



ITSON

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA

**APLICACION DE DIFERENTES DOSIS DE UREA Y
SULFATO DE MAGNESIO EN PLANTA JOVEN DE SANDIA
(*Citrullus lannatus*) BAJO CONDICIONES DE
INVERNADERO.**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO BIOTECNOLOGO**

PRESENTA:

IVETH ALFA GISELA MORALES ESQUER

CD. OBREGÓN, SONORA

MAYO DEL 2005.

DEDICATORIA

A mi Mamá.

Por ser lo mejor que tengo en la vida, por todo lo que me ha dado, en primer lugar la oportunidad de vivir, su apoyo y confianza en todo momento, por ayudarme a salir adelante, acompañarme en mis triunfos y fracasos, y sobre todo por el inmenso amor y comprensión que siempre me ha brindado, eres un gran regalo de Dios, te quiero mucho mamá.

A mi Papá.

Por brindarme su apoyo en todo momento, su amor y confianza; por todos los valores que me ha inculcado y sus consejos para llegar a ser lo que hoy soy, por que sin ti no hubiera sido posible que yo existiera. Te quiero mucho papá.

A mis Hermanos.

Karla, por ser mi más grande amiga, por compartir conmigo tantos momentos importantes de mi vida, por estar ahí; y a ti, Felipito, pequeño travieso, te llevo siempre en mi corazón. Los quiero a los dos.

A mis Abuelos.

A Mamá Mema y Papá Manuel, por alentarme siempre a salir adelante. Se que me quieren y que se sienten orgullosos de su nieta que los ama.

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por todas las bendiciones que me ha dado: primeramente por la oportunidad de vivir; también por mi familia, por permitirme llegar al término de mi carrera profesional, por estar siempre en mi corazón y acompañarme en todo momento; pero sobre todo porque no permitió que me diera por vencida a pesar de las dificultades: me mostró que con esfuerzo y dedicación todo se puede lograr.

A Mis Padres

Por ser una guía en mi vida, por ser lo más hermoso que tengo, por sus esfuerzos, desvelos, paciencia y amor. Por la confianza que me han tenido para que elija mi camino y por el inmenso apoyo que me han dado siempre: este es un regalo para ellos. Por los maravillosos seres humanos que son.

Al Instituto Tecnológico De Sonora

Por brindarme la oportunidad de ser parte de él y por proporcionarme las herramientas teóricas elementales para poder ejercer mi profesión de manera satisfactoria.

A Mi Asesor.

Dr. Marco Antonio Gutiérrez

Por todo su apoyo, sus consejos durante la realización de este trabajo, por ser una gran persona, un excelente maestro, y muy buen amigo, y sobre todo, por su paciencia.

A Mis Revisores:

MC. Alejandro Javalera, M.C. Lupita Aguilar y MI. Maritza Arellano, por haberme guiado en la realización de mi tesis; por sus consejos y sugerencias: muchas gracias.

A Mi Novio.

JLP: por ser mi gran apoyo en todo momento, por su amor, confianza, comprensión, ternura, y simpatía, por animarme constantemente a salir adelante en todos mis propósitos.

A Mis Amigos

Nubia, Claudia, Rosangela, Wighelmi, Nelson, Carlita C, Eduardo, Xochitl, Carlita Z, Alejandro, Vania, por su cariño y tantos momentos buenos, por las aventuras que vivimos a lo largo de estos cuatro años: todos ustedes son especiales estarán siempre en mi corazón, nunca los olvidaré.

A mis Tíos

Soco y Eduardo, por sus consejos y cariño inmenso, siempre me alentaron a alcanzar esta meta. A la tía Katty, que aunque esta lejos estuvo siempre apoyándome de forma incondicional y Alejandro y Ana Maria, por estar ahí cuando los necesite...Los quiero a todos.

INDICE

	Pág.
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE GRAFICAS	vi
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCION	
1.1. Justificación	3
1.2. Objetivo	5
1.3. Hipótesis.....	5
II. REVISION DE LITERATURA	
2.1. Sandía (<i>Citrullus lannatus</i>)	6
2.1.1. Origen.....	6
2.1.2. Clasificación taxonómica	7
2.1.3. Descripción botánica	7
2.1.4. Importancia.....	10
2.1.5. Valor nutricional.....	11
2.1.6. Requerimientos edafoclimáticos.....	12
2.1.7. Requerimientos nutricionales	14

2.2. La fertilización	15
2.2.1. Fertilización foliar	15
2.2.2. Fertilización al suelo	19
2.3. Fertilizantes	20
2.4. Nitrógeno.....	24
2.4.1. Función del nitrógeno	24
2.4.2. Urea [CO (NH ₂) ₂]	26
2.5. Magnesio.....	27
2.5.1. Función del magnesio	27
2.5.2. Sulfato de magnesio.....	28
III. MATERIALES Y METODOS	
3.1. Localización del experimento	30
3.2. Diseño de experimento.....	30
3.3. Tratamientos	31
3.4. Equipo de medición.....	35
3.5. Variables evaluadas	36
3.5.1. Área Foliar.....	36
3.5.2. Altura de la planta.....	37
3.5.3. Tasa relativa de crecimiento.....	37
3.5.4. Peso seco de la parte aérea	38
3.5.5. Fitotoxicidad.....	38
3.5.6. Longitud de la raíz.....	39
3.5.7. Peso volumétrico de raíz.....	39
3.5.8. Peso seco de la raíz.....	40
3.5.9. Clorofila total.....	40

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Área foliar	41
4.2 Altura de la planta	44
4.3 Tasa relativa de crecimiento.....	46
4.4 Peso seco de la parte aérea.....	48
4.5 Fitotoxicidad	50
4.6 Longitud de la raíz.....	53
4.7 Peso volumétrico de la raíz	54
4.8. Peso seco de la raíz.....	56
4.9. Clorofila total	59
4.9.1. Clorofila fertilización 1	59
4.9.2. Clorofila fertilización 2	61
4.9.3. Clorofila fertilización 3	64
CONCLUSIÓN	68
BIBLIOGRAFÍA	69

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Temperaturas críticas para sandía en las distintas fases de desarrollo.....	13
Cuadro 2. Minerales esenciales	23
Cuadro 3. Características físico-químicas de la urea granulada	27
Cuadro 4. Características del sulfato de Magnesio	29
Cuadro5. Distribución de la dosificación del fertilizante en los diferentes tratamientos aplicación directa y aplicación foliar.....	31

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica.....	7
Tabla 2. Valor nutricional de la sandía.....	12

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Ubicación del origen del cultivo de sandía en el mundo.....	6
2. Aplicación de Fertilizante en forma foliar.....	34
3. Aplicación de fertilizante de forma directa al suelo.....	34
4. Preparación del fertilizantes aplicación foliar con aspersores	35
5. Medición del área foliar mediante el integrador.....	36
6. Medición de altura	37
7. Secado de la parte aérea	38
8. Peso seco parte aérea	38
9. Medición de Longitud de Raíz.....	39
10. Medición Peso volumétrico de Raíz	39
11, Medición de clorofila mediante SPAD	40
12. Tratamiento 2, (2 kg urea ha ⁻¹) fertilización al suelo	51
13. Tratamiento 3, (3 kg urea ha ⁻¹) fertilización al suelo	51
14. Tratamiento 2, (2 kg urea ha ⁻¹) aplicación foliar.....	51
15. Tratamiento 3, (3 kg urea ha ⁻¹) aplicación foliar.....	52
16. Tratamiento 3, (3 kg urea ha ⁻¹) fertilización foliar.....	52

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
1. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el área foliar en fertilización al suelo y fertilización foliar.....	43
2. Efecto de las diferentes dosis de urea y sulfato de magnesio sobre la altura a través del tiempo en aplicación al suelo	45
3. Efecto de las diferentes dosis de urea y sulfato de magnesio sobre la Altura vs tiempo en fertilización foliar.	46
4. Efecto de las diferentes dosis de urea y sulfato de magnesio sobre la Tasa relativa de crecimiento (TRC) en fertilización foliar.	48
5. Efecto de las diferentes dosis de Urea y sulfato de magnesio sobre la Tasa relativa de crecimiento (TRC) en fertilización al suelo.....	48
6. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el peso seco parte aérea en fertilización al suelo y fertilización foliar	50
7. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre la longitud de raíz en fertilización al suelo y fertilización foliar.....	53
8. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el peso volumétrico de la raíz en fertilización al suelo y fertilización foliar.	56
9. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el peso seco de Raíz en fertilización al suelo y fertilización foliar.	58
10. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 1 al suelo.	60

11. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 1 foliar.....	60
2. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 2 al suelo.	63
13. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 2 foliar.....	64
14. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 3 al suelo.	67
15. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 3 foliar.....	67

RESUMEN

El presente trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2004; con el objetivo de evaluar la influencia de diferentes dosis de urea y sulfato de magnesio, sobre el crecimiento y desarrollo de plantas jóvenes de sandía (*Citrullus lannatus*) bajo condiciones de invernadero para determinar si afecta de manera positiva el desarrollo vegetal inicial en plantas jóvenes, además de medir los contenidos de clorofila total en hojas.

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño experimental simple, completamente al azar, que constó de siete tratamientos y cuatro repeticiones en fertilización foliar y al suelo, dando como resultado un total de 56 unidades experimentales. Se utilizarón vasos de unicel que fueron llenados a tres cuartas partes de su capacidad con sustrato (SUNSHINE 3), y posteriormente se sembró la semilla de sandía var. "Jubilee" a una profundidad de 1 cm.

La fecha de siembra fue el día 20 de septiembre del 2004, una vez sembrado se regó continuamente, y cuando surgió la primera hoja verdadera se aplicó la primera fertilización.

Se realizaron tres fertilizaciones una por semana; de dos formas: tanto directa al suelo, como foliar, donde los tratamientos aplicados fueron: Tratamiento 1:1 kg de urea ha^{-1} , 2:2 kg de urea ha^{-1} , 3:3 kg de urea ha^{-1} , 4:1 kg de sulfato de magnesio ha^{-1} , 5:2 kg de sulfato de magnesio ha^{-1} , 6:3 kg de sulfato de magnesio ha^{-1} y 7: testigo sin aplicación.

Las variables evaluadas fueron área foliar, altura de la planta, TRC (tasa relativa de crecimiento), peso seco aéreo, fitotoxicidad, longitud de raíz, peso volumétrico de raíz, peso seco de raíz y clorofila total.

En cuanto a los resultados obtenidos, al analizar las variables se encontró que, en la fertilización foliar el mejor tratamiento fue el 4, (1 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), ya que en la mayoría de las variables evaluadas fue el que arrojó mejores resultados, superando a los demás tratamientos incluyendo al testigo en un promedio del 26%.

En cuanto a la fertilización al suelo, el mejor tratamiento de nueva cuenta fue el 4 (1 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$) ya que en la mayoría de las variables mostró resultados superiores al testigo en un promedio del 36%, seguido del tratamiento 1 (1 kg. urea ha^{-1}) que en la variable de clorofila total tercera fertilización alcanzó valores iguales al tratamiento 4.

I. INTRODUCCION

La agricultura es una de las bases de la economía de México, por lo que se ha visto en la necesidad de incrementar los rendimientos de los productos del campo y tratar de reducir su costo de producción al máximo, especialmente en las hortalizas que requieren de una mayor inversión de capital.

Dentro de los 10 productos hortícolas de gran impacto en México se encuentra en un lugar estratégico la producción de sandía, a nivel nacional existe una producción de 970,055 ton, de las cuales 166,488 ton equivalentes a un 10 % del total nacional son producto de la agricultura regional sonorenses y se destinan principalmente al mercado de exportación (SIAP, 2003).

La sandía es un alimento muy refrescante, depurativo y ligeramente laxante a consecuencia de la celulosa que contiene, siendo una fruta demandada en los meses de verano.

La pulpa sólo contiene azúcares-glucosa, sacarosa y pocos ácidos, por lo que es más dulce que otras frutas que tienen hasta tres veces más glúcidos, como la pera, manzana y el chabacano; es de fácil digestión, excelente diurético y depurador sanguíneo, a pesar de que su contenido es mayoritariamente en azúcares, su cantidad es baja, por lo que se utiliza en dietas para disminuir de

peso, además, tiene gran cantidad de elementos que intervienen en el metabolismo de hidratos de carbono, colesterol y proteínas.

www.siap.sagarpa.gob.mx

La importancia de las hortalizas se ve enfatizada por el hecho de que a nivel nacional ocupan junto con los frutales cerca del 27% del área cultivada, generando el 36% del valor de la producción agrícola (Valenzuela y Guerrero, 2000).

La productividad agrícola depende, en un alto grado de la fertilización, estimaciones realizadas por expertos en varios países, así como por organizaciones a nivel internacional, establecen que al menos un 50 % de la producción agrícola actual se debe a la utilización de fertilizantes (Domínguez, 1997).

Los fertilizantes son uno de los elementos esenciales para cualquier cultivo, estos son vitales para el crecimiento y desarrollo de la planta, y para proporcionarle los micros y los macronutrientes que necesita para su funcionamiento.

Como resultado de estos puntos de importancia, encontramos que la fertilización es necesaria para una mayor producción y aumento del rendimiento en el cultivo de sandía, por esta razón, se llevo a cabo la presente investigación con el fin de evaluar los efectos de la urea y del sulfato de magnesio en las primeras etapas fenológicas de sandia, aplicando estos productos tanto al suelo como vía foliar bajo condiciones de invernadero.

1.1 Justificación

El crecimiento vegetal requiere la incorporación de elementos esenciales en los materiales que constituyen a las plantas, entre estos elementos destacan el nitrógeno y el magnesio.

El nitrógeno es un nutriente de primer orden de importancia en la nutrición vegetal, determina el crecimiento y rendimiento de las plantas, es utilizado primordialmente durante la etapa de rápido crecimiento (Rodríguez, 1992). El magnesio es absolutamente esencial, pues forma parte del núcleo de clorofila, y es parte integral de los ribosomas, es un ion que activa una serie de enzimas que participan en la fotosíntesis (Bidwell, 1990).

La deficiencia de nitrógeno en las plantas origina un crecimiento reducido y bajo contenido de clorofila, un compuesto necesario para el metabolismo vegetal además; ejerce un efecto directo en el rendimiento del cultivo (Tamhane, 1986). La falta de magnesio origina clorosis entre las nervaduras foliares y pueden aparecer pigmentos brillantes de color rojo o púrpura (Bidwell, 1990).

La carencia de ambos minerales en la planta de sandía ocasionaría frutos pobres en nutrientes, tendrían una mala apariencia, poca producción y pérdidas económicas por el poco rendimiento.

Por esta razón se realizó esta investigación con el fin de evaluar el efecto de la fertilización foliar y al suelo con nitrógeno y magnesio para aumentar los parámetros de crecimiento en plantas jóvenes de sandía y de esta manera obtener mayor productividad por la importancia fundamental que juega esta, en lo financiero por la inversión que representa.

1.2 Objetivo

”Evaluar la influencia de las dosis de aplicación de urea y sulfato de magnesio sobre el desarrollo de plantas jóvenes de sandía bajo condiciones de invernadero”.

1.3 Hipótesis

”La aplicación de diferentes dosis de urea y sulfato de magnesio en forma directa en suelo y foliar influye de manera positiva en el crecimiento y desarrollo vegetal en plantas jóvenes de sandía en condiciones de invernadero”.

II. REVISIÒN BIBLIOGRÀFICA

2.1 Sandía (*Citrullus lannatus*)

2.1.1 Origen

La sandía (*Citrullus lannatus*) es una planta cuyo origen y cultivo es conocido desde la más remota antigüedad en la región mediterránea, desde donde se extendió hacia zonas del mundo como India y Asia (Fig.1). En la actualidad es un cultivo ampliamente difundido en el mundo siendo Rusia, China y Turquía los principales productores (Maroto, 1992).

La sandía es una hortaliza de gran importancia a nivel mundial, su principal uso es como fruto dulce y refrescante, la carne tiene un elevado contenido de agua lo cual es su gran atractivo (Reche, 1988).

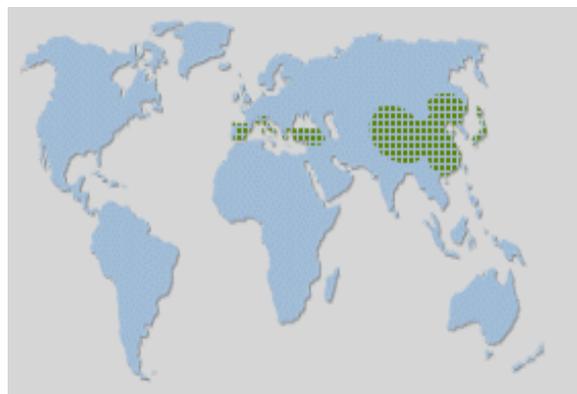


Fig. 1 Ubicación del origen del cultivo de sandía en el mundo.

Fuente: <http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/sandia.http>

2.1.2 Clasificación taxonómica

Pertenece a la familia *Curbitaceae* (Tabla 1) y recibe el nombre científico de *C. lannatus* y *Colocynthis citrullus*.

Tabla1. Clasificación taxonómica.

Clase	<i>Dicotyledoneae</i>
Subclase	<i>Dilleniidae</i>
Superorden	<i>Violanae</i>
Orden	<i>Cucurbitales</i>
Familia	<i>Cucurbitaceae</i>
Subfamilia	<i>Cucurbitoideae</i>
Tribu	<i>Benincaseae</i>
Género	<i>Citrullus</i>
Especie	<i>Citrullus lannatus</i>

Fuente: <http://www.faxsa.com.mx/c60sa001.html>

2.1.3 Descripción botánica

Nombre botánico: *Citrullus lannatus* (Thumb) Matsun y Nakai.

Planta: Es una especie anual toda la planta esta cubierta de pelos grisáceos y suaves sensibles a heladas y daño por frío.

La semilla: se distribuye en la pulpa en mayor o menor cantidad, es aplastada de forma oval y el color es único o a veces más de uno, variado entre blanco, amarillo, rojo, marrón o negro.

Sistema radicular: ramificado, raíz principal profunda y raíces secundarias abundantes distribuidas superficialmente.

Tallos: son largos, herbáceos, delgados y rastreros, con zarcillos caulinares cuyo extremo puede estar hendido en dos o tres partes.

Hoja: las hojas son grandes, partidas o lobuladas ásperas al tacto en el envés y suaves en el haz o cara superior

Flores: la floración es generalmente monoica, es decir flores masculinas y femeninas por separado en la misma planta; Sin embargo, también hay variedades de floración andromonoica, flores que se encuentran solitarias en las axilas de las hojas, estas son pedunculadas, con corola de 5 lóbulos, 8 estambres unidos por anteras, que en las flores femeninas son rudimentarias. Las flores femeninas tienen ovarios de forma ovoide, muy vellosos (Sobrino, 1989).

Fruto: baya globosa u oblonga en pepónide formada por 3 carpelos fusionados con receptáculo adherido, que dan origen al pericarpio. El ovario presenta placentación central con numerosos óvulos que darán origen a las semillas, su peso oscila entre los 2 y los 20 kg, el color de la corteza es variable, pudiendo parecer uniforme (verde oscuro, verde claro, o amarillo) o franjas de color amarillento, grisáceo o verde claro sobre fondos de diversas tonalidades verdes; La pulpa también presenta diferentes colores (rojo, rosado o amarillo) y las

semillas pueden estar ausentes (frutos triploides) o mostrar tamaños y colores variables (negro, marrón o blanco), dependiendo del cultivar. (Reche, 1988).

Se tiene constancia de más de cincuenta variedades de sandía, que se clasifican en función de la forma de sus frutos, el color de la pulpa, el color de la piel, el peso, el período de maduración. Genéticamente existen dos tipos de sandías:

- Sandías diploides o con semillas: son las variedades cultivadas tradicionalmente, que producen semillas negras o marrones de consistencia leñosa. Según la forma de sus frutos encontramos:
 - ✓ Frutos alargados: de corteza verde con bandas de color más claro, se llaman melonas; En España apenas se cultivan, destacan los tipos Klondike y Charleston Gray.
 - ✓ Frutos redondos: de corteza de color verde oscuro o negro, son los ejemplares más cultivados aunque están siendo desplazadas por las variedades sin semillas, destacan: *Crimson sweet*, *Resistent* (Valencia), *Sugar baby* (Italia, Grecia, Turquía y España Almería y Valencia-), *Dulce Maravilla* o *Sweet marvell* y *Early star*, entre las más conocidas y cultivadas.

- Sandías triploides o sin semillas: se trata de variedades que tienen unas semillas tiernas de color blanco que pasan desapercibidas al comer el fruto, se caracterizan por tener la corteza verde clara con rayas verdes oscuras y la

carne puede ser de color rojo o amarillo, destacan: Reina de Corazones (Almería), *Apirena*, *Jack* y *Pepsin*, entre otras.

<http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/sandia/.http>

2.1.4 Importancia y usos

La importancia de las hortalizas se ve enfatizada por el hecho de que a nivel nacional ocupan junto con los frutales cerca del 27% del área cultivada, generando el 36% del valor de la producción agrícola (Valenzuela y Guerrero, 2000).

Dentro de los 10 productos hortícolas de gran impacto en México el cultivo de sandía se encuentra en un lugar estratégico, a nivel nacional se tiene una producción de casi un millón de toneladas, donde el estado de Sonora aporta alrededor del 10% con una cosecha de 166,500 toneladas. (SIAP, 2003).

Destaca ampliamente el gran incremento en la popularidad de esta fruta y su consumo en los países mas desarrollados; una causa de este crecimiento se debe a la tendencia de consumir productos bajos en grasa.

La sandía es un magnífico diurético, su elevado poder alcalinizante favorece la eliminación de ácidos perjudiciales para el organismo.

<http://www.ediho.es/horticom/publicac.html>

2.1.5 Valor nutricional

La sandía podemos decir que es la fruta que más cantidad de agua contiene (93%), su elevado aporte de agua la convierten en un potente hidratante, dos buenas tajadas de sandía suplen a un vaso de agua, resulta un magnífico diurético y desintoxicante, por lo que su valor calórico es muy bajo, apenas 20 calorías por 100 gr (Tabla 2).

Los niveles de vitaminas y sales minerales son poco relevantes, siendo el potasio y el magnesio los que más destacan. El color rosado de su pulpa se debe a la presencia del pigmento licopeno, sustancia con capacidad antioxidante. El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua de la célula.

Tabla 2. Valor nutricional de la sandía

Valor nutricional de la sandía en 100 gr. de sustancia comestible.	
Agua (%)	93
Energía (kcal)	25-37.36
Proteínas (g)	0.40-0.60
Grasas (g)	0.20
Carbohidratos (g)	6.4
Vitamina A (U.I.)	590
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.03
Niacina (mg)	0.20
Ácido ascórbico (mg)	7
Calcio (mg)	7
Fósforo (mg)	10
Hierro (mg)	0.5
Sodio (mg)	1
Potasio (mg)	100

Fuente: www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/sandia.htm

2.1.6 Requerimientos edafoclimáticos

Exigencias climáticas

Las cucurbitáceas se cultivan en climas templado-calidos, subtropicales y tropicales (Parsons, 1999). Los cultivos resisten bien el calor y la falta temporal de agua no soportan heladas (Muñoz y Castellanos, 2003).

Temperatura

La sandía es menos exigente en temperatura que el melón, siendo los cultivares triploides más exigentes que los normales, presentando además mayores problemas de germinabilidad (Cuadro 1.) Cuando las diferencias de temperatura entre el día y la noche son de 20-30 °C, se originan desequilibrios en las plantas. (Reche, 1988).

Cuadro 1. Temperaturas críticas para sandía en las distintas fases de desarrollo.

Etapa de Desarrollo	Temperatura	
	Mínima	Óptima
Germinación	15 ° C	25 ° C
Formación de Planta	18 ° C	20° C
Desarrollo	23° C	28° C
Maduración del fruto	23° C	28° C
Helada	0° C	
Detención de vegetación	11 ° C	13° C

Fuente: <http://www.infoagro.com>

Humedad

La humedad relativa óptima para la sandía se sitúa entre 60 % y el 80 %, siendo un factor determinante durante la floración (Muñoz y Castellanos, 2003).

Suelo

Para el cultivo de cucúrbitas se prefieren suelos fértiles y suelos no muy ácidos, suelos mal drenados, así como los que son tan arenosos que no retienen nada de humedad, no son convenientes. El pH más adecuado está entre 5.6 y 6.8 en suelos ligeramente ácidos (Valadez, 2001).

2.1.7 Requerimientos Nutricionales

El desarrollo vegetativo que ocupa más de la mitad del ciclo vegetativo es el periodo en el que se acumulan mayor cantidad de elementos, siendo no obstante los periodos críticos los de floración y cuajado del fruto, manteniéndose el nivel de absorción a lo largo del fruto (Rodríguez, 1999).

El crecimiento vegetativo requiere la incorporación de elementos esenciales en los materiales que constituyen a las plantas. Entre estos elementos destacan el nitrógeno y magnesio (Rojas, 1999).

La deficiencia de ambos minerales en la planta de sandía ocasionaría frutos que tendrían una mala apariencia, poca producción y pérdidas económicas por el poco rendimiento.

2.2 Fertilización

Fertilización, es la práctica fundamental e importante para la producción hortícola, ya que corrige deficiencias nutrimentales en las plantas y favorece el buen desarrollo de los cultivos, mejorando el rendimiento y calidad del producto (Grageda, 1999).

Para que un suelo produzca adecuadamente un cultivo debe abastecer a la planta de los nutrientes en cantidad necesaria y en un balance proporcional con los otros elementos (Maroto, 1992).

La fertilización es una tecnología agrícola por sí misma, y pertenece en todos los casos a las ciencias del suelo o edáficas, ya que los cultivos tienen en general las mismas necesidades de minerales y en cambio las características de los suelos que interaccionan con su fertilidad son muy variables de un tipo de suelo a otros de manera que es el suelo y no el cultivo el que norma el tipo de fertilización por aplicar (Rojas, 1982).

Los diferentes cultivos poseen distinta demanda de los elementos nutritivos, cuya absorción es paralela al ritmo de desarrollo (Domínguez, 1997).

2.2.1 Fertilización Foliar

La fertilización foliar hoy en día se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, por que corrige las deficiencias nutrimentales de

las plantas y favorece el buen desarrollo de los cultivos, mejorando el rendimiento y calidad del producto. La fertilización foliar no sustituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero si se considera una práctica especial que sirve de respaldo o garantía para abastecer nutrientes apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo, que no se puede abastecer mediante la fertilización común (Casaferniza, 2004).

La fertilización foliar es útil para respaldar o complementar la fertilización tradicional y optimizar los rendimientos, corregir deficiencias nutrimentales de los cultivos que no se logran con la fertilización común al suelo, acelerar o retardar alguna etapa fisiológica de la planta ser más eficiente en el aprovechamiento nutrimental de los fertilizantes y corregir algunos problemas fitopatológicos de los cultivos (Santos y Aguilar, 1998)

El concepto de nutrición foliar se a limitado a señalar a esta vía para la alimentación de la planta como ocasional y directa a las hojas. Sin embargo, la realidad va más allá de las expectativas comunes ya que las plantas, absorben y acumulan los compuestos aplicados “foliarmente”, también por otros órganos y tejidos aéreos como son frutos, flores axilas, tallos, y todos los puntos meristemáticos de las planta (Rojas, 1999).

La capacidad de absorción de nutrientes a través de la superficie foliar es variable según el tipo de cultivo y el tipo de nutriente aplicado, teniéndose en cuenta las necesidades reales y los niveles de toxicidad (Richter, 1982).

La fertilización foliar es entonces:

- Una tecnología complementaria a la fertilización de base.
- Permite ajustar los requerimientos nutricionales en función del estado del cultivo.
- Aporta nutrientes en momentos en que los requerimientos no pueden ser cubiertos por capacidad de absorción y/o limitantes ambientales.
- Soluciona dichas necesidades en forma instantánea.
- Las plantas tienen la capacidad intrínseca de absorber nitrógeno a través de las hojas mediante difusión pasiva.

La fertilización foliar, es una alternativa para tener en cuenta como:

- Única fertilización: en lotes medianamente bien provistos de nitrógeno.
- Fertilización complementaria de una de base: en lotes muy deficitarios, cuando el potencial del cultivo es muy alto o como fraccionamiento de la misma.
- Correctora: de deficiencias en aplicaciones tardías buscando aumentos de rendimiento.
- Mejoradora del tenor proteico: cuando se fertilice con dosis suficiente centrado en la anterioridad de cultivo.

http://www.technidea.com.ar/Fertilizacion_foliar/Que_la_fertilizacion_foliar.htm

El nitrógeno, el potasio y el sodio poseen una muy alta movilidad en la absorción foliar, en cambio el boro, magnesio y calcio son de muy baja movilidad por este método (Rodríguez, 1999).

Las aspersiones con urea son muy comunes para cítricas y frutales también en hortícola y otros cultivos intensivos. Las aspersiones de urea sobre las hojas han dado como resultado la quema del follaje, incluso empleando concentraciones débiles (Gil, 1995).

Entre los factores que influyen en la absorción foliar de nutrimentos se citan los siguientes:

Características de la solución por asperjar, condiciones del medio, edad de la planta y hojas, así como de nutrimentos por asperjar, para el buen éxito de la fertilización foliar es necesario tomar en cuenta según el cultivo por fertilizar, la concentración de la sal portadora del nutrimento, el pH de la solución, la adición de coadyuvantes, y el tamaño de la gota del fertilizante líquido, del medio ambiente se debe considerar la temperatura del aire, el viento, la luz, la humedad relativa y la hora de aplicación.

De la planta se a de tomar en cuenta la especie del cultivo, estado nutricional, etapa de desarrollo de la planta y edad de las hojas, del nutrimento por asperjar se cita su valencia y el ión acompañante, la velocidad de penetración y las translocabilidad del nutriente dentro de la planta (Santos y Aguilar, 1998).

La fertilización foliar es una practica común en agricultura intensiva como la producción de hortalizas o de frutas. La desventaja de una limitada capacidad de absorción por las hojas, se compensa con la oportunidad de poder hacerlo en

estados tardíos pero críticos para lograr altos rendimientos, o bien para aplicar eficientemente micronutrientes, que se requieren en dosis muy pequeñas. A estas ventajas también se suma economía debido a las bajas cantidades de producto que se requiere en relación a una fertilización de suelo.

<http://www.elsitioagricola.com/articulos/equipofertilizar/Fertilizacionfoliarensoja>

2.2.2 Fertilización al suelo

El abastecimiento de los nutrimentos a través del suelo está afectado por muchos factores de diferentes tipos: origen del suelo, características físicas, químicas y biológicas, humedad, plagas y enfermedades (Santos y Aguilar, 1998).

La fertilización directa al suelo está destinada a restituir, mantener o aumentar el potencial productivo del suelo para que las plantas que se cultiven tengan todos los aportes que necesitan para poder desarrollarse adecuadamente. El suelo ya cuenta con un grado de fertilidad que viene dado por la naturaleza de la roca madre, los depósitos aéreos, la composición (complejo arcillo-húmico) y otros factores como el clima, la topografía, y la circulación del agua. Dependiendo de estos factores se necesitará más o menos trabajo para que el suelo consiga una fertilización óptima.

<http://www.agrilogica.com/tecnicas/fertilizacion.htm>

Dentro de los problemas de la utilización de los nutrientes del suelo por la planta se mencionan:

- Cambios químicos de los elementos como precipitados o fijaciones a partículas del suelo
- Lavado de ciertos elementos,
- La heterogeneidad del suelo y el volumen ocupado por las raíces,
- Pérdida de elementos en forma de gas
- Utilización de nutrientes por la flora y fauna microbiana.

(<http://www.agroenzymas.com.mx/www/noticias/tecjul02.html>).

La fertilización es una técnica agrícola por si misma y pertenece en todos los casos a las ciencias del suelo o edáficas, ya que los cultivos tienen en general las mismas necesidades de minerales y en cambio las características de los suelos que interaccionan con su fertilidad son muy variables de un tipo de suelo a otros de manera que es el suelo y no el cultivo el que norma el tipo de fertilización por aplicar (Rojas, 1982)

2.3 Fertilizantes

Los fertilizantes son los elementos nutritivos que se suministran a las plantas para complementar necesidades nutricionales del cultivo en las situaciones en las cuales el suelo no puede proveerlos en su totalidad de su crecimiento y de su desarrollo, son usados por la planta para formar tejidos nuevos, ayudan en los procesos de crecimiento (López, 1997).

Los tipos de fertilizantes que se conocen son:

- Sólidos: generalmente son los que más se utilizan y pueden ser polvo, cristales o gránulos.
- Líquidos: pueden ser simples (soluciones nitrogenadas) o compuestos (soluciones binarias o terciarias).
- Gaseosos: se utiliza solamente el amoníaco anhidro.

(López, 1997)

Las plantas para crecer necesitan de nutrientes en proporciones variables para completar su ciclo de vida y para su nutrición. En las plantas se han encontrado unos 50 elementos, pero sólo 16 han sido determinados como esenciales (Rodríguez, 1997).

Los Macroelementos nutritivos esenciales son Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Azufre (S) y los Microelementos: (C, H, Fe, Mn, Cu, Zn, Mb, B, Cl) también indispensables para la nutrición de las plantas son absorbidos en pequeñas cantidades (Maroto, 1992).

Los fertilizantes mayormente utilizados son los abonos simples en forma de sólidos solubles (nitrato cálcico, nitrato potásico, nitrato amónico, fosfato monopotásico, fosfato monoamónico, sulfato potásico, sulfato magnésico) y en forma líquida (ácido fosfórico, ácido nítrico), debido a su bajo costo y a que permiten un fácil ajuste de la solución nutritiva, aunque existen en el mercado abonos complejos sólidos cristalinos y líquidos que se ajustan adecuadamente, solos o en combinación con los abonos simples, a los equilibrios requeridos en las distintas fases de desarrollo del cultivo (Jiménez 1992).

La demanda nutrimental del cultivo es función de su potencial de acumulación de materia seca y para determinar la demanda nutrimental de un cultivo, es preciso tener conocimiento del requerimiento de se nutrimento, del índice de cosecha y del rendimiento esperado bajo una condición edafoclimática dada.

Las aplicaciones de los fertilizantes responden tanto a las características propias de los mismos como al comportamiento del cultivo en su eficiencia de absorción por parte de las raíces y las hojas y a sus requerimientos en las distintas etapas de crecimiento y desarrollo; los requerimientos de nutrientes de la planta están en la función de las condiciones de crecimiento de la variedad del cultivo, de la población de plantas y del rendimiento esperado (Gómez, 2003).

De los factores que inciden directamente en el buen desarrollo y productividad de los cultivos tiene vital importancia la adecuada utilización de los materiales fertilizantes usados como fuentes de nutrición. Es necesario, por tanto, contar con materiales de buena calidad, que nos proporcionen la seguridad de estar manejando las fuentes idóneas y libres de elementos detrimentales.

Por lo anterior, los fertilizantes para los programas de nutrición deberán ser altamente solubles, aportando características que faciliten y mejoren el manejo del cultivo, esto es:

- Materiales altamente solubles.
- Bajo impacto en el aumento de la conductividad eléctrica.
- Bajo índice salino.

- Auxiliares en el manejo del pH de las soluciones.
- Libres de elementos detrimentales como Cloro (Cl) y Sodio (Na).
- Versátiles, que puedan usarse vía sistema radicular, como vía foliar.
- Compatibilidad de las fuentes fertilizantes solubles.

(Gómez, 2003).

Los criterios principales por los que un elemento puede considerarse esencial o no para cualquier vegetal son dos:

En primer lugar, un elemento es esencial si el vegetal no puede completar su ciclo de vida (formar semillas viables) en ausencia de tal elemento. En segundo lugar, un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta que es en si mismo esencial para esta; como es el caso del nitrógeno en las proteínas o el magnesio en la clorofila (Cuadro 2) (Salisbury y Ross, 2000).

Cuadro 2. Minerales esenciales.

Mineral	Símbolo	Nivel promedio en la planta (%)	Clasificación
Nitrógeno	N	2-3%	Macronutriente Primario
Magnesio	Mg	0,3%	Macronutriente Secundario

Fuente: (López, 1997).

2. 4 Nitrógeno.

El nitrógeno representa un elemento necesario para la multiplicación celular y desarrollo de órganos vegetales, es componente importante de muchos compuestos orgánicos, los compuestos nitrogenados constituyen de un 40 a 50% de la materia seca del protoplasma, sustancia viva de las células vegetales (Michel, 1998). Es el elemento más abundante en los vegetales después del carbono, el hidrógeno y el oxígeno, ya que participa en los procesos de crecimiento como un componente estructural y funcional. (Rodríguez, 1992)

El nitrógeno ingresa en la formación de aminoácidos, construyendo las proteínas vegetales, siendo un constituyente de éstas, al igual que los ácidos nucleicos, y clorofila, es el componente principal del protoplasma (Velasco, 1999).

2.4.1 Función del Nitrógeno

Es el mineral más importante en la nutrición de las plantas. Es fundamental en el crecimiento y producción, forma parte de todas las proteínas, de la clorofila que da el color verde a las plantas y de muchas enzimas (López, 1997).

El nitrógeno incrementa la capacidad de intercambio de cationes de las raíces de la planta y, por consiguiente, hace que sean más eficaces para la absorción de otros iones nutrientes (Tamhane, 1986).

Es importante seleccionar la forma más adecuada del suministro de nitrógeno tomando como indicadores el estado fenológico o el estado de desarrollo de la planta o de la zona del área radicular. La urea, es usualmente la fuente de nitrógeno de menor costo, (en forma de amida NH_2). (Richter, 1982).

Dentro de los efectos positivos por una adecuada cantidad de nitrógeno se encuentra, más cantidad de clorofila por lo tanto el color verde es más intenso, mayor asimilación y síntesis de productos orgánicos y mayor producción de hojas, frutas y semillas; una deficiencia de nitrógeno se manifiesta en una baja productividad de la planta debido a una debilidad de la misma, caída de las hojas desarrollo y crecimiento lento y escaso, la carencia de este elemento la observamos en la pérdida de clorofila, una coloración verde amarillenta de las hojas (clorosis), necrosis o muerte de tejido los síntomas se inician en las hojas más viejas y luego en tallos y frutos.(Demolon,1972).

Una alta disponibilidad de nitrógeno en especial si un cultivo es bien regado, estimula un crecimiento vegetativo muy vigoroso y disminuye la producción. Cuando se aplican dosis de fertilizantes nitrogenados muy altas se produce toxicidad rápidamente: las hojas aparecen quemadas en el borde y entre las nervaduras, y antes de secarse el tejido se pone flácido como si estuviera cocido (Cooke, 1992).

Una de las recomendaciones más importantes, especialmente para el nitrógeno, es la de no aplicar en una sola oportunidad toda la dosis de fertilizante recomendada; esto es, atendiendo al comportamiento nutricional de la planta en

sus diferentes etapas de desarrollo; es decir que la planta presenta una exigencia nutricional variada en cada etapa de su desarrollo.

<http://www.steviaparaguay.com/cultivocomercial/cultivo.htm>

2.4.2 Urea

La urea es un fertilizante sólido de mayor concentración de nitrógeno total alcanzando un 46 % del peso del fertilizante, es un sólido muy higroscópico y soluble en agua. Una vez incorporada al suelo se transforma en carbonato amónico $\text{CO}_3 (\text{NH}_4)_2$ induciendo a una cierta alcalinidad; luego las bacterias lo nitrifican pasando al estado de nitrato y produciendo una reacción ácida (Cuadro 3). (Rodríguez, 1999).

Se deben tener en cuenta para su manejo y aplicación los siguientes puntos:

- Por su alta concentración facilita al manejo y el almacenaje. Las presentaciones son en polvo, gránulos y cristal, son recomendables por su gran higroscopicidad las formas en gránulos.
- Las aplicaciones al suelo se hacen con antelación por su proceso de transformación.
- El contenido de amidas del ácido alopático (biuret) no deben exceder el 2 % del contenido total, un exceso provocaría síntomas de toxicidad en el cultivo.

(Rodríguez, 1999).

Cuadro 3. Características físico-químicas de la urea granulada.

Composición química	46-0-0
Nitrógeno total	46%
Presentación	granulado
Color	Blanco- blanco amarillento
Dureza	Presión para romper los gránulos: 0.9-1.6 Kg

Fuente: <http://www.profertil.com.ar/quees.htm>

2.5 Magnesio

El Magnesio es importante ya que es absolutamente esencial, pues forma el núcleo de la clorofila (Rojas, 1982). También forma parte integral de los ribosomas, además el ión activa una serie de enzimas, entre estas, la RNA-polimerasa y la polinucleótido-fosforilasa. La mayoría de las plantas lo requieren en grandes cantidades (Bidwell, 1996).

2.5.1 Funciones del Magnesio

El magnesio desempeña importantes funciones en las plantas, es un cofactor necesario para muchas enzimas sirve para ligar enzima y sustrato esta implicado en la estabilización de partículas ribosómicas al enlazar las subunidades que forman el ribosoma (Fagería, 1992).

Es activador de muchas reacciones de transferencia de fosfatos, reacciones que implican transferencia de fosfato desde el ATP en las que el magnesio actúa como un eslabón. (Bidwell, 1996).

La deficiencia de magnesio se manifiesta en clorosis de las partes maduras, hojas viejas, que en las jóvenes, en las hojas bajas. Presenta una decoloración amarillenta internerval, que se mueve desde el centro de la lámina hacia los bordes y desde las hojas inferiores a las superiores, se observa un moteo (Rojas, 1982).

Se debe tener mucho cuidado al diagnosticar esta deficiencia, pues es posible confundirla con una carencia de potasio, lo cual traería como consecuencia la completa defoliación del cultivo (Tradecorp, 1984).

2.5.2 Sulfato de Magnesio

Sal epsom es un sulfato de magnesio heptahidratado obtenido por cristalización de salmueras naturales seguido de una purificación a través de procesos tecnológicamente avanzados. El contenido de nutrientes es de 13 % de azufre y 16 % de magnesio, en el siguiente Cuadro 4, se muestran las características físico-químicas de este fertilizante.

Cuadro 4. Características del sulfato de Magnesio sal epsom.

Peso molecular	246.47, (g/ml)
Color y Forma	Cristales blancos
Densidad	1 700 kg /m ³
Solubilidad	71 g/100 ml de agua a 20° C
Compatibilidad	Compatible con la mayoría de fertilizantes
Manejo y almacenamiento	Para evitar el endurecimiento, almacenar en condiciones secas, frescas y oscuridad. El endurecimiento, de alguna forma disminuye la solubilidad inmediata de la sal en el agua
Comportamiento en el suelo	De rápida liberación de magnesio (Mg ⁺²) y azufre en forma de sulfato (SO ₄ ⁻²) sal neutra, pH en solución acuosa está entre 6 y 7.

Fuente:<http://www.agroimpulso.com.ar/agronomos/agricultura/fertilizantes.htm>

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Sonora, unidad Náinari, ubicado en la calle Antonio Caso s/n col. Villa ITSON en Ciudad Obregón, municipio de Cajeme, Sonora, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2004.

Invernadero

El invernadero donde fue realizado el experimento es una estructura con paredes de cristal y techo de lámina, en el cual se cuenta con aire acondicionado y se controla la temperatura en un rango que va de los 18 -25 °C.

3.2 Diseño experimental

El diseño experimental se realizó en bloques bajo un diseño simple, completamente al azar, constó de 7 tratamientos y 4 repeticiones en fertilización foliar y otros 7 tratamientos y 4 repeticiones en fertilización al suelo cada uno, resultando un total de 56 unidades experimentales.

Los análisis estadísticos, análisis de varianza y comparación de medias, se efectuaron con ayuda del programa estadístico Nuevo León (1994).

3.3 Tratamientos

La aplicación de los fertilizantes se realizó cada 7 días durante 3 semanas consecutivas (21 días), después de la aparición de las primeras hojas verdaderas en forma directa al suelo y foliar, se sembraron semillas del cultivo sandía (*Citrullus lannatus*) var. "Jubilee", y se aplicaron los siguientes tratamientos (Cuadro 5):

Cuadro 5: Distribución de la dosificación del fertilizante en los diferentes tratamientos aplicación al suelo y aplicación foliar.

Tratamiento	Urea (Nitrógeno) (kg ha ⁻¹)	Sulfato de Magnesio (Mg) (kg ha ⁻¹)
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	1	1
5	2	2
6	3	3
7	Testigo	Testigo

Se colocaron aproximadamente 30 g de sustrato comercial SUNSHINE 3 por vaso y se humedeció, para posteriormente sembrar la semilla.

Las fuentes de fertilización utilizadas en el experimento fueron; urea y sulfato de magnesio. La cantidad de fertilizante requerida por cada tratamiento se calculó para cada una de las unidades específicamente y se pesaron por separado en la balanza Ohaus semianalítica.

Las preparaciones se llevaron acabo en el invernadero minutos antes de la hora y día correspondiente a la aplicación. El cálculo se hizo en base al número de plantas existentes en una hectárea (2 700 plantas) y la dosis de fertilizante para cada tratamiento, para obtener la cantidad de urea y sulfato de magnesio de cada planta.

Entonces; para aplicación en suelo:

Tratamiento 1:

1ha⁻¹, 2 700 plantas de sandía-----1kg. Fertilizante

1 planta de sandia -----X

X = 0.37 gr. De urea= 370 mg / planta

Tratamiento 2:

1ha⁻¹, 2 700 plantas de sandía-----2 kg. Fertilizante

1 planta de sandia -----X

X = 0.740 gr. De urea= 740 mg / planta

Tratamiento 3:

1ha⁻¹, 2 700 plantas de sandía-----3 kg Fertilizante

A 1 planta de sandia -----X

$X = 1.111 \text{ gr. De urea} = 1110 \text{ mg / planta}$

Tratamiento 4:

1 ha^{-1} , 2 700 plantas de sandía ---1 kg Fertilizante MgSO_4

1 planta de sandia -----X

$X = 0.37 \text{ gr. de sulfato de Mg} = 370 \text{ mg / planta}$

Tratamiento 5:

1 ha^{-1} , 2 700 plantas de sandía----2 kg. Fertilizante MgSO_4

1 planta de sandia -----X

$X = 0.740 \text{ gr. de Sulfato de Mg} = 740 \text{ mg / planta}$

Tratamiento 6:

1 ha^{-1} , 2 700 plantas de sandía -----3 kg. Fertilizante MgSO_4

1 planta de sandia -----X

$X = 1.111 \text{ gr. de Sulfato de Mg} = 1110 \text{ mg / planta}$

Tratamiento 7:

Testigo blanco, (no hay aplicación)

Los fertilizantes se aplicaron cada 7 días durante tres semanas consecutivas después de la aparición de las primeras hojas verdaderas en forma foliar (Fig.2) y directa al suelo, (Fig.3), conformando dos análisis completamente independientes.



Fig. 2. Aplicación de Fertilizante en forma foliar



Fig. 3. Aplicación de fertilizante de forma directa al suelo.

Para los tratamientos de aplicación foliar se pesó la misma cantidad de fertilizante y se disolvió en 100 ml de agua para realizar la aplicación en forma foliar, (Fig. 4) mediante la utilización de aspersores para cada planta. Cabe señalar que los riegos se realizaron conforme a la demanda de agua.



Fig.4. Preparación del fertilizantes para aplicación foliar con aspersores.

3.4 Equipo de medición

Para la toma de lecturas de los parámetros a medir, se utilizó el siguiente equipo:

- Medidor de clorofila SPAD 502 MINOLTA
- Integrador de área foliar inc. Modelo CL-202
- Balanza semianalítica balanza Ohaus. VI-2400
- Cinta métrica
- Regla
- Probeta (volumen desplazado)
- Horno (peso seco)

3.5 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron las siguientes; Altura de la planta, Tasa relativa de crecimiento TRC, Área foliar, peso seco aéreo, fitotoxicidad, longitud de raíz, peso volumétrico raíz, peso seco raíz, clorofila total.

A continuación se describe brevemente el proceso de medición de cada una de las variables señaladas. Las variables que se evaluaron durante el trayecto del experimento se realizaron de la manera siguiente:

3.5.1 Área Foliar

Se desprendió la parte aérea de las plantas para que posteriormente se midiera el área foliar, para lo cual se utilizó un integrador de área foliar marca CID, inc. Modelo CL-202, (Fig. 5) los resultados obtenidos se dan en cm^2 .

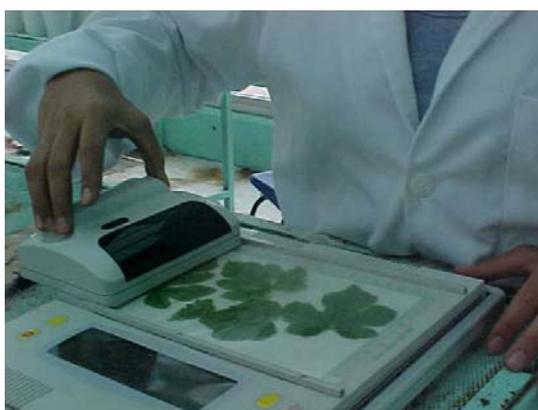


Fig. 5. Medición del área foliar mediante el integrador

3.5.2 Altura de la planta

En esta variable se tomaron cada una de las plantas y se midieron con una regla, la medición se hizo a lo largo hasta donde iniciaron los primordios foliares obteniéndose los resultados en cm. (Fig. 6).



Fig. 6. Medición de Altura.

3.5.3 Tasa Relativa de Crecimiento

Con los resultados obtenidos de altura se calculó la tasa relativa de crecimiento (TRC), mediante la siguiente formula:

$$TRC = \frac{(Af - Ai)}{T}$$

Donde: Af = Altura final

Ai = Altura Inicial

T= tiempo (días transcurridos)

3.5.4 Peso seco de la parte aérea

Se cortó la parte aérea de las plantas y se introdujeron en bolsas de papel, previamente etiquetadas por tratamiento, se colocaron en el horno a temperatura de 70°C por 24 horas, (Fig. 7) la parte aérea seca se pesó en una balanza semianalítica, (Fig. 8) obteniendo los resultados en gramos.



Fig.7. Secado de la parte aérea.



Fig. 8. Peso seco parte aérea

3.5.5 Fitotoxicidad

Se determinó desde la primera aplicación, hasta días después de la última, valorando el tejido necrosado o indicios del mismo, en hojas, tallos, ramas y

raíces en la escala del 1-5, siendo 1 sin daño, 2 con daño inicial del 5%, 3 con daño aparente de mas del 5 al 25%, 4 daño fuerte de mas de 25 al 50%, y 5 en plantas en inicio de la senescencia con daños por arriba del 50%.

3.5.6 Longitud de la raíz

Se tomaron las raíces de cada planta al final del experimento, quitándoles el exceso de sustrato y se midieron con una cinta métrica, (Fig. 9) los resultados se expresaron en cm.



Fig. 9. Medición de longitud de raíz

3.5.7 Peso volumétrico de la raíz

Se introdujeron las raíces cortadas y lavadas en una probeta graduada con cierta cantidad de agua, y se midió la cantidad de líquido que desplaza la raíz ml. (Fig. 10).



Fig. 10. Medición peso volumétrico de raíz

3.5.8 Peso seco de la raíz

Se tomaron las raíces cortadas de las plantas y se introdujeron en bolsas de papel, previamente etiquetadas por tratamiento, se colocaron en el horno a una temperatura de 70°C por 24 horas, la raíz seca se pesó en una balanza semianalítica, obteniendo los resultados en gramos.

3.5.9 Clorofila total

En esta variable se tomaron lecturas a la cuarta hoja fisiológicamente madura de cada planta diariamente durante tres semanas entre las 11:00 a.m. y las 14:00 p.m. (Fig. 11). Se obtienen los datos en unidades de clorofila.



Fig.11. Medición de clorofila total, mediante SPAD.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Área Foliar

En cuanto a la fertilización al suelo el tratamiento que tuvo mayor área foliar fue el 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹) superando al testigo en un 58.8 %. En la gráfica 1 se puede observar que todos los demás tratamientos son estadísticamente iguales no presentan entre ellos diferencia significativa.

Los tratamientos 2 y 3 correspondientes a (2 y 3 kg urea ha⁻¹) no se presentan en esta gráfica y en ninguno de los resultados finales, ya que estos no pudieron ser evaluados, debido a que sufrieron un daño fitotóxico y murieron, después de la tercera fertilización.

En cuanto a la fertilización foliar, se puede observar un comportamiento similar al de la fertilización directa al suelo, (gráfica 1) se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, el que presentó mayor área fue el tratamiento 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), superando al testigo en un 50.55 %. El tratamiento 1 (1kg urea ha⁻¹), 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹) y 6 (3 kg MgSO₄ ha⁻¹), son estadísticamente iguales, se puede ver que todos los tratamientos superaron al testigo (tratamiento 7). Los tratamientos 2 y 3 de la fertilización foliar también fueron eliminados debido a que murieron.

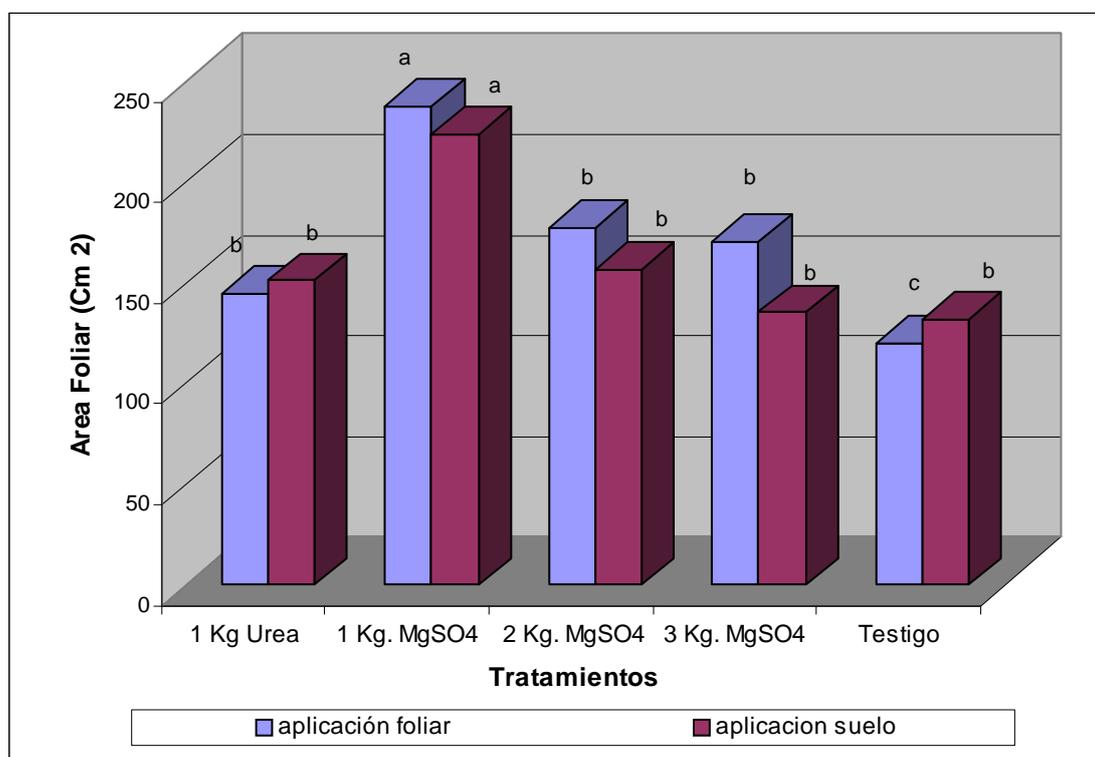
Estos resultados muestran que en los tratamientos con sulfato de magnesio en dosis bajas de ($1 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$) tanto en fertilización foliar como al suelo, fueron los tratamientos con áreas foliares máximas. Bidwell, (1996), menciona que el magnesio es importante ya que es absolutamente esencial, pues se encuentra formando el núcleo de la clorofila. También es parte integral de los ribosomas, además el ión activa una serie de enzimas, entre estas, la RNA-polimerasa y la polinucleótido-fosforilasa.

Rodríguez, (1992), menciona que la cantidad de magnesio requerida es variable y va de acuerdo a las necesidades reales de cada cultivo y la etapa fisiológica, en este caso en la gráfica 1 podemos ver, que al aumentar las dosis de magnesio no generó aumento de área foliar, ocurrió lo contrario, disminuyeron los valores de área, conforme aumentaba la cantidad de magnesio.

Los tratamientos con nitrógeno, (urea), como ya se mencionó anteriormente sufrieron un daño fitotóxico y murieron después de la tercera fertilización, se encontró que al aumentar la dosis de nitrógeno, se provoca un problema en las plantas de los tratamientos (2 y 3) con dosis de 2 y 3 kg urea ha^{-1} , se deduce que esto fue por saturación y o acumulación del nutriente, se aplicó más del que realmente necesitaba la planta. Richter (1982), menciona también que cuando se aplican dosis de fertilizantes nitrogenados muy altas se produce toxicidad rápidamente: las hojas aparecen quemadas en el borde y entre las nervaduras, y antes de secarse el tejido se pone flácido como si estuviera cocido.

El nitrógeno posee una alta movilidad en la absorción foliar, por lo que afecta rápidamente al cultivo debido a que se acumula hasta llegar a ser tóxico para la planta (Rodríguez, 1992)

Además se demuestra que una cantidad excesiva de nitrógeno en las plantas afecta de manera negativa el crecimiento de éstas, ya que llega un momento en que este inhibe el crecimiento vegetativo hasta llegar a ser tóxico, bloqueando su metabolismo (Marshner, 2003).

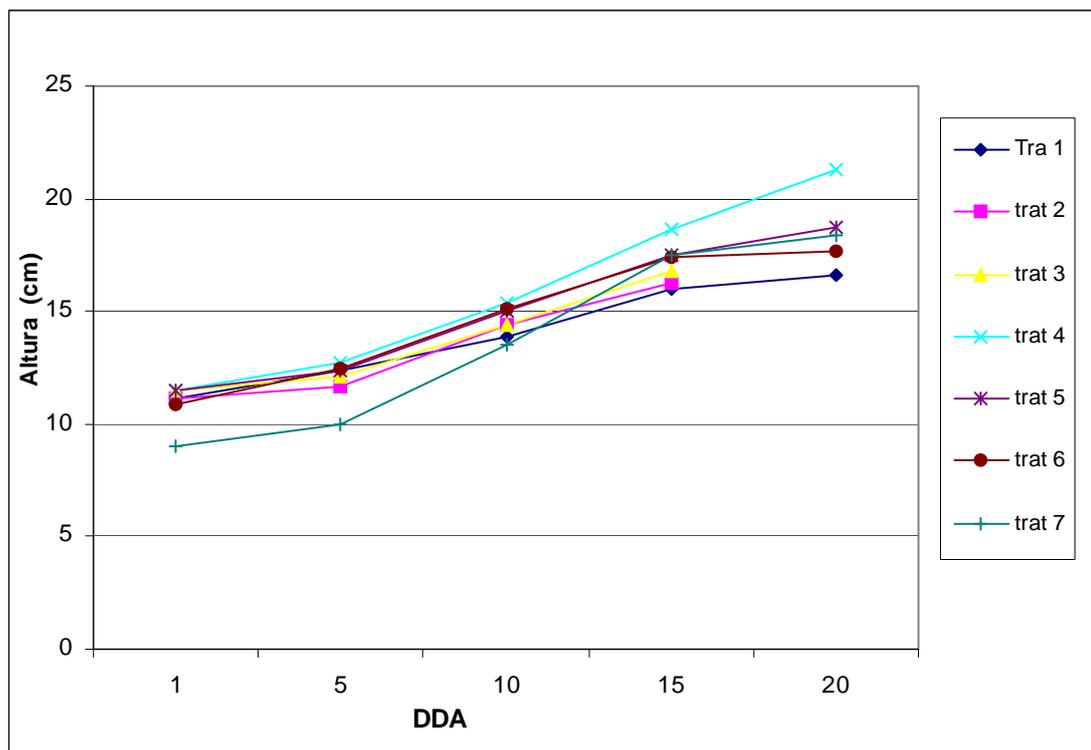


Grafica 1. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el área foliar en fertilización al suelo y fertilización foliar.

4.2 Altura

En cuanto a esta variable podemos observar (gráficas 2 y 3) todos los tratamientos a través del tiempo después de cada aplicación de fertilizante, además ver el comportamiento de los tratamientos que fueron eliminados, tratamientos 2 y 3 correspondientes a (2 y 3 kg urea ha⁻¹) respectivamente, que a partir del día 15, no obtuvieron mas datos de altura para seguirlos evaluando.

En cuanto a fertilización al suelo (gráfica 2), se puede notar que algunos tratamientos tuvieron el mismo nivel de crecimiento, alrededor de los días 1 y 5 siendo siempre el mejor el 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), pero además podemos observar que los demás tratamientos, están por encima del testigo después de la primera aplicación de fertilizante, los tratamientos 2 y 3 (2 y 3 kg urea ha⁻¹) se ven afectados después de la tercer fertilización del día 13-15 disminuye su crecimiento; debido a una acumulación de nitrógeno, causando daño a la planta e inhibiendo su desarrollo normal por lo que murieron.



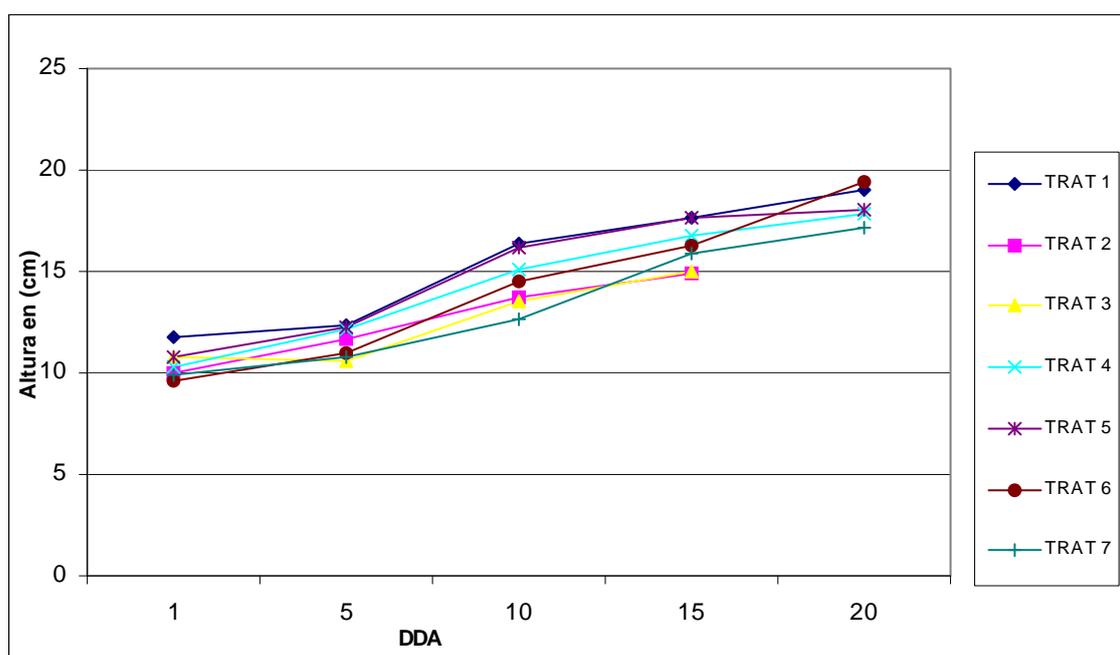
DDA = Días después de aplicación

Gráfica. 2. Efecto de las diferentes dosis de Urea y sulfato de Magnesio sobre la altura a través del tiempo en aplicación al suelo.

En esta gráfica, se observa que al aumentar la cantidad de fertilizante en fertilización al suelo disminuye el crecimiento, se encuentra que los tratamientos con Mg y N, en niveles bajos, se ven favorecidos, superando a los testigos.

En la fertilización al foliar (gráfica 3) hay mayores valores de altura que en la fertilización al suelo, el tratamiento 1 ($1 \text{ kg urea ha}^{-1}$) es el de mayor altura, seguido del tratamiento 5 ($2 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$) y tratamiento 6 ($3 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$) con magnesio, estos tratamientos tuvieron mayor crecimiento desde los primeros días de fertilización, el tratamiento 4 ($1 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$) obtuvo menor altura al final.

Por otra parte los tratamientos 2 (2 kg urea ha⁻¹) y 3 (3 kg urea ha⁻¹) conforme se aumenta la cantidad de magnesio y nitrógeno el crecimiento fue casi uniforme en las primeras dos aplicaciones de fertilizante, luego se llegó a un punto donde el nitrógeno se acumulo en la planta e inhibió su desarrollo como menciona Marshner, (2003), por lo que las plantas también murieron después del día 16.



DDA = Días después de aplicación

Grafica. 3. Efecto de las diferentes dosis de urea y sulfato de magnesio sobre la altura vs tiempo en fertilización foliar.

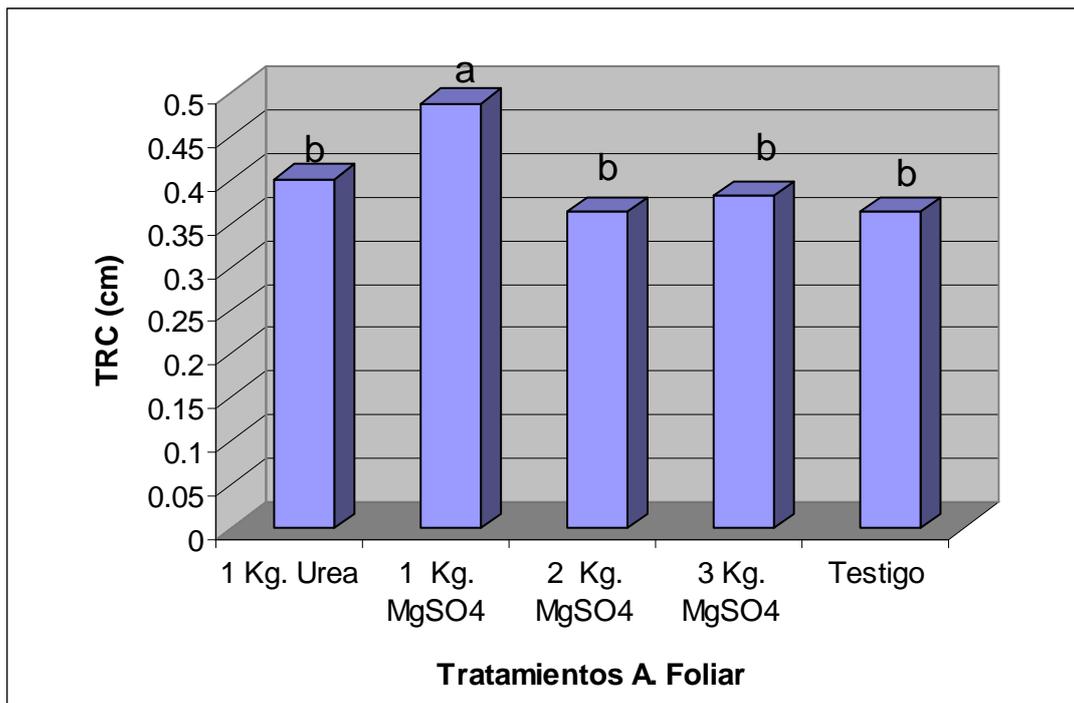
4.3 Tasa Relativa de crecimiento

En lo que respecta a la tasa relativa de crecimiento, en fertilización foliar (gráfica 4), se puede observar que no mostró diferencia estadísticamente significativa, aun cuando el mejor tratamiento fue el 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹) seguido por el tratamiento

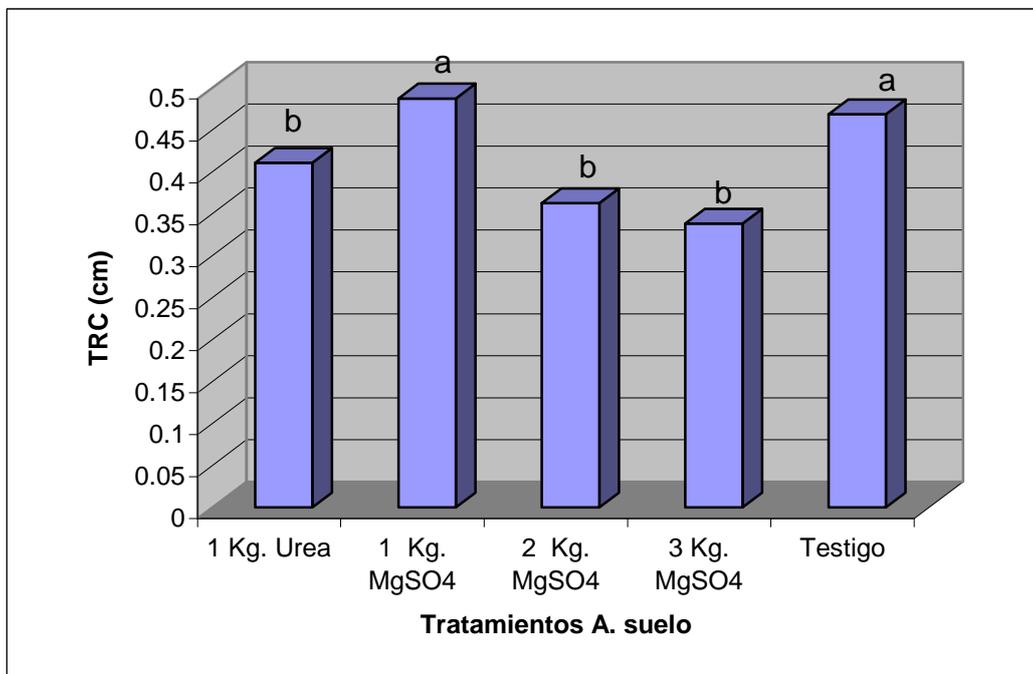
1(1 kg urea ha⁻¹) superando ambos al testigo (tratamiento 7) en un 5 % y 3%, respectivamente.

En cuanto a la fertilización al suelo podemos ver que tampoco mostró diferencia estadísticamente significativa, aunque el tratamiento 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), fue el que presentó mayor TRC, superando en forma discreta al testigo en un 4% y al tratamiento 1(1 kg urea ha⁻¹) en un 10% (gráfica 5).

Referente a la tasa relativa de crecimiento, Barcelló, (1998), citado por Mata (2004), describe que es durante los días posteriores a la aplicación de fertilizante, se produce un aumento de células meristemáticas y de área fotosintética, un crecimiento relativo; en su estudio menciona que en las especies *cucurbitaceae*, al aumentar las dosis de fertilizantes se provocó un aumento y aceleración en la elongación celular de los cultivos, observándose una mejoría en los tratamientos con Mg esto nos sugiere que, si aumentamos la dosis de magnesio, aumenta también el crecimiento de nuestro cultivo; Sin embargo, no se obtuvo este comportamiento, el mejor tratamiento tanto al aplicar fertilizante en forma foliar como al suelo fue el 4 (1kg MgSO₄ ha⁻¹), de menor cantidad de magnesio, es decir, que el cultivo requiere esta dosis de fertilizante para propiciar un mayor crecimiento, y si ésta, se aumenta el crecimiento es inhibido o disminuye.



Grafica. 4 Efecto de las diferentes dosis de Urea y sulfato de Magnesio sobre la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) en fertilización foliar.



Grafica. 5 Efecto de las diferentes dosis de urea y sulfato de magnesio sobre la Tasa relativa de crecimiento (TRC) en fertilización al suelo.

4.4 Peso seco Aéreo

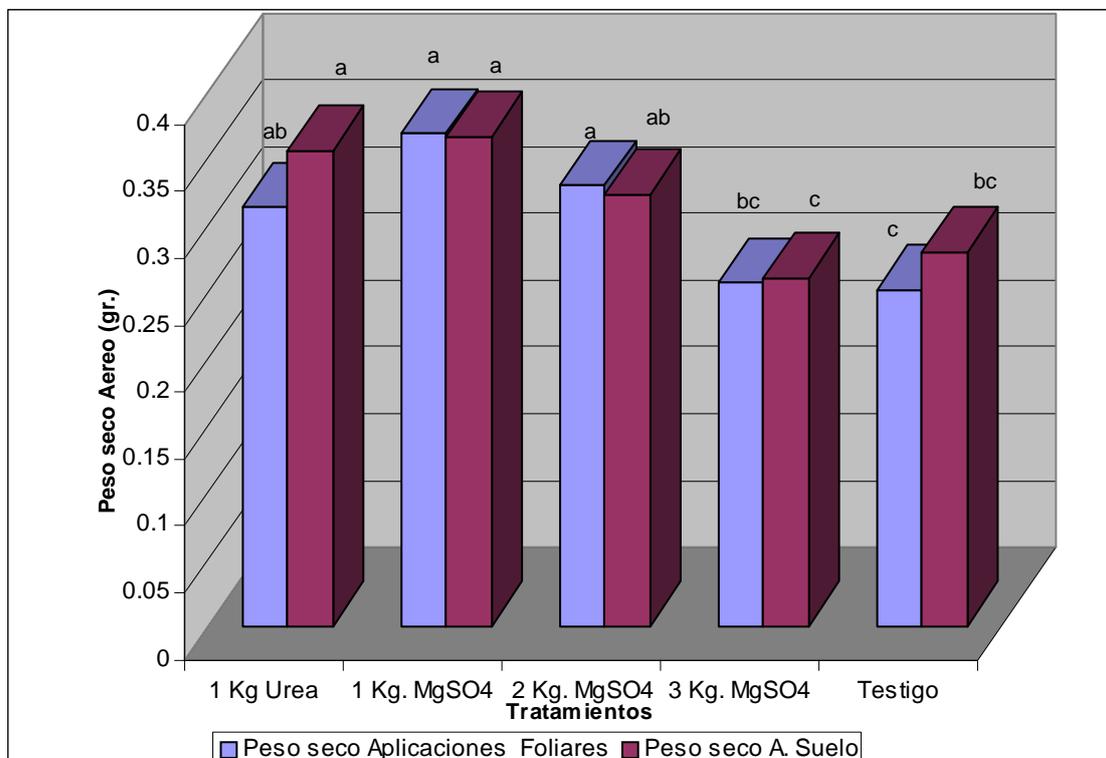
En lo que respecta a esta variable en la fertilización foliar (gráfica 6), se puede analizar que hubo diferencias entre los tratamientos, ya que los mejores fueron el 1 (1 kg. urea ha⁻¹), 4(1 kg MgSO₄ ha⁻¹), y 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹), estos superaron al testigo en un 50%, excepto el tratamiento 6 (3 kg MgSO₄ ha⁻¹), que fue estadísticamente igual al testigo.

En la fertilización al suelo (gráfica 6), muestra que también existe diferencia significativa, el mejor tratamiento fue el 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), y 1(1 kg urea ha⁻¹), superando al testigo en un 28% y 22% respectivamente, seguidos por el tratamiento 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹), que también superó al testigo en un 15 %, el tratamiento 6 fue estadísticamente igual al testigo.

Los tratamientos que presentaron mayor longitud de raíz y peso volumétrico, son de igual forma los mejores en cuanto al peso seco aéreo, tratamiento 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), en ambas aplicaciones del fertilizante. Mata, (2004), en su análisis para melón y sandía, menciona que se obtuvo incremento en el peso seco aéreo al aumentar también la dosificación de nutrientes.

El nitrógeno representa un elemento necesario para la multiplicación celular y desarrollo de órganos vegetales, es componente importante de muchos compuestos orgánicos, los compuestos nitrogenados constituyen de un 40 a 50% de la materia seca del protoplasma, sustancia viva de las células vegetales (Michel, 1998), Sin embargo, en este análisis observamos un comportamiento

inverso, tanto al aumentar la dosis de N y de Mg, en ambos caso se provocó una disminución del peso al aumentar la cantidad de fertilizante.



Grafica. 6. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el peso seco parte aérea en fertilización al suelo y fertilización foliar.

4.5 Fitotoxicidad

Referente a esta variable los resultados obtenidos, al valorar los tejidos: hojas, tallos y raíces, de todos los tratamientos tanto foliares como al suelo, exponen que se presentaron daños de necrosis del 5% en las hojas del tratamiento 1 (1 kg urea ha⁻¹), en aplicación foliar, y que los tratamientos 2 (2 kg urea ha⁻¹), (Fig.12 y 14) y 3 (3 kg urea ha⁻¹) (Fig.13 y 15) en ambas formas de aplicación, presentaron

un daño fitotóxico por acumulación y exceso de fertilizante de más del 50% lo que provocó la senescencia, y muerte en la totalidad de estos tratamientos.

Como ya se había venido mencionando con anterioridad, esto afecta de forma negativa el desarrollo de las plantas y no permitió que continuaran su desarrollo integral normal.



Fig. 12 Tratamiento 2, ($2 \text{ kg urea ha}^{-1}$) fertilización al suelo.



Fig.13 Tratamiento 3, ($3 \text{ kg urea ha}^{-1}$) fertilización al suelo.



Fig. 14 Tratamiento 2, ($2 \text{ kg urea ha}^{-1}$) aplicación foliar.



Fig.15 Tratamiento 3, (3 kg urea ha⁻¹) aplicación foliar.

Los tratamientos 2 y 3 (2 y 3 kg urea ha⁻¹) se ven afectados después de la tercera fertilización del día 12-13, disminuye su crecimiento; esto, debido a una acumulación de nitrógeno, causando entonces toxicidad a la planta e inhibiendo su metabolismo y crecimiento. (Rodríguez, 1992).

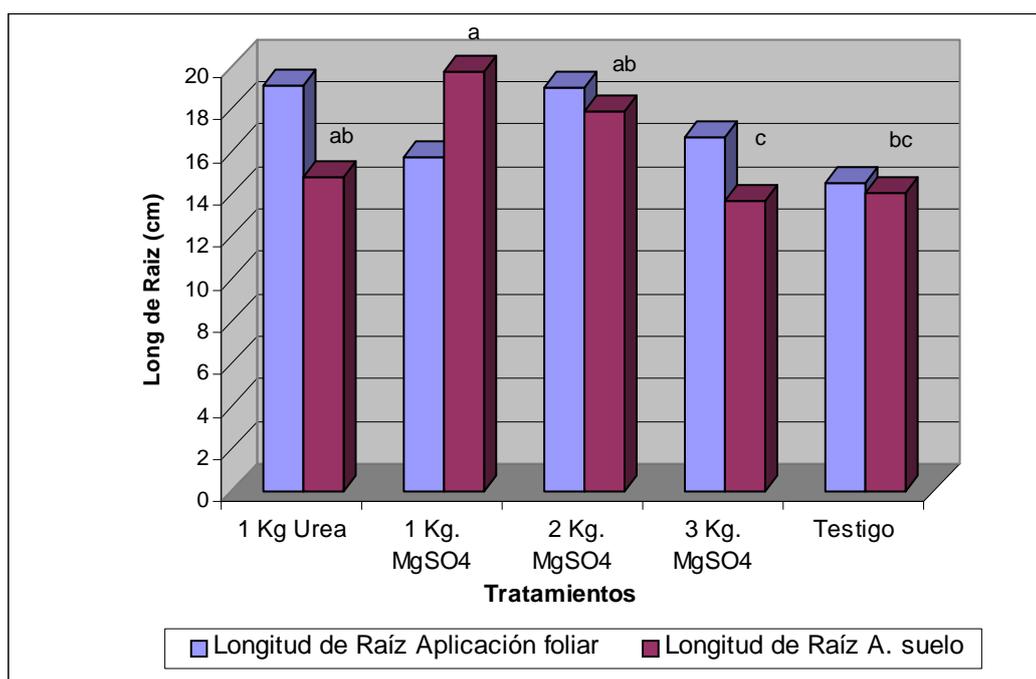
En estos tratamientos, se presentó un daño, fitotóxico o de ahogamiento de a la raíz (Fig.16), lo cual provocó la inhibición y desarrollo total de las plantas. Además de necrosis en hojas y adelgazamiento y debilidad de las plantas, como se muestra en las figuras anteriores.



Fig. 16. Tratamiento 3, (3 kg urea ha⁻¹) fertilización foliar

4.6 Longitud de Raíz.

En la gráfica 7, se puede apreciar que al analizar esta variable en la fertilización foliar no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, pero podemos apreciar que el tratamiento 1 (1 kg urea ha⁻¹), y 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹), ligeramente fueron en un 3 % y 5% mayores al testigo; Sin embargo, referente a la fertilización al suelo si se presentó diferencia, el mejor tratamiento fue el 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), superando en un 40 % al testigo, los tratamientos 1(1 kg urea ha⁻¹), y 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹) son estadísticamente iguales al testigo, excepto el tratamiento 6 (3 kg MgSO₄ ha⁻¹) el cual fue superado por todos los tratamientos.



Gráfica 7. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre la longitud de raíz en fertilización al suelo y fertilización foliar.

Respecto a la aplicación de magnesio en la fertilización foliar se muestra que el valor mayor se encontró en el tratamiento 1 con nitrógeno ($1 \text{ kg urea ha}^{-1}$), y en la fertilización al suelo (gráfica 7) sigue siendo el tratamiento 4 con magnesio ($1 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), podemos decir, que cuando se tenían contenidos bajos de fertilizante se estimuló a mayor crecimiento y elongación de la raíz.

Mata, (2004), realizó estudio en calabaza y sandía, citando a Black, (1975) menciona que esto es debido a que principalmente cuando la planta tiene un bajo contenido de nutrientes solubles para su absorción, especialmente nitrógeno, los carbohidratos concentrados en la planta se translocan hacia la raíz, lo que hace que tengan más actividad, lo cual propicia un crecimiento acelerado de este órgano, limitando un crecimiento aéreo, debido a que son las raíces las que consumen la mayor parte del nitrógeno absorbido.

4.7 Peso volumétrico de Raíz

En la gráfica 8, se puede observar que al analizar esta variable referente a la fertilización foliar no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, son estadísticamente iguales, pero podemos observar que los tratamientos 4 ($1 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), y 5 ($2 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), presentan un comportamiento similar y son mayores al testigo en un 5% y 7 %.

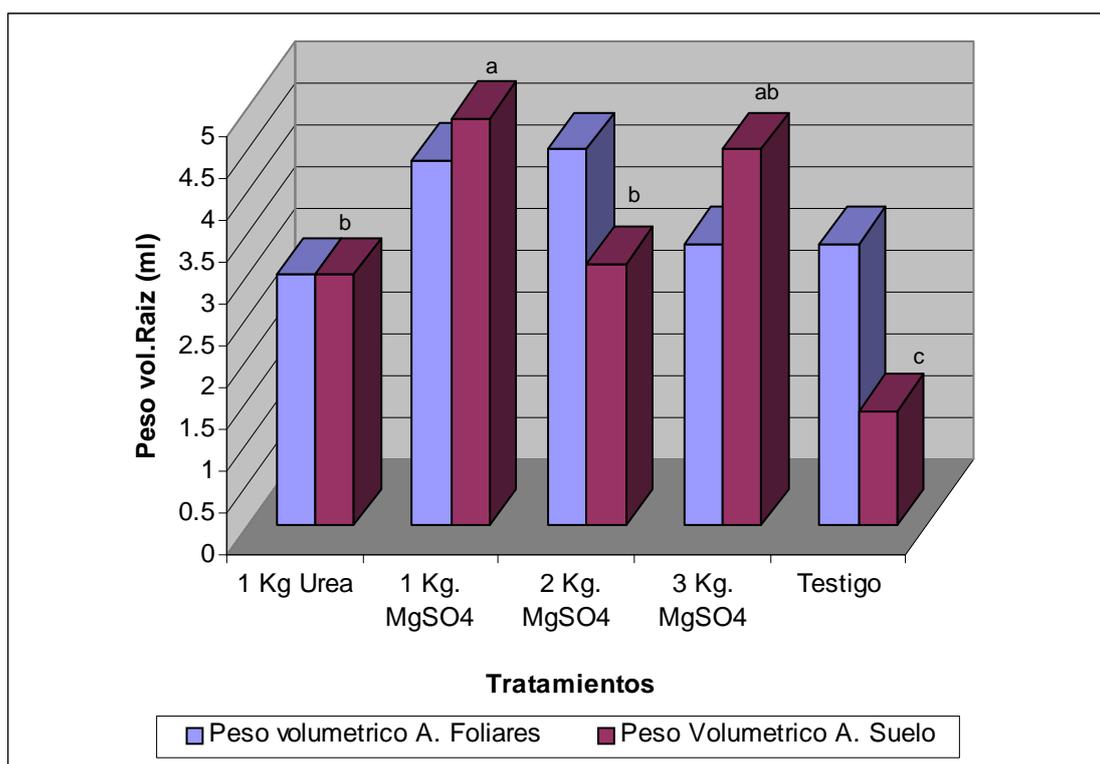
En la fertilización al suelo existe diferencia estadísticamente significativa teniendo como mejores tratamientos el 4 ($1 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), y 6 ($3 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), ambos

superan al testigo en un 60 % y 40%, el tratamiento 1(1 kg urea ha⁻¹) y 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹) superaron también al testigo en menor proporción.

En esta variable se muestra que en la fertilización al suelo se arrojan mayores resultados que en la aplicación foliar, aunque, en ambos casos el tratamiento 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹) es el mejor.

Los tratamientos con cantidades altas de nutrientes propiciarán una mayor densidad de raíces, según Black, (1975), las concentraciones altas de nitrógeno tienden a propiciar mayor actividad en la parte aérea. Al aumentar la cantidad de nitrógeno aplicado también aumentaría la densidad de la raíz según Marshner, (2003), y por lo tanto su peso volumétrico, pero en este caso sucedió lo contrario, a este comportamiento.

A medida que se van incrementado las dosis de nitrógeno 1, 2 y 3 kg urea₄ ha⁻¹ y magnesio 1, 2 y 3 kg MgSO₄ ha⁻¹, aplicado a las plantas vía foliar, en el caso del magnesio, la raíz se va haciendo mas corta la raíz, y menos densa, y en el caso nitrógeno aplicado de la segunda dosis de 2 kg urea ha⁻¹ en adelante fue tóxico para las plantas y murieron en ambos tipos de aplicación de fertilizantes.



Grafica. 8. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el peso volumétrico de la raíz en fertilización al suelo y fertilización foliar.

4.8 Peso Seco Raíz

En la fertilización foliar esta variable presentó diferencia significativa entre los tratamientos, el que presentó mayor porcentaje por encima del testigo fue el tratamiento 1 (1 kg urea₄ ha⁻¹), con un 41%, seguido del tratamiento 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹) en un 40 % (gráfica 9).

Por otro lado el comportamiento de los tratamientos respecto a la fertilización al suelo también presentó diferencia estadísticamente significativa, el mayor valor se obtuvo con el tratamiento 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), el cual superó al testigo en un

25%, los tratamientos 1 (1 kg urea ha⁻¹), 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹), y 6 (3 kg MgSO₄ ha⁻¹), son estadísticamente iguales, esto se puede observar en la gráfica 4.

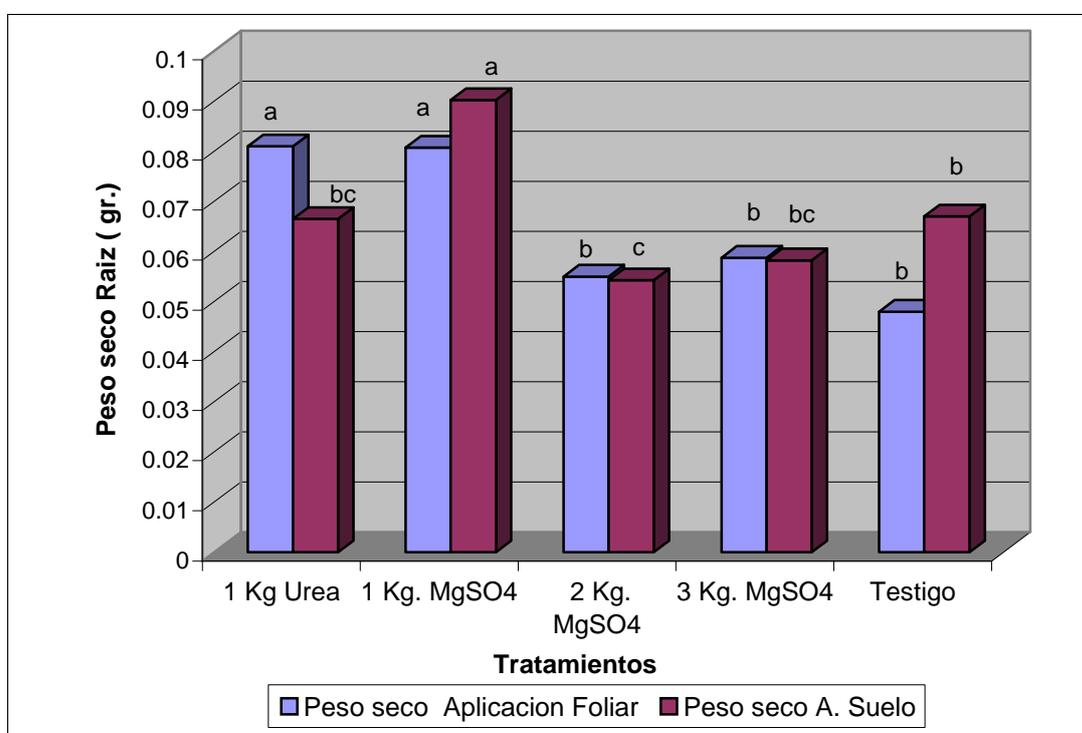
Según Tamhane, (1986), el nitrógeno incrementa la capacidad de intercambio de cationes de las raíces de la planta y por consiguiente, hace que sea mas eficaces para la absorción de otros iones nutrientes; el peso seco de raíz es la mejor manera de cuantificar el crecimiento ya que disminuye el grado de error al eliminar el agua, al aumentar la cantidad de fertilizante en ambos casos tanto en fertilización al suelo como foliar se observa que disminuye el peso seco, se encuentra que los tratamientos con magnesio y nitrógeno, en niveles bajos, se ven favorecidos.

De acuerdo a una curva de absorción de nutrientes establecidas para melón y sandía, por Ramírez, y Bertsch, (1999), se establece que para sandía la cantidad optima de Nitrógeno aplicado oscila entre 89 Kg. N, y 23 Kg. de Mg, pero estas son para etapas iniciales, donde la planta requiere mayor cantidad de nutrientes. Como lo dice, Rodríguez, (1999) el desarrollo vegetativo es el período en el que se acumulan mayor cantidad de elementos, siendo no obstante críticas las etapas de floración y cuajado del fruto, manteniéndose el nivel de absorción a lo largo del cultivo

En este análisis se encontró que las cantidades de fertilizante aplicadas en los tratamientos 1 (1 kg urea ha⁻¹), y 4, (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), son los que arrojan mejores resultados de peso seco de raíz, ambos tratamientos coinciden en tener lo valores de peso seco máximos, tuvieron absorción de nutrientes, los tratamientos de

mayores dosis de fertilizante tratamiento 5 ($2 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$) y 6 ($3 \text{ kg MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), con magnesio, 2 ($2 \text{ kg urea ha}^{-1}$), y 3 ($3 \text{ kg urea ha}^{-1}$), con nitrógeno, no hay diferencia gradual y en cuanto a la aplicación foliar y al suelo, el comportamiento es similar.

Según Richter, (1982). capacidad de absorción de nutrientes a través de la superficie foliar es variable según el tipo de cultivo y el tipo de nutriente aplicado, teniéndose en cuenta las necesidades reales y los niveles de toxicidad.



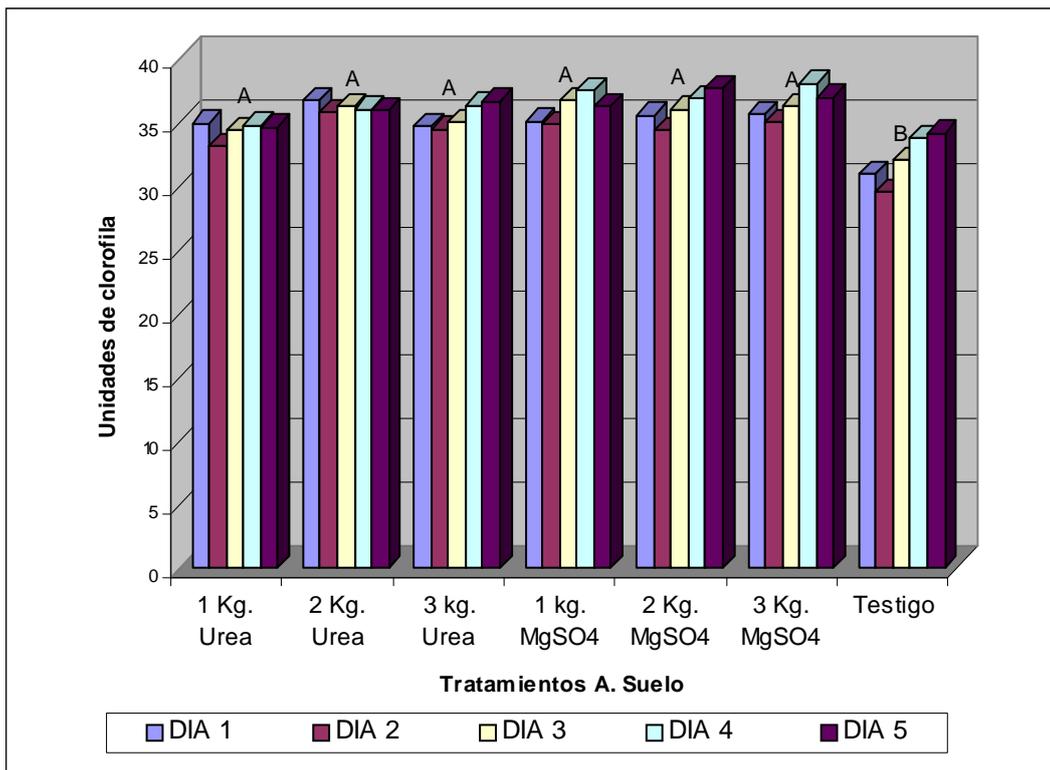
Grafica 9. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el peso seco de Raíz en fertilización al suelo y fertilización foliar.

4.9 Clorofila total

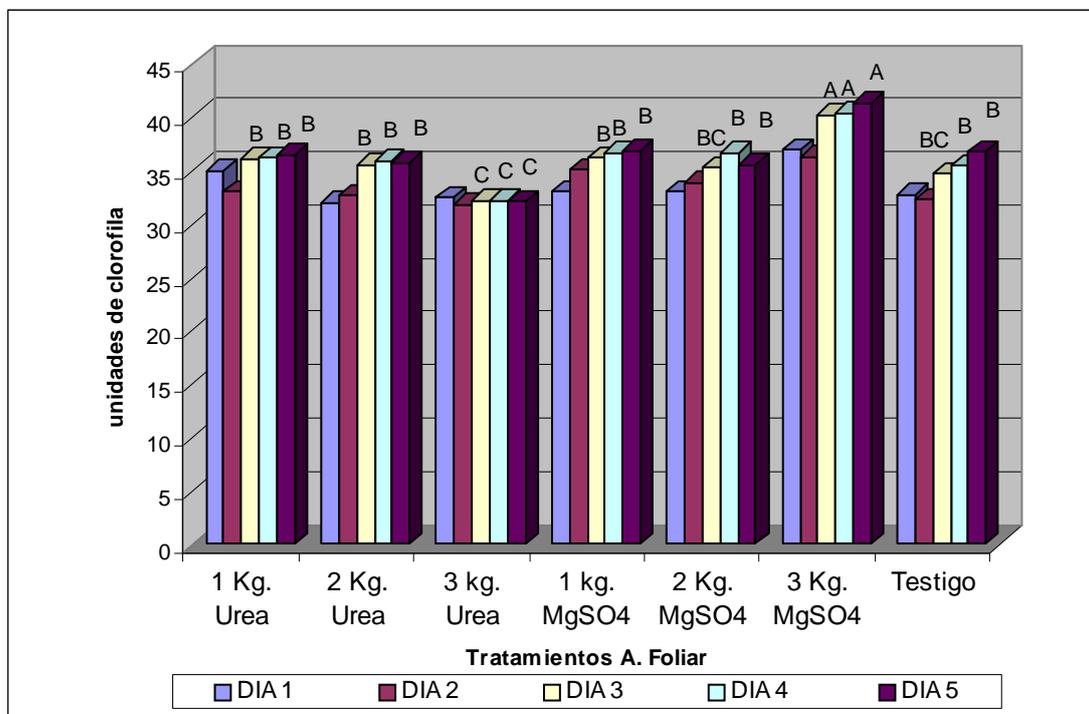
4.9.1 Clorofila Fertilización 1

En cuanto a la fertilización al suelo, en la primera aplicación de fertilizante los valores obtenidos se presentaron en los rangos de 30-34 unidades de clorofila. No se arrojó diferencia estadísticamente significativa en los primeros dos días, si no a partir del día tres, todos los tratamientos aumentaron en un promedio del 5% superando al testigo y los días posteriores se presentó la misma tendencia de variables, ya que fueron días con clima nublados y muy lluviosos (gráfica 10).

En cuanto a la fertilización foliar, también se mostró diferencia hasta los tres días transcurridos a la fertilización, el mejor tratamiento fue el 6 (3 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), arrojó los mejores valores el cual supera en un 3 % al testigo, el tratamiento 3 (3 kg urea ha^{-1}), es el que manifestó menor actividad fotosintética, por debajo del testigo en un 2 % (gráfica 11).



Grafica 10. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 1 al suelo.



Grafica 11. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 1 foliar.

Durante la primera semana de aplicación de fertilizantes, tanto en la forma foliar como fertilización la suelo, se presentan rangos en general altos entre los 27-34. Los tratamientos se ven ampliamente favorecidos con la aplicación de magnesio en la fertilización foliar, al aumentar la dosis de magnesio aumenta también la síntesis de clorofila, y de manera inversa en la fertilización con nitrógeno, la dosis menor es la mas eficaz, en cuanto la fertilización al suelo, todos los tratamientos se ven favorecidos y presentan valores de clorofila mayores al testigo.

Mata, (2004), obtuvo que en los cultivo de calabaza y sandía, que incluyeron en la formulación con magnesio, el cual es el componente central de la molécula (Rojas, 1982), se obtuvo mayores valores de clorofila, también a concentraciones altas de nitrógeno se producen (depende de la especie) mayores índices de clorofila en la hoja, debido a que el nitrógeno es un elemento muy importante en la composición de la molécula de clorofila (Fagería, 1992).

4.9.2 Clorofila Fertilización 2

En cuanto a la fertilización al suelo, (gráfica 12); obtuvo diferencia significativa a partir del día 4, ya que después de la aplicación el clima estuvo lluvioso y la actividad fotosintética disminuye, a partir del día 4 el mejor tratamiento fue el 6 superando al testigo en un 34 %, seguido de los tratamientos 1(1 kg urea ha⁻¹), 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹),y 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), que son estadísticamente iguales; el día 5 mostró que los mejores valores también fueron en el tratamiento 4 (1kg MgSO₄ ha⁻¹) y 6 (3 kg MgSO₄ ha⁻¹), y los demás fueron estadísticamente iguales.

El día 6 y 7 también muestran diferencia estadísticamente significativa, el mejor tratamiento es el 4 ($1\text{ kg MgSO}_4\text{ ha}^{-1}$), y 6 ($3\text{ kg MgSO}_4\text{ ha}^{-1}$), superando al testigo en un 25 %, conforme aumenta la cantidad de magnesio en los tratamientos aumentó la actividad fotosintética, y esto sucedió de manera inversa en los tratamientos con urea, a medida que aumenta la dosis de nitrógeno de los tratamientos los valores de clorofila disminuyen, el tratamiento 3 (3 kg urea ha^{-1}), es estadísticamente igual al testigo, incluso presentó valores por debajo de los del testigo (gráfica 12).

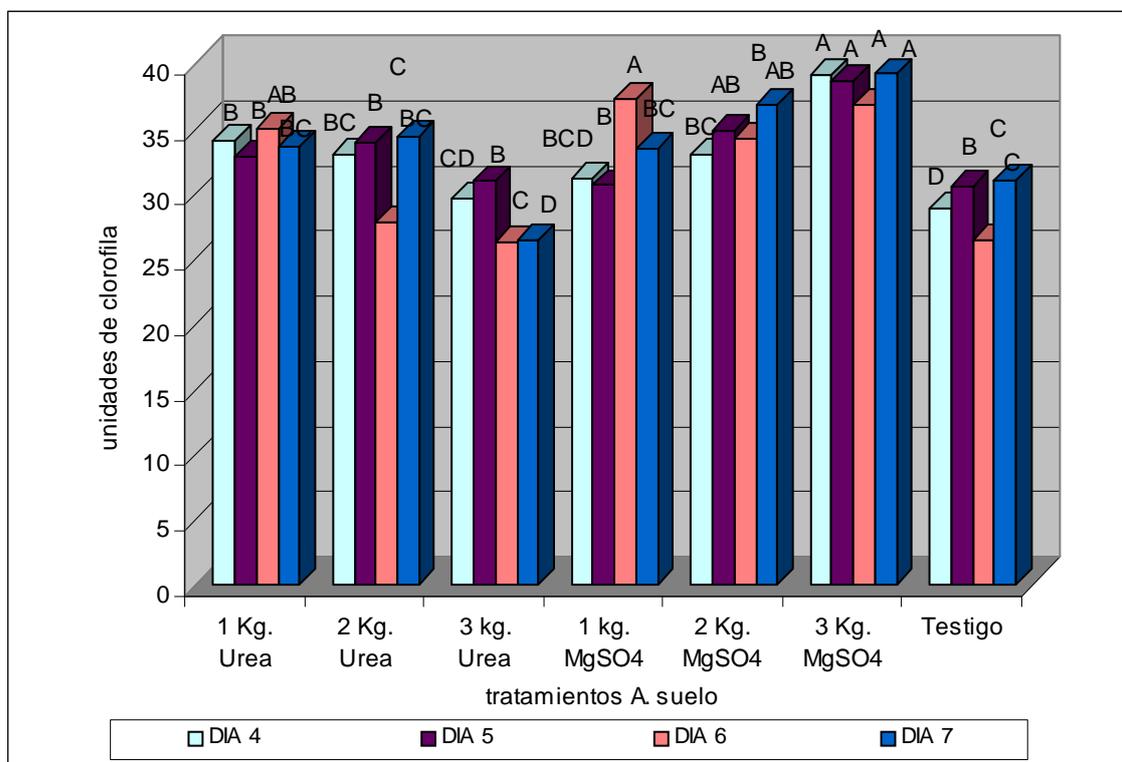
Por otro lado en la segunda fertilización aplicación foliar (gráfica 13), a partir del día 4 el mejor tratamiento fue el 4 ($1\text{ kg MgSO}_4\text{ ha}^{-1}$), y 6 ($3\text{ kg MgSO}_4\text{ ha}^{-1}$) superando al testigo en un 20%, seguido de los tratamientos 1 (1 kg urea ha^{-1}), y 5 ($2\text{ kg MgSO}_4\text{ ha}^{-1}$), que son estadísticamente iguales, pero ligeramente superiores al testigo.

Los días 5, 6 y 7 se observaron los mayores valores de los tratamientos, 4 ($1\text{ kg MgSO}_4\text{ ha}^{-1}$), 5 ($2\text{ kg MgSO}_4\text{ ha}^{-1}$), y 6 ($3\text{ kg MgSO}_4\text{ ha}^{-1}$), los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales, el día 7 se aprecia como aumento la síntesis de clorofila al ir aumentando la dosis de magnesio, y en lo referente a los tratamientos de diferentes dosis de nitrógeno sucedió lo inverso, a mayor cantidad de nitrógeno menor síntesis de clorofila, todos los tratamientos superaron al testigo (gráfica 13).

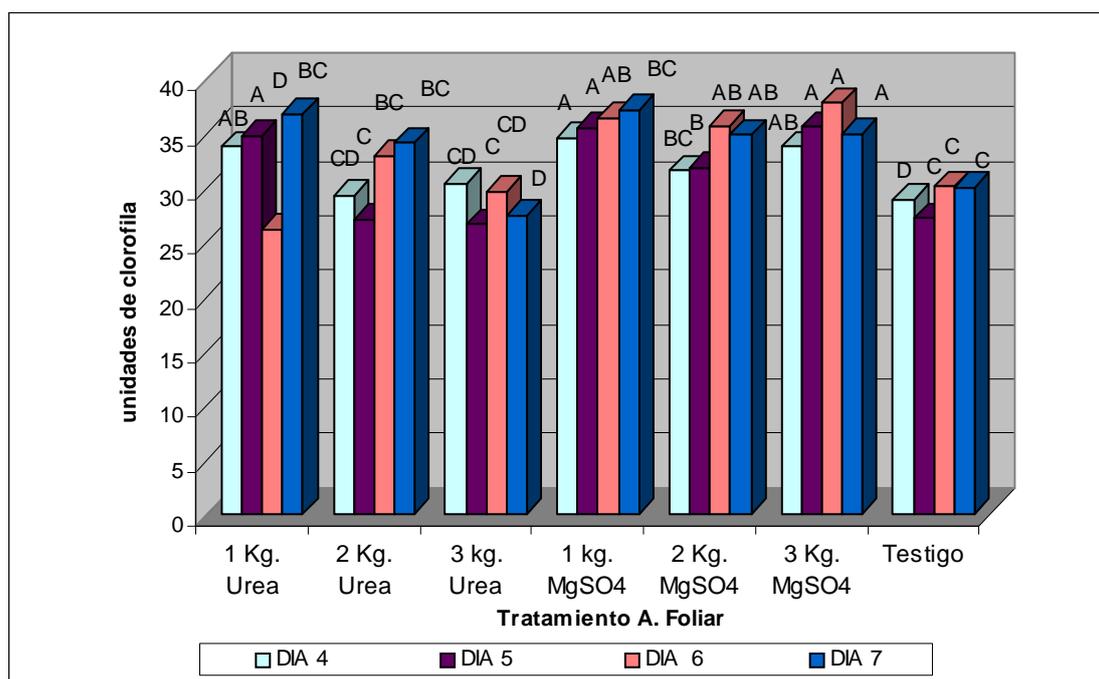
En cuanto a esta variable en esta segunda aplicación de fertilizantes se observa que a mayor dosis de magnesio aumenta también la síntesis de clorofila en

ambas formas de aplicación, si embargo en la fertilización al suelo los rangos de unidades SPAD, son mayores., se sabe que el nitrógeno es un elemento esencial forma parte de cualquier molécula o constituyente e la planta es en si mismo esencial para esta; como es el caso del las proteínas o el magnesio en la clorofila (Salisbury y Ross, 2000). En esta segunda fertilización se encontró que, la cantidad de clorofila se ve afectada cuando se aumenta la dosificación de urea, como fuente de nitrógeno.

Salazar (2005), en su estudio encontró que en esta etapa de aplicación de fertilizante se mantienen variables las cantidades de clorofila en los diversos tratamientos.



Grafica 12. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 2 al suelo.



Grafica 13. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 2 foliar.

4.9.3 Clorofila Fertilización 3

Las gráficas (14 y 15) de la última fertilización, solo se muestran los tratamientos 1 (1 kg urea ha⁻¹), 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹) y 6 (3 kg MgSO₄ ha⁻¹), y el testigo 7, ya que después de esta aplicación los tratamientos 2 (2 kg urea ha⁻¹), y 3 (3kg urea ha⁻¹), respectivamente foliar como los de fertilización al suelo fueron eliminados; esto debido a un exceso de fertilizante de nitrógeno, (urea), que ya se menciona con anterioridad, demasiado nitrógeno el que fue suministrado causando acumulación y provocando rápidamente toxicidad.

En cuanto a los demás tratamientos el la aplicación al suelo (gráfica 14) podemos observar que si hubo diferencias estadísticamente significativas los días 2, 3 y 4, el día 2, nos muestra que los valores mas altos de síntesis de clorofila se dieron en el tratamiento 6 (3 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), y 4 (1 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), superando relativamente al testigo en un 5 %, los tratamientos 1 (1 kg urea ha^{-1}) y 5 (2 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), son iguales superiores al testigo.

En la gráfica 14 podemos observar que los días 3 y 4 presentan un comportamiento y tendencia similares, siendo los tratamientos 1 (1 kg urea ha^{-1}) y 4 (1 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), los mas favorecidos con los valores de clorofila, aunque estadísticamente solo el 4 es mayor al testigo, en el día 4 se muestra mayor el tratamiento 1 (1 kg urea ha^{-1}) superando ligeramente al testigo, aunque estadísticamente es igual al los tratamientos 4 (1 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), 5 (2 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$),y 6 (kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$).

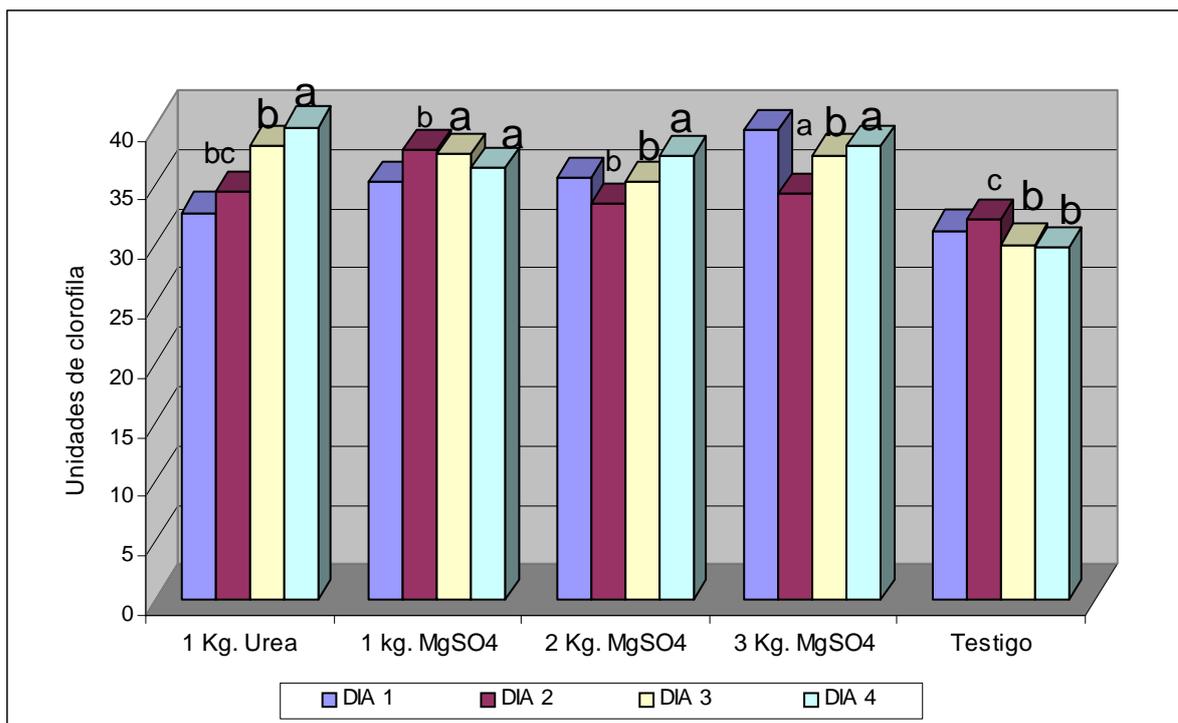
Por otro lado en el comportamiento de la fertilización en forma foliar, tercera aplicación, no hubo diferencias significativas los días 1 y 2 hasta los días 3 y 4, teniendo como mejores tratamientos al 1 (1 kg urea ha^{-1}) y 4 (1 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), los cuales superaron al testigo en un 15% seguidos de los tratamientos 5 (2 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$), y 6 (3 kg $\text{MgSO}_4 \text{ ha}^{-1}$),que son estadísticamente iguales, pero mayores al testigo en un 3.5%.

En cuanto a la clorofila, en esta última aplicación de fertilizante no se observó un patrón definido en cuanto a la fertilización al suelo o foliares, los valores son iguales.

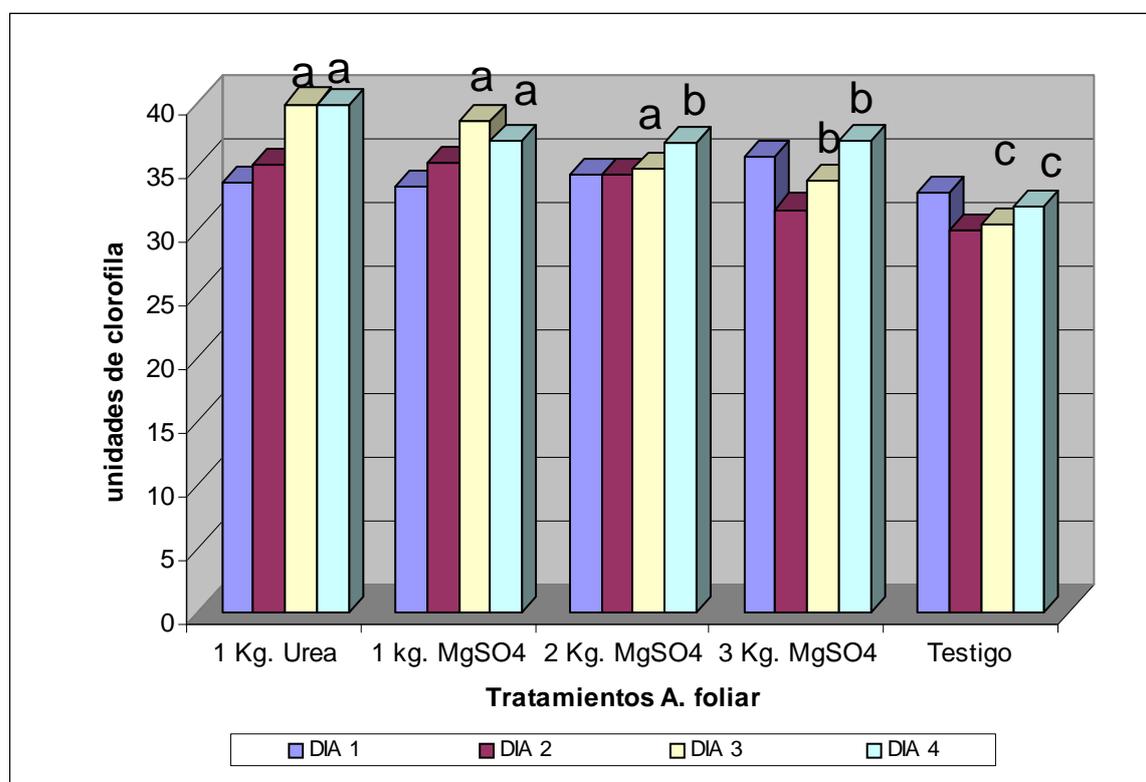
Los tratamientos con magnesio, presentan un aumento en su índice de síntesis de clorofila, sin embargo se observan valores muy similares entre ellos aun cuando la dosis de fertilizante con magnesio iba en aumento.

El magnesio es absolutamente esencial, pues forma el núcleo de la clorofila (Rojas, 1982) también forma parte integral de los ribosomas, además el ión activa una serie de enzimas, entre estas, la RNA-polimerasa y la polinucleótido-fosforilasa. La mayoría de las plantas lo requieren en grandes cantidades (Bidwell, 1996), pero al aplicarse en dosis mayores a 1 kg ha^{-1} no se ve beneficiado el cultivo pues los niveles de clorofila se mantienen muy similares.

En cuanto a los tratamientos con nitrógeno, se puede observar que se presentó una acumulación del fertilizante en las plantas lo cual provocó la eliminación de dos tratamientos los de dosis mayores con nitrógeno, esto nos indica que no son dosis optimas pues, aun cuando aumenta la síntesis de clorofila cantidades elevadas de nitrógeno, llega un punto donde son toxicas pueden causar la perdida del cultivo como lo afirma Cooke,(1992), cuando se aplican dosis de fertilizantes nitrogenados muy altas se produce toxicidad rápidamente, las hojas aparecen quemadas en el borde y entre las nervaduras, y antes de secarse el tejido se pone flácido como si estuviera cocido (Richter, 1982).



Grafica 14. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 3 al suelo.



Grafica 15. Efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre el contenido de clorofila total en fertilización 3 foliar.

CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos en la fertilización al suelo se consideró como el mejor tratamiento el número 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), seguido del tratamiento 5 (2 kg MgSO₄ ha⁻¹), y 1 (1 kg urea ha⁻¹), ya que en todas las variables, superó al testigo y a los demás tratamientos.

En la fertilización foliar el mejor tratamiento también fue el 4 (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), seguido del tratamiento 1 (1 kg urea ha⁻¹), en la mayoría de las variables evaluadas, excepto clorofila total de la segunda y la tercera aplicación.

La aplicación de las dosis mas bajas de urea (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), y sulfato de magnesio (1 kg MgSO₄ ha⁻¹), en forma directa en suelo y foliar influyeron positivamente en el crecimiento y desarrollo vegetal de las plantas de sandía. Se deben de tener muy en cuenta las cantidades de fertilizante aplicadas, pues las dosis altas (2 y 3 kg urea ha⁻¹), pueden llegar a dañar el cultivo.

Es necesario complementar este experimento y llevarlo hasta cosecha para emitir una recomendación más completa, ya que en el campo las plantas se adaptan a las condiciones nutrimentales del ambiente a la disponibilidad de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

Bidwell, R.G.S. (1996) Fisiología vegetal. AGT Editores. México, DF. Pág. 270.

Black, C. J. (1975) Relaciones suelo-planta, tomo II. Editorial Hemisferio sur.
Pág.866

Barcelló, C. G. (1998) Fisiología Vegetal: ciencia y Técnica. Editorial Pirámide.
Madrid, Esp. Pág.254

Casaferniza, B. A. (2004) Nutrición vegetal en calabacita (*Cucurbita pepo L.*) bajo condiciones de campo e invernadero y su influencia en la vida poscosecha de la fruta. Tesis Ing. Biotecnólogo ITSON. Pág.77.

Casas, C. A. y E. Casas B. (1999) Análisis del suelo-Agua-Planta y su aplicación en la nutrición de cultivos hortícolas, 2da Edición. Escobar impresiones. Almería. España. Pág. 249

Cooke, G. W. (1992) Fertilización para Rendimientos Máximos. Editorial, Continental, S.A. de C. V. México D.F. Pág. 82-85

- Demolon, A. (1972), Crecimiento de vegetales cultivados, principios de agronomía. Tomo II. Ediciones Omega, Barcelona, Pág. 225-51
- Domínguez, V. A. (1997) Tratado de fertilización. 3ª. Edición. Ediciones. Mundi Prensa. 3ª edición. Madrid, España. Pág. 613
- Fagería, V, A. (2001) Nutrient Interactions in Crop Plants, Journal of plant nutrition, 24(8): 1269-1290
- Gil, M. F. (1995). Elementos de fisiología vegetal. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. Pág. 147.
- Gómez J. G. (2003). Hortalizas, Frutas y Flores. Haifa Chemicals México (No. 1,11, 12), Editorial Agro Síntesis. Pág.145
- Grageda, G. J. (1999). La Fertilización en Hortalizas. Folleto Técnico Nª 19. Inifap-Cirno-Cech. Pág. 62.
- Jiménez, G. S. (1992). Fertilizantes de liberación lenta: Tipos, Evaluación y Aplicación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. Pág. 13-16.
- López, T, Marcos. (1997), Horticultura, Editorial Trilla, México D.F. Primera Edición Pág. 23-25, 29-35

- Marshner, H. (2003). Mineral nutrition of higher plants. 6^o Edition, Academic Press, Boston USA Pág. 249-252, 277-284.
- Maroto, J, V. (1992). Horticultura herbácea Especial. Editorial Mundi prensa, Madrid, España. Pág. 447.
- Mata, G. M. (2004). Efecto de N, P, K, Ca y Mg en etapas iniciales de crecimiento de Calabaza (*Cucurbita pepo*), Chile (*Capsicum annum*), Melón (*Cucumis melo*), Pepino (*Cucumis sativus*) y Sandía (*Citrullus lannatus*). Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jal. 2004. Pág. 48, 50-82.
- Michel, R. F, H. U chirinos y A. G. B. Lagos, (1998) Manual Agronómico de análisis de suelos y plantas. Laboratorios agrícolas, A & L. Guadalajara, Jal. México. Pág. 225
- Muñoz y Castellanos, (2003). Manual de Producción Hortícola en invernadero, Impresiones profesionales del centro. Guanajuato, México Pág. 227-254.
- Parsons, D. B. (1999). Cucurbitáceas, manuales para la educación agropecuaria. Editorial Trillas. México .1999. Pág. 23,56.
- Ramírez, f, (1999). Curvas de absorción de nutrimentos en, Melón (*cucumis melo*) "honey dew" y Sandía (*citrullus lanatus*) "Crimson Jewel". Centro de

investigaciones agronómicas. Universidad de Costa Rica XI. Congreso nacional agronómico / III Congreso nacional de suelos.

Reche, M. J. (1988). El cultivo de Sandía. Ediciones Mundi Prensa. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación, Servicio de extensión agraria. Madrid, España. Pág. 227

Richter, G. (1982). Fisiología del Metabolismo de las plantas. Editorial Continental México DF. Pág. 263.

Rodríguez, F. (1999) Fertilizantes. Nutrición vegetal. Editorial AGT editor, México DF. Pág. 53 56, 58, 64, 89-91, 123-127, 133.

Rojas. G. M. (1999). Fisiología Vegetal Aplicada. Segunda edición. Editorial MC.Graw-Hill. México D.F. págs. 110-112.

Salazar, E. H. (2005). Evaluación de diferentes concentraciones de Urea y Sulfato de Magnesio en planta joven de Tomate (*Lycopersicum esculentum*) bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing Biotecnólogo ITSON. Pág. 29-35

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. (1992). Fisiología de las plantas I. Células: agua, soluciones y superficies. Tomo 1. Editores Paraninfo, España. Pág. 12.

Santos, A. Trinidad. Y M. D. Aguilar. (1998) La fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Simposium Nacional sobre Nutrición de cultivos. Querétaro, Qro. Pág. 26-27.

Sobrino, I. E. (1989). Tratado de Horticultura Herbácea, hortalizas de flor y fruto. Editorial AEDOS, S. A. Barcelona España. Pág.262-263.

Tamhane, R., D. Motiramani (1996), Suelos: Su Química y fertilidad en zonas tropicales editorial Diana, México D. F. Pág. 286

Tradecorp, Teushner (2000) El suelo y su fertilidad, 8ª reimpresión. Editorial CECOSA. México DF. Pág. 510

Valadez, L. A. (2001). Producción de hortalizas, Editorial Noriega, UTHEA. México, D.F. Pág. 298

Valenzuela J. y Guerrero, M. (2000). Tecnología de producción para hortalizas en el Valle del Yaqui, Sonora. Memoria revista Día del Agricultor Pág.7: 35-39.

Velasco, V. A. (1999), Papel de la nutrición Mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas, Revista Terra Pág. 17(3): 193

<http://www.agrilogica.com/tecnicas/fertilizacion.htm>

<http://www.agroimpulso.com.ar/agronomos/agricultura/fertilizantes.htm>

<http://www.agroenzymas.com.mx/www/noticias/tecjul02.html>.

<http://www.ediho.es/horticom/publicac.html>

<http://www.elsitioagricola.com/articulos/equipofertilizar/Fertilizacion%20Foliar%20en%20Soja.asp>

<http://www.faxsa.com.mx/c60sa001.html>

<http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/sandia.http>

http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/sandia.htm

<http://www.profertil.com.ar/quees.htm>

www.siap.sagarpa.gob.mx

<http://www.steviaparaguay.com/cultivocomercial/cultivo.htm>

http://www.technidea.com.ar/Fertilizacion_foliar/Que_la_fertilizacion_foliar.htm