio no ha sido considerado esencial para la vida de las plantas, existe la posibilidad de que pueda ser capaz de reemplazar al Calcio cuando menos parcialmente, debido a la gran similitud de los dos elementos.

Según Trelease y Trelease (1931) en el caso de deficiencia de Calcio, Estroncio agregado puede vencer los efectos de enfermedad debidos a un exceso de Magnesio. Cuando las plantas superiores se desarrollan en soluciones nutritivas la toma de los dos cationes, Sr y Ca, por parte de las plantas es proporcional a las concentraciones de éstos en la solución. Bowen y Dymand (1956), Heald y Menzel (1955).

Con plantas creciendo en suelo y no en hidroponia, la situación cambia. En este caso, según Schollenberger y Dreibelbis (1930) las plantas parecen batallar para absorber estos dos elementos en la misma proporción según los contenidos "cambiables" de estos cationes.

Según el trabajo de Hurd-Karrer (1937, 1939) el Estroncio en hidroponia tiene baja toxicidad en plantas superiores siempre y cuando la proporción de Estroncio a Calcio en la solución no exceda la unidad, aún en 500 ppm de Estroncio. De acuerdo a Prischle (1932), los efectos tóxicos de Estroncio son pronunciados solamente en la ausencia de Calcio.

2.9.3. Estroncio radioactivo

Debido a su baja toxicidad tanto en plantas como en animales, el Estroncio fue de poca importancia hasta hace relativamente poco tiempo; pero con el advenimiento de los explosivos atómicos este elemento asume considerable importancia, debido a que el Estroncio radioactivo es uno de los productos de fisión atómica más fácilmente absorbidos del suelo por las plantas. Neel et al. (1953), Schulz et al. (1958).

Martin (1954) y Johns (1955) mostraron que el Estroncio radioactivo contenido en material radioactivo precipitado es fácilmente absorbido a través de las superficies de hojas y fruto.

La descontaminación de suelos contaminados con Estroncio radioactivo ha sido intentada de muchas formas; por lixiviación, métodos químicos, encalado, remoción del contaminante por cultivos, etc., pero ningún método ha sido considerado suficientemente práctico y eficaz como para recomendarse exitosamente.

2.9.4. Contenido en el suelo

Debido a las dificultades concernientes a la determinación química de las pequeñas cantidades de Estroncio asociadas con relativamente grandes cantidades de Calcio en plantas y suelos, eran pocas las determinaciones de contenido de Estroncio en el suelo que se realizaron hasta cerca de la mitad de este siglo; sin embargo, con el desarrollo de métodos específicos y sensitivos del espectógrafo de emisión comenzaron a aumentar los estudios referentes al contenido de Estroncio en el suelo. Así, se tiene que Prince (1957) reportó que el contenido de Estroncio en la superficie de 10 suelos de New Jersey era de 36 a 142 ppm.

De acuerdo a Swaine (1955), la mayoría de los suelos contienen de 50 a 1000 ppm de Estroncio, con una abundancia promedio de 150 ppm.

Mitchell (1944, 1948) encontró de 50 a 5000 ppm de Estroncio total en suelos escoceses.

Vinogradov (1954) reportó de 10 a 2000 ppm en 14 suelos en la capa superficial y de 30 a 2800 ppm en 28 subsuelos de Rusia.

2.9.5. Disponibilidad en el suelo

La toma de Estroncio por las plantas está determinada por la cantidad de Estroncio extractable en el suelo y no por el Estroncio total. Algunos investigadores han determinado el llamado Estroncio intercambiable por medio de extraer el suelo con una solución de acetato de amonio neutral 1 normal. Por este método, Gelntworth (1944) en suelos escoceses reportó de 4.4 a 8.8 ppm para cuatro suelos y de menos de 4.0 hasta 17.5 ppm de 14 subsuelos. Viro (1951) de 47 suelos de Finlandia encontró de 0.1 a 7.7 ppm de Estroncio en la forma extractable (5).

2.10. Uranio

2.10.1. Importancia del elemento

En la actualidad se sabe que muchos minerales producen radiación algunos fuerte, otros apenas perceptible. Dentro de estos minerales se encuentra el Uranio. Este elemento es absorbido por las plantas en cantidades muy pequeñas. Sin embargo, experimentos realizados en Europa indicar que los elementos radioactivos también son necesarios para la nutrición vegetal.

Por otra parte, ciertos productos de descomposición provenientes de diferentes minerales radiactivos como el Uranio, emiten rayos alfa cuya intensidad es suficiente para causar mutaciones en las plantas. Kotval y Grey(1947). Los nitratos de uranio por ejemplo, en los experimentos científicos han provocado cambios hereditarios en varias clases de hongos (27).

2.10.2. Uranio en el suelo

El Uranio se encuentra en el suelo seco supuestamente a razón de 0.9 a 5.8 ppm. Sin embargo, algunas veces el uso de cal y fertilizantes pueden enriquecer al suelo con el elemento. Además, posibles transformaciones del elemento inducidas microbiológicamente pueden variar la disponibilidad, solubilidad o estado de oxidación del elemento (1, 3).

2.11. Hidroponia

2.11.1. Definición del concepto

El término hidroponia deriva de los vocablos "hydro" o "hudor", que significan agua y "ponos" equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como "trabajo del agua" o "actividad del agua". Se puede definir a la hidroponia como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución (25).

2.11.2. Importancia de la hidroponia

La hidroponia considerada como un sistema de producción agrícola

tiene gran importancia dentro de los contextos ecológicos, económico y social. Dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, que hace que éste pueda aplicarse con éxito bajo diferentes condiciones.

Para producir alimentos en zonas áridas: por medio de la hidroponía, es posible la recirculación del agua y evitar la pérdida de ésta por evaporación.

Para producir bajo condiciones de clima templado y frío: con un sistema hidropónico bajo invernadero se pueden reducir los costos de producción y tener un mayor rendimiento por unidad de superficie, aumentando así los beneficios económicos.

Para producir en lugares donde el agua tiene un alto grado de salinidad: en hidroponía, si se cuenta con un análisis químico de esa agua es posible hacer la solución nutritiva añadiendo solo las sales que hacen falta para balancearla.

Para producir en aquellos lugares en donde no es posible la agricultura normal debido a limitantes del suelo, tales como: salinidad, erosión, pedregosidad, arcilla, tepetate, pendientes fuertes, etc.

Para producir en lugares donde el suelo es fácilmente erosionable.

Para producir hortalizas en las ciudades, en lugares como azotea, jardines, patios, terrazas, etc. a nivel de huertos familiares.

Para producir hortalizas en donde ellas son caras y escasas en una determinada localidad.

Para producir flores, plantas ornamentales, plantas medicinales o los aceites esenciales de mayor demanda.

Para la producción intensiva de forraje: este tipo de sistemas tiene importancia en regiones donde hay períodos prolongados de sequía o frío que traen como consecuencia, la escasez de forraje verde durante gran parte del año.

Para realizar investigaciones fisiológicas: como el papel en la nutrición de las plantas de los diferentes elementos, de su concentración, de su relación, de sus combinaciones; mecanismo de su absorción, influencia de las materias minerales sobre la asimilación clorofílica, etc.

Para realizar investigaciones ecológicas: como el ver el efecto de las variaciones climáticas sobre el rendimiento de un cultivo, ya que con la hidroponia las variaciones edáficas son eliminadas.

Para contribuir en la solución del problema de la conservación de recursos y de la contaminación ambiental (9, 25).

2.11.3. Ventajas de la hidroponia

La hidroponia considerada como un sistema de producción agrícola, presenta muchas ventajas, tanto técnica como económicamente con respecto a otros sistemas del mismo género, pero bajo cultivo en suelo; algunas de estas ventajas son las siguientes:

- Balance ideal de aire, agua y nutrientes
- Humedad uniforme
- Excelente drenaje
- Permite una mayor densidad de población

- Se puede corregir fácil y rápidamente la deficiencia o el exceso de un nutrimento.
- Perfecto control del pH
- Más altos rendimientos por unidad de superficie
- Mayor calidad del producto
- Mayor precocidad : en los cultivos
- Posibilidad de cultivar repetidamente la misma especie de planta
- Uniformidad en los cultivos
- Gran ahorro en el consumo de agua
- Reducción de los costos de producción
- No se depende tanto de los fenómenos meteorológicos
- Al hacer posible la producción local de alimentos en áreas antes consideradas inadecuadas se eliminan costos de transportación y almacenamiento.
- Hay posibilidad de utilizar mano de obra no calificada.

2.11.4. Desventajas de la hidroponia

La hidroponia como sistema de cultivo no a alcanzado una amplia popularidad, debido a la poca difusión que se le da y a los argumentos vertidos en su contra tales como:

El costo de la energía necesaria para mantener la temperatura, luz y humedad del ambiente hidropónico.

Requiere para su manejo a nivel comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química inorgánica.

A nivel comercial, el gasto inicial es relativamente alto.

Se requiere cuidado con los detalles, como mezclar correctamente la solución nutritiva, dar la pendiente adecuada a las camas, mantener el pH de la solución dentro de cierto rango, etc.

Se necesita conocer y manejar la especie que se cultive en el sistema (13, 25).

2.11.5. Soluciones nutritivas

La solución nutritiva es el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua. Estos elementos son obtenidos exclusivamente de compuestos inorgánicos. Los principales compuestos utilizados son: nitrato de potasio, nitrato de calcio, fosfato de potasio o de amonio, sulfato de magnesio y los microelementos hierro, cobre, magnesio, molibdeno, boro y zinc, en formas inorgánicas.

Después de años de investigación, se ha establecido que, al menos en teoría, no existe una solución ideal para una especie en particular y que la concentración óptima de cada elemento para un cultivo específico depende de un conjunto de factores (ambientales, genéticos, morfológicos etc). Esta situación ha dado lugar a la creación de cientos de fórmulas nutritivas diferentes. Sin embargo y a pesar de lo anterior, se considera que en términos generales, existe una concentración mínima, una óptima y una máxima de cada uno de los elementos esenciales, para asegurar el crecimiento satisfactorio de cualquier vegetal (Tabla 6) (14, 25).

2.11.6. Hidroponía en el estudio del contenido mineral de las plantas.

Lograr que el suelo quede libre de los elementos empleados por las plantas y después controlar las cantidades de nutrientes puestos a disposición de las raíces enterradas en este suelo es imposible. En cambio, las soluciones de cultivo representan un excelente medio para regular la cantidad y la proporción relativa de las sales minerales suministradas a las plantas en cualquier experimento. Dos otras buenas razones para el empleo de soluciones de cultivo en estudios sobre la nutrición mineral son las excelentes características de disolvente del agua y la relativa facilidad con que el agua puede ser liberada de la mayor parte de agentes contaminantes.

Sin embargo, es necesario prestar atención a pequeños detalles si se quieren alcanzar buenos resultados. Esto es porque como se puede lograr un crecimiento satisfactorio con cantidades extremadamente pequeñas de oligoelementos, se presentan siempre problemas de contaminación. Algunos de los agentes de contaminación son: el medio que rodea las raíces, los reactivos empleados, los recipientes, el agua, instrumentos de corte, semillas, e incluso el polvo de la atmósfera ambiente. Claro está, la eliminación total de estas influencias contaminadoras es imposible, pero se impone reducirlas al mínimo (10).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo se realizó durante los meses de noviembre-enero de 1989, en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el cual se encuentra localizado en el municipio de Marín, N.L. sobre la carretera Zuazua-Marín km 17, siendo sus coordenadas geográficas 25°53' latitud norte y 100°03' longitud oeste, con una altitud de 367 msnm.

3.2. Materiales utilizados

Los materiales utilizados en este trabajo son los siguientes:

- Cloruro de Cobalto $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Hidróxido de Estroncio $\text{Sr}(\text{OH})_2$
- Acetato de Uranio $\text{UO}_2(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$
- Metavanadato de Amonio NH_4VO_3
- Cloruro de Litio LiCl
- Semilla de sorgo variedad Master 911-R
- Arena de río
- Charola de propagación
- 20 frascos de 3.6 lt cada uno de vidrio oscuro
- Agua destilada
- Vasos de precitipado
- Probeta graduada
- Solución nutritiva
- Hielo seco
- Etiquetas
- Manguera de 4 mm de diámetro
- 8 bombas de aireación
- Molino Wiley de acero inoxidable

- Estufa
- Mufla
- Crisoles
- Espectrofotómetro
- Balanza analítica

3.3. Solución nutritiva utilizada

Las cantidades mencionadas son para preparar un litro de solución nutritiva.

Fuentes*	ml/lit de agua destilada
A	5
B	5
C	2
D	1
I	1
J	1

(* Ver Tabla 5

3.4. Características agronómicas de la variedad Master 911 R

- a). Época de siembra: esta variedad se siembra en primavera del 15 de febrero al 20 de marzo y en verano del 15 de junio al 31 de julio en la zona de Apodaca, N.L.
- b). Densidad de siembra: la densidad usada para esta variedad es de 14 a 18 kg/ha.
- c). Fertilización: se usa la fórmula 120-70-00 kg/ha, que se obtiene con 150 kg/ha de 18-46-00 y 200 kg/ha de urea.
- d). Correcciones de clorosis: se usa de 1 a 2 kg de sulfato ferroso, agregando 20 g de detergente por cada 100 L de agua, tan pronto se localicen manchones de plantas cloróticas.

- e). Madurez fisiológica: esta etapa se alcanza entre los 95 a 105 días.
- f). Cosecha: la cosecha se realiza a los 120-125 días.
- g). Riegos: se da un riego nueve días antes de la siembra, un primer riego de auxilio 38 días después y un segundo riego de auxilio 24 días después del primero.

3.5. Descripción del Diseño Experimental

Este trabajo de investigación está dividido en cinco partes, probándose un elemento diferente en cada una de ellas (Li, Sr, V, Co, U), cada uno de los cuales tiene un diseño experimental completamente al azar, que consta de cuatro tratamientos con tres repeticiones, con lo cual se generan 12 unidades experimentales.

El modelo estadístico que corresponde al diseño completamente al azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + E_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{array}$$

Donde:

Y_{ij} = Es el valor observado de la variable bajo estudio en el tratamiento i de la repetición j

M = Media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

E_{ij} = Es el error aleatorio que surge por el efecto conjunto de todos los factores no controlados por el diseño y que causan heterogeneidad en el experimento.

Los tratamientos son los que a continuación se indican:

$$T_1 = 0.00 \text{ ppm (testigo)}$$

$$T_2 = 1.33 \text{ ppm}^*$$

$$T_3 = 2.66 \text{ ppm}^*$$

$$T_4 = 3.99 \text{ ppm}^*$$

(*) Estas dosis están dadas para cada uno de los elementos de que consta el trabajo (Li, V, Co, U, Sr).

3.6. Metodología

El desarrollo del cultivo del sorgo se llevó a cabo bajo condiciones de hidroponia (solución nutritiva), ya que esto permite tener un control cuantitativo de los elementos absorbidos por la planta que están presentes en la solución. Se probaron tres dosis de cinco elementos tóxicos y un testigo sin dosis.

3.6.1. Siembra

La siembra se realizó el 7 de noviembre de 1988, colocando la semilla al voleo sobre una charola de germinación, utilizando arena de río como sustrato. El medio se mantuvo húmedo para facilitar la germinación, la cual ocurrió a los tres días después de la siembra. Las plantas se mantuvieron en la charola por tres semanas con la humedad necesaria y alcanzaron una altura de 12-18 cm, luego fueron trasplantadas.

3.6.2. Trasplante

Las plantas se trasplantaron el 29 de noviembre, colocándolas en los frascos que contenían la solución nutritiva.

3.6.3. Aplicación de elementos químicos

Los elementos químicos fueron agregados a la solución nutritiva dos días después de haberse efectuado el trasplante. La aplicación fue directa, dejando caer el elemento dentro del frasco, poniendo cada elemento con su dosis respectiva en cada uno de los frascos.

3.6.4. Aireación

Esta se logró colocando bombas eléctricas de aireación, a las cuales se conectaron mangueras de 4 mm de diámetro que fueron introducidas a cada uno de los frascos para proporcionar así la oxigenación del sistema radicular.

3.6.5. Vigilancia

Durante toda la duración del cultivo en hidroponia, se vigiló constantemente que las bombas de aireación funcionaran adecuadamente para evitar que las plantas muriesen por ahogamiento de la raíz. Además se tuvo cuidado de aforar los frascos con solución nutritiva según fuera necesario, siendo esto aproximadamente cada tercer día.

3.6.6. Variables evaluadas

El cultivo de sorgo se mantuvo en hidroponia solo durante su primera etapa de crecimiento, debido a que así lo estipulaban los propósitos del experimento.

Las variables bajo estudio fueron:

- X01 = Altura de la planta con Litio (cm)
- X02 = Altura de la planta con Vanadio (cm)
- X03 = Altura de planta con Cobalto (cm)
- X04 = Altura de la planta con Estroncio (cm)
- X05 = Altura de la planta con Uranio (cm)
- X06 = Peso seco de la planta con Litio (g)
- X07 = Peso seco de la planta con Vanadio (g)
- X08 = Peso seco de la planta con Cobalto (g)
- X09 = Peso seco de la planta con Estroncio (g)
- X10 = Peso seco de la planta con Uranio (g)
- X11 = Concentración de Litio en la planta (ppm)
- X12 = Concentración de Vanadio en la planta (ppm)
- X13 = Concentración de Cobalto en la planta (ppm)
- X14 = Concentración de Estroncio en la planta (ppm)
- X15 = Concentración de Uranio en la planta (ppm)

Para la altura de la planta (X01 a X05), se midió desde el cuello de ésta hasta la parte terminal de la hoja mayor.

Para la variable peso seco de la planta (X06 a X10), se extrajeron todas las plantas y se eliminó la raíz de éstas. Se lavaron con agua destilada para quitarles impurezas y polvo del ambiente y se metieron en la estufa por 24 horas a 35°C. Posteriormente, se sacaron y se pesaron en una balanza analítica.

Las variables X11 a X14, correspondientes a concentración de Litio, Vanadio, Cobalto y Estroncio respectivamente, se determinaron por medio de un análisis de tejido vegetal de la siguiente forma:

1. Preparación de la muestra

La muestra seca de tejidos vegetales es molida en un molino Wiley de acero inoxidable, utilizando un tamiz de 40 mesh.

2. Incineración o digestión de las muestras

Procedimiento de incineración en seco. Pesar 1 g de muestra (tejido vegetal seco) dentro de un recipiente de evaporación, ya sea un crisol Gooch o un frasco Pyrex Erlenmeyer de 50 ml, e incinerar de 3 a 4 horas en una mufla a una temperatura de 550 °C, transcurrido el tiempo, se sacan las muestras y se dejan enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente se humedecen con unas gotas de agua destilada y se agregan aproximadamente 2 ml de HCl concentrado. Evaporar muy lentamente el agregado en baño maría o en una plancha caliente. Enseguida, agregar 25 ml de solución 1N de HCl y se procede al filtrado de las muestras.

3. Procedimiento analítico

Con el filtrado de cada una de las muestras se procede a determinar directamente: Litio, Vanadio, Cobalto y Estroncio por medio del espectrofotómetro de absorción atómica.

Para la variable X15 referente a la concentración de Uranio en la planta, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

Se llena un tubo de ensaye con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) hasta su borde. Luego la planta es introducida a dicho tubo y éste es colocado en un aparato conocido como "rads analyzer", el cual mide la radiación en la planta y proporciona la concentración del elemento en esta de una forma directa.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo para las variables probadas, con sus análisis de varianza y su respectiva prueba de comparación de medias (Tukey) para las variables que resultaron significativas.

Altura de la planta

Los análisis de varianza correspondientes a esta variable resultaron no significativos entre tratamientos para los elementos Cobalto, Estroncio y Uranio. Esto se debe a que el número de muestras obtenidas en el experimento no fue lo suficientemente grande en relación a su variación en lo que respecta a las alturas de las plantas obtenidas (Cuadros 3 al 5).

Sin embargo, la variable de altura de la planta para los elementos Litio y Vanadio resultó altamente significativa, lo cual proporciona una prueba de que los datos analizados de estos elementos son algo uniformes (Cuadros 1 y 2).

En la comparación de medias (Tukey) para el elemento Litio, se encontró que el tratamiento 3 (2.66 ppm) fue el de mayor altura, siendo estadísticamente igual a los demás tratamientos, a excepción del tratamiento 4 (3.99 ppm). En la comparación de medias para Vanadio, el tratamiento 2 (1.33 ppm) fue el de mayor altura de planta, siendo estadísticamente igual a todos los tratamientos, a excepción del tratamiento 3 (2.99 ppm) (Cuadros 16 y 17).

Peso seco de la planta

En cuanto a la variable peso seco, los análisis de varianza dieron como resultado no significancia entre tratamientos en los elementos Litio, Vanadio y Cobalto. Además, en estos casos los C.V. obtenidos estuvieron arriba de lo normal (Cuadros 6 al 8). Sin embargo, el análisis de esta variable para los elementos Estroncio y Uranio resultó significativo, siendo sus C.V. aceptables (Cuadros 9 y 10).

Estos resultados obedecieron tal vez a las mismas causas de la variable altura de planta. Además, lo anterior proporciona evidencia de que las concentraciones de elementos tóxicos en las plantas no siguen un patrón determinante en los pesos y alturas de las mismas.

En la comparación de medias (Tukey) realizada para Estroncio y Uranio, se encontró que el tratamiento 3 (2.66 ppm) fue el que aportó el peso promedio mayor por parte de la planta en los dos casos, siendo estadísticamente igual a todos los tratamientos, a excepción del tratamiento 4 (3.99 ppm) en el caso del Estroncio y del tratamiento 1 (0.00 ppm) en el caso del Uranio (Cuadros 18 y 19).

Concentración del elemento en la planta

En los análisis de varianza realizados para las concentraciones de los elementos probados (Litio, Vanadio, Cobalto, Estroncio, Uranio) existieron diferencias altamente significativas. Esto es debido a que los análisis llevados a cabo sobre las concentraciones de los elementos en las plantas dieron resultados muy uniformes, por lo que la suma de cuadrados de cada elemento probado respectivamente fue muy reducida.

Además, se obtuvo un C.V. dentro de los límites normales (Cuadros 11 al 15).

Al realizar la prueba de comparación de medias (Tukey) para cada uno de los elementos, se encontró que el tratamiento 4 (3.99 ppm) y el tratamiento 3 (2.66 ppm) fueron los que reportaron una mayor concentración promedio del elemento respectivo en cada planta, siendo además las medias de estos tratamientos diferentes estadísticamente a las medias de los demás tratamientos. Todo esto con excepción de la comparación de medias para la concentración del elemento Litio, en donde los tratamientos fueron estadísticamente iguales (Cuadros 20 al 24).

Tabla 3. Resultados de los análisis de varianza y los coeficientes de variación de las 15 variables probadas.

V a r i a b l e s	F. cal.	.05	F. teórica	.01	C.V. (%)
X01 Altura de la planta con Litio	8.06**	4.07	7.59	7.90	7.90
X02 Altura de la planta con Vanadio	8.28**	"	"	6.98	6.98
X03 Altura de la planta con Cobalto	3.01 NS	"	"	9.29	9.29
X04 Altura de la planta con Estroncio	1.72 NS	"	"	9.24	9.24
X05 Altura de la planta con Uranio	2.02 NS	"	"	8.69	8.69
X06 Peso seco de la planta con Litio	1.41 NS	"	"	59.83	59.83
X07 Peso seco de la planta con Vanadio	2.20 NS	"	"	26.93	26.93
X08 Peso seco de la planta con Cobalto	2.10 NS	"	"	32.46	32.46
X09 Peso seco de la planta con Estroncio	5.04 *	"	"	24.41	24.41
X10 Peso seco de la planta con Uranio	6.59 *	"	"	13.70	13.70
X11 Concentración de Litio en la planta	58.83**	"	"	25.78	25.78
X12 Concentración de Vanadio en la planta	210.53**	"	"	14.23	14.23
X13 Concentración de Cobalto en la planta	426.66**	"	"	9.08	9.08
X14 Concentración de Estroncio en la planta	107.75**	"	"	19.14	19.14
X15 Concentración de Uranio en la planta	94.91**	"	"	14.57	14.57

NS = No significativo

* = Significativo

** = Altamente significativo

V. CONCLUSIONES

El presente trabajo arroja las siguientes conclusiones:

Los niveles de concentración de 3.99 ppm para los elementos Uranio, Vanadio, Cobalto y Estroncio son determinantes en la absorción de los mismos por parte de la planta.

Las concentraciones de los elementos probados tienen un efecto mínimo sobre el peso y/o altura de las plantas.

No existe un patrón determinado entre la concentración de los elementos en las plantas con la altura y peso.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares con diferentes especies de plantas cultivadas y diferentes elementos.
- Probar dosis más altas de los elementos para observar diferentes grados de toxicidad en la planta y determinar una dosis letal.
- Llevar a cabo experimentos donde los elementos probados estén interactuando entre sí.
- Continuar realizando investigación apoyándose en la técnica hidropónica y tratar de mejorar dicha técnica para obtener resultados más satisfactorios.

VII. RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero dentro de la Facultad de Agronomía de la UANL, ubicada en el municipio de Marín, N.L. en el período comprendido de noviembre de 1988 a enero de 1989.

El estudio realizado consistió en probar tres dosis diferentes de cinco elementos químicos no esenciales (Li, V, Co, Sr, U), utilizando el cultivo del sorgo bajo la técnica de hidroponía para este propósito.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

1. Conocer los niveles críticos de absorción de estos elementos químicos por parte de la planta.
2. Determinar el grado de influencia de estos elementos sobre las variables cuantitativas altura y peso de planta.

De acuerdo a los objetivos planteados, las hipótesis formuladas son las siguientes:

1. Existen niveles críticos de absorción de los elementos Litio, Vanadio, Cobalto, Estroncio y Uranio por parte de la planta.
2. Las dosis de los elementos probados (Li, V, Co, Sr, U) actúan adversamente en cuanto a la altura de la planta y peso seco de la planta.

Las variables evaluadas fueron:

- X01 Altura de planta con Litio (cm)
- X02 Altura de planta con Vanadio (cm)
- X03 Altura de planta con Cobalto (cm)
- X04 Altura de planta con Estroncio (cm)
- X05 Altura de planta con Uranio (cm)
- X06 Peso seco de la planta con Litio (g)
- X07 Peso seco de la planta con Vanadio (g)
- X08 Peso seco de la planta con Cobalto (g)
- X09 Peso seco de la planta con Estroncio (g)
- X10 Peso seco de la planta con Uranio (g)
- X11 Concentración de Litio en la planta (ppm)
- X12 Concentración de Vanadio en la planta (ppm)
- X13 Concentración de Cobalto en la planta (ppm)
- X14 Concentración de Estroncio en la planta (ppm)
- X15 Concentración de Uranio en la planta (ppm)

El experimento se dividió en cinco partes, empleándose en cada una de ellas un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos (tres dosis y el testigo) y tres repeticiones, dando un total de 12 observaciones.

El material utilizado fue:

1. Cuatro dosis diferentes de cada uno de los elementos probados (Li, V, Co, Sr, U)

Tratamiento	Dosis
1	0.00 ppm (testigo)
2	1.33 ppm
3	2.66 ppm
4	3.99 ppm

2. Sales minerales (metavanadato de amonio, hidróxido de estroncio, acetato de uranio, cloruro de cobalto, cloruro de litio).

3. Sorgo variedad "Master 911-R"
4. Frascos de vidrio oscuros (3.6 lt), agua destilada, solución nutritiva, bombas de aireación, molino Wiley, charolas germinadoras, etc.

Al evaluar las variables, los resultados obtenidos indicaron lo siguiente:

La dosis de 3.99 ppm que corresponde al tratamiento 4 resultó ser determinante en la absorción del elemento por la planta (con la excepción del Litio).

En cuanto a las variables de altura y peso seco, éstas fueron afectadas mínimamente por las concentraciones de los elementos y no se encontró un patrón definido entre estas concentraciones y dichas variables cuantitativas.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDER, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. 1a. ed. Editorial A.G.T. México. pp. 405-406.
2. ARNON, I. 1972. Crop production in dry regions. Vol. 2. Editorial Leonard Hill. London. pp. 99-100.
3. BAKER, K.F.; W.C. SNYDER. 1970. Ecology of soil-borne plant pathogens. Universidad de California, Berkley. pp. 123-126.
4. CASTILLO, F.R. 1984. Situación actual y perspectivas del cultivo del sorgo en México. Primera Reunión Nacional Sobre Sorgo. FAUANL. pp. 37-39.
5. CHAPMAN, H.D. et al. 1973. Diagnostic criteria for plants and soils. Editado por Hamer D. Chapman. Riverside, California. pp. 142, 143, 151, 218, 220, 221, 433, 434, 435, 480, 481.
6. COMPTON, L.P. 1985. La producción de sorgo. ICRISAT-CIMMYT. México.
7. DAMON, E.G. 1962. The cultivated sorghums of Ethiopia. Experiment Station Bulletin. No. 6. Imperial Ethiopian College of Agriculture and Mechanical Arts. pp. 12.
8. DELORIT, R.J.; H.L. AHLGREN. 1970. Producción agrícola. 1a. ed. Editorial C.E.C.S.A. México, D.F. pp. 225.
9. DEMOLON, A. 1972. Crecimiento de vegetales cultivados. 2a. ed. Editorial Omega. Barcelona, España. pp. 167, 340, 353.
10. DEVLIN, R.M. 1975. Fisiología vegetal. 2a ed. Editorial Omega. Barcelona, España. pp 241.
11. DIEHL, R.; J.M. MATEO. 1973. Fitotecnia General. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España pp. 324.
12. ENSMINGER, M.E.; C.G. OLENTINE. 1983. Alimentos y nutrición de los animales. Editorial El Ateneo. Argentina. pp. 405.
13. HIDROPONIA. Agricultura de las Américas. Kansas City, USA. Vol. 29 No. 8 (Agosto, 1980) pp. 7.

14. HIDROPONIA. Láminas líquidas alimentan cultivos. Agricultura de las Américas. Kansas City, USA. Vol. 30. No. 12 (Diciembre, 1981) pp. 55.
15. HOUSE, L.R. 1985. A guide to sorghum breeding. 2a. ed. ICRISAT. India pp. 11-13.
16. HUGHES, H.D.; M.E. HEATH. 1966. Forrajes. 2a. Ed. Editorial CECSA. México. pp. 384.
17. IBAR, A.L. 1984. El sorgo: cultivo y aprovechamiento. Editorial Mexicana. México.
18. KALPAGE, F.S.C.P. 1976. Tropical soils. Butler and Tanner Ltd. Great Britain. pp. 109.
19. LANDIAH, A. 1987. Water for agriculture part 1. Water quality bulletin. Vol. 12. No. 1 (Enero).
20. LEONARD, W.H.; J.H. MARTIN. 1963. Cereal Crops. Editorial Macmillan USA. pp. 684.
21. McDONALD, P.; R.A. EDWARDS. 1981. Animal nutrition. 3a. ed. Editorial Longman. London. pp. 100-101.
22. MEYER, B.S.; D.B. ANDERSON. 1972. Introducción a la fisiología vegetal. 3a. ed. Editorial EUDEBA. Buenos Aires, Argentina. pp. 433.
23. MORTVEDT, J.J.; P.M. GIORDANO. 1983. Micronutrientes en agricultura. 1a. ed. Editorial A.G.T. México, D.F. pp. 607.
24. ROBLES, S.R. 1983. Producción de granos y forrajes. 4a. ed. Editorial LIMUSA. México, D.F. pp. 141-142, 144-146.
25. SANCHEZ, C.F.; E.R. ESCALANTE. 1981. Hidroponia. 1a. ed. PATUA Ch. México. pp. 11, 13-26.
26. TAHER, F.M. 1976. The physiochemical rate of chelated minerals in maintaining optimal body biological functions. The Journal of applied nutrition. Vol. 28. No. 2 y 3 (Junio) pp. 9.
27. TEUSCHER, H.; R. ADLER. 1965. El suelo y su fertilidad. 1a. ed. Editorial Continental. México, D.F. pp. 32-33, 60.

28. TISDALE, S.L.; W.L. NELSON. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. 1a. ed. Editorial UTEHA. México. pp. 111-113, 342-342.
29. WALL, J.S. 1975. Producción y usos del sorgo. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires.

Cuadro 1. Análisis de Varianza para altura de las plantas con Litio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	7105.33				
Tratamiento	3	89.50	29.83	8.06**	4.07	7.59
Error	8	29.67	3.70			
Total	12	7224.50	656.77			

NS = No significativo * Significativo ** Altamente significativo
C.V. = 7.90%

Cuadro 2. Análisis de varianza para altura de las plantas con Vanadio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	7485.00				
Tratamiento	3	75.59	25.19	8.28*	4.07	7.59
Error	8	24.38	3.04			
Total	12	7584.97	689.54			

NS = No significativo * = Significativo ** Altamente significativo
C.V. = 6.98%

Cuadro 3. Análisis de varianza para altura de las plantas con Cobalto.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	7227.52				
Tratamiento	3	47.06	15.68	3.01NS	4.07	7.59
Error	8	41.67	5.20			
Total	12	7316.25	665.11			

NS = No significativo * = Significativo **= Altamente significativo
C.V. = 9.29%

Cuadro 4. Análisis de varianza para altura de las plantas con Estroncio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F. cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	6902.40				
Tratamiento	3	25.44	8.48	1.72 NS	4.07	7.59
Error	8	39.30	4.91			
Total	12	6967.14	633.37			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 9.24%

Cuadro 5. Análisis de varianza para altura de las plantas con Uranio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F. cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	7100.46				
Tratamiento	3	27.17	9.05	2.02 NS	4.07	7.59
Error	8	35.80	4.47			
Total	12	7163.43	651.22			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 8.69%

Cuadro 6. Análisis de varianza para peso seco de las plantas con Litio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F. cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	0.2007253				
Tratamiento	3	0.0254623	0.0084874	1.41 NS	4.07	7.59
Error	8	0.0479077	0.0059884			
Total	12	0.2740953	0.0249177			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 59.83%

Cuadro 7. Análisis de varianza para peso seco de las plantas con Vanadio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	0.1566367				
Tratamiento	3	0.0062503	0.0020834	2.20 NS	4.07	7.59
Error	8	0.0075748	0.0009468			
Total	12	0.1704618	0.0154965			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 26.93%

Cuadro 8. Análisis de varianza para peso seco de las plantas con Cobalto

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	0.1944634				
Tratamiento	3	0.0107668	0.0035889	2.10 NS	4.07	7.59
Error	8	0.0136669	0.0017083			
Total	12	0.2188971	0.0198997			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 32.46%

Cuadro 9. Análisis de varianza para peso seco de las plantas con Estroncio.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	0.1715781				
Tratamiento	3	0.0129023	0.0043007	5.04*	4.07	7.59
Error	8	0.0068168	0.0008521			
Total	12	0.1912972	0.0173906			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 24.41%

Cuadro 10. Análisis de varianza para peso seco de las plantas con Uranio

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	0.5194176				
Tratamiento	3	0.0160945	0.0053648	6.59*	4.07	7.59
Error	8	0.0065079	0.0008134			
Total	12	0.5420200	0.0492745			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 13.70%

Cuadro 11. Análisis de varianza para concentración de Litio en la planta.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	0.1564083				
Tratamiento	3	0.1529583	0.0509861	58.83**	4.07	7.59
Error	8	0.0069334	0.0008666			
Total	12	0.3163000	0.0287545			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 25.78%

Cuadro 12. Análisis de varianza para concentración de Vanadio en la planta

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	0.6120083				
Tratamiento	3	0.6526253	0.2175417	210.53**	4.07	7.59
Error	8	0.0082664	0.0010333			
Total	12	1.2729000	0.1157181			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 14.23%

Cuadro 13. Análisis de varianza para concentración de Cobalto en la planta.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	1.5906801				
Tratamiento	3	1.3995532	0.4665177	426.66**	4.07	7.59
Error	8	0.0087477	0.0010934			
Total	12	2.9989810	0.2726346			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 9.08%

Cuadro 14. Análisis de varianza para concentración de Estroncio en la planta.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	0.501434				
Tratamiento	3	0.495255	0.165085	107.75**	4.07	7.59
Error	8	0.012256	0.001532			
Total	12	1.008945	0.091722			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 19.14%

Cuadro 15. Análisis de varianza para concentración de Uranio en la planta.

F.V.	G.l.	S.C.	C.M.	F.cal.	F. teórica	
					.05	.01
Media	1	3.3285333				
Tratamiento	3	1.6775357	0.5591785	94.91**	4.07	7.59
Error	8	0.0471310	0.0058913			
Total	12	5.0532000	0.4593818			

NS = No significativo * = Significativo ** = Altamente significativo
C.V. = 14.57%

Cuadro 16. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable altura de las plantas en plantas con Litio.

Método Tukey

$$S\bar{y} = \frac{CME}{r} \quad \text{Tukey} = S\bar{y} \cdot g(\alpha, \beta, \gamma)$$

$$S\bar{y} = \frac{3.70}{r} \quad g(\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E.})$$

$$S\bar{y} = 1.11 \quad g(.05, 4, 8) = 4.53$$

$$RME = (1.11) (4.53)$$

$$RME = 5.03$$

Tratamiento	\bar{X}	
3	27.17	a
2	26.33	a b
1	23.66	a b c
4	20.17	c

Cuadro 17. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable altura de plantas en plantas con Vanadio.

Método Tukey

$$S\bar{y} = \frac{CME}{r} \quad \text{Tukey} = S\bar{y} \cdot q(\alpha, \beta, \gamma)$$

$$S\bar{y} = \frac{3.04}{3} \quad q(\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E.})$$

$$S\bar{y} = 1.01 \quad q(.05, 4, 8) = 4.53$$

$$RME = (1.01) (4.53)$$

$$RME = 4.57$$

Tratamiento	\bar{X}	
2	26.83	a
4	26.50	a b
1	25.90	a b c
3	20.67	

Cuadro 18. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable peso de las plantas en plantas con Estroncio.

Método Tukey

$$S\bar{y} = \frac{CME}{r}$$

$$\text{Tukey} = S\bar{y} \cdot q(\alpha, \beta, \gamma)$$

$$S\bar{y} = \frac{0.0008521}{3}$$

$$q(\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E})$$

$$S\bar{y} = .017$$

$$q(.05, 4, 8) = 4.53$$

$$\text{RME} = (.017)(4.53)$$

$$\text{RME} = .077$$

Tratamiento	\bar{X}
3	.156 a
1	.145 a b
2	.102 a b c
4	.075 b c

Cuadro 19. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable peso de plantas en plantas con Uranio.

Método Tukey

$$S\bar{y} = \frac{CME}{r}$$

$$\text{Tuke} = S\bar{y} \cdot q(\alpha, \beta, \gamma)$$

$$S\bar{y} = \frac{.0008134}{3}$$

$$.q(\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E})$$

$$S\bar{y} = .016$$

$$.q(.05, 4, 8) = 4.53$$

$$\text{RME} = (.016)(4.53)$$

$$\text{RME} = .072$$

Tratamiento	\bar{X}
3	.236 a
2	.229 a b
4	.222 a b c
1	.145

Cuadro 20. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Litio en la planta.

Método Tukey

$$\begin{aligned} \text{Tukey} &= S\bar{y} \cdot q(\alpha, \beta, \gamma) \\ S\bar{y} &= \frac{\text{CME}}{r} & q(\alpha, \beta, \gamma) &= q(\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E}) \\ &= \frac{0.0008666}{3} & &= (.05, 4, 8) \\ &= 0.170 & q(\alpha, \beta, \gamma) &= 4.53 \end{aligned}$$

Tratamiento	\bar{X}	RME = (.170) (4.53)
4	0.81 a	RME = .770
3	0.52 a b	
2	0.04 a b c	
1	0.00 b c	

Cuadro 21. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Vanadio en la planta.

Método Tukey

$$\begin{aligned} \text{Tukey} &= S\bar{y} \cdot q(, ,) \\ S\bar{y} &= \frac{\text{CME}}{r} & q(, \# \text{ trat.}, \text{gl. E.}) & \\ S\bar{y} &= \frac{.0010333}{3} & q(.05, 4, 8) & \\ S\bar{y} &= .018 & q &= 4.53 \end{aligned}$$

Tratamiento	\bar{X}	RME = (.018) (4.53)
4	0.57 a	RME = .081
3	0.31 b	
2	0.023 c	
1	0.00 c	

Cuadro 22. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Cobalto en la planta.

$$\text{Tukey} = \bar{S}_y \cdot q (\alpha, \beta, \gamma)$$

$$\bar{S}_y = \frac{\text{CME}}{r} \quad q (\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E.})$$

$$\bar{S}_y = \frac{.0010934}{3} \quad q (.05, 4, 8)$$

$$\bar{S}_y = .019 \quad q = 4.53$$

Tratamiento	\bar{X}	
4	.790 a	RME = (.019) (4.53) RME = 0.86
3	.610 b	
2	.056 c	
1	.000 c	

Cuadro 23. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Estroncio en la planta.

$$\text{Tukey} = \bar{S}_y \cdot q (\alpha, \beta, \gamma)$$

$$\bar{S}_y = \frac{\text{CME}}{r} \quad q (\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E.})$$

$$\bar{S}_y = \frac{.001532}{3} \quad q (.05, 4, 8) = 4.53$$

$$\bar{S}_y = .022 \quad \text{RME} = (.022) (4.53)
RME = .102$$

Tratamiento	\bar{X}	
4	.483 a	
3	.313 b	
2	.021 c	
1	.000 c	

Cuadro 24. Comparación múltiple de medias de tratamientos para la variable concentración de Uranio en la planta.

Método Tukey

$$\text{Tukey} = S\bar{y} \cdot q (\alpha, \beta, \gamma)$$

$$S\bar{y} = \frac{\text{CME}}{r} \quad q (\alpha, \# \text{ trat.}, \text{gl. E.})$$

$$S\bar{y} = \frac{.0058913}{3} \quad q (.05, 4, 8) = 4.53$$

$$S\bar{y} = .044 \quad \begin{array}{l} \text{RME} = (.044) (4.53) \\ \text{RME} = .200 \end{array}$$

Tratamiento	\bar{X}
4	1.023 a
3	0.673 b
2	0.410 c
1	0.000

Tabla 4. Variaciones de elementos, traza en suelos (en ppm de suelo seco).

Elemento	Símbolo	Rango externo	Rango usual	Variación	
				Extrema	Usual
Cobalto	Co	0.001 - 1000	1.0 - 40	1X10 ⁶	40X
Litio	Li	<1.0 - 5000	<10.0 - <100	5,000X	100X
Estroncio	Sr	0.10 - 5000	50.0 - 1000	50,000X	20X
Uranio	U	- - -	0.9 - 5.8 (?)	- -	- -
Vanadio	V	1.0 - 1000	20.0 - 500	1,000X	25X

Tabla 5. Solución nutritiva patrón.

Símbolo	Compuesto (ppa)	Fórmula	Concentración
A	Nitrato de Calcio	Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1.0 Molar (236.16 g/lit)
B	Nitrato de Potasio	KNO ₃	1.0 Molar (101.10 g/lit)
C	Sulfato de Magnesio	MgSO ₄ ·7H ₂ O	1.0 Molar (246.49 g/lit)
D	Fosfato Monobásico de Potasio	KH ₂ PO ₄	1.0 Molar (136.0 g/lit)
E	Fosfato de Calcio Dibásico	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	0.01 Molar (2.52 g/lit)
F	Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	0.5 Molar (86.1 g/lit)
G	Sulfato de Calcio	CaSO ₄ ·2H ₂ O	0.01 Molar (1.72 g/lit)
H	Nitrato de Magnesio	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	1.0 Molar (256.43 g/lit)
I	"Micronutrientes"		(*)
J	Tartrato de Hierro		0.5%
K	Micronutrientes sin Boro		

(*) La solución de micronutrientes (Mn, B, Zn, Cu y Mo) tiene la siguiente composición: MnCl₂, 1.81 g; H₃BO₃, 2.86 g; ZnSO₄·7H₂O, 0.22 g; CuSO₄·5H₂O, 0.08 g; H₂MoO₄, 0.09 g; Agua destilada, 1 litro.

Tabla 6. Rangos mínimo, óptimo y máximo de elementos presentes en soluciones hidropónicas según Douglas, 1976 (ppm).

Elemento	Mínima	Óptima	Máxima
Nitrógeno	150	300	1000
Calcio	300	400	500
Magnesio	50	75	100
Fósforo	50	80	100
Potasio	100	250	400
Azufre	200	400	1000
Cobre	0.1	0.5	0.5
Boro	0.5	1	5
Fierro	2	5	10
Manganeso	0.5	2	5
Molibdeno	0.001	0.001	0.002
Zinc	0.5	0.5	1

