

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

División de Ciencias Agronómicas



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

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA:

MARÍA GUADALUPE MATA GARCÍA

Zapopan, Jalisco, Noviembre de 2004



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERO AGRONOMO
COMITE DE TITULACION

M.C. SALVADOR MENA MUNGUIA
DIRECTOR DE LA DIVISION DE CIENCIAS AGRONOMICAS
PRESENTE

Con toda atención nos permitimos hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobada la modalidad de titulación TESIS E INFORMES, opción TESIS, con el título:

" EFECTO DE N, P, K Ca. Y Mg EN ETAPAS INICIALES DE CRECIMIENTO DE CALABAZA (Cucurbita pepo), CHILE (Capsicum annum), MELON (Cucumis melo), PEPINO (Cucumis sativus) Y SANDIA (Citrullus lannatus). "

El cual fue presentado por él (los) pasante(s):

MARIA GUADALUPE MATA GARCIA

El Comité de Titulación, designó como director y asesores, respectivamente, a los profesores:

| | |
|---|-----------------|
| DR. MARCO ANTONIO GUTIERREZ CORONADO | DIRECTOR |
| DR. JOSE LUIS MARTINEZ RAMIREZ | ASESOR |
| M.C. ERNESTO MIRAMONTES LAU | ASESOR |

Una vez concluido el trabajo de titulación, el Comité de Titulación designó como sinodales a los profesores:

| | |
|---|-------------------|
| DR. ENRIQUE PIMIENTA BARRIOS | PRESIDENTE |
| DRA. MARIA LUISA GARCIA SAHAGUN | SECRETARIO |
| DR. FERNANDO SANTACRUZ RUVALCABA | VOCAL |

Se hace constar que se han cumplido los requisitos que establece la Ley Orgánica de la Universidad de Guadalajara, en lo referente a la titulación, así como el Reglamento del Comité de Titulación.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Zapopan, Jal. a 21 de octubre de 2004.

M.C. SALVADOR GONZALEZ LUNA
PRESIDENTE DEL COMITE DE TITULACION

DRA. MARIA LUISA GARCIA SAHAGUN
SECRETARIO DEL COMITE DE TITULACION

DEDICATORIAS

Por supuesto a mis padres Rafael Mata y Victoria García por su apoyo en todas mis decisiones incluyendo la carrera aunque al inicio un tanto escépticos, pero ahora convencidos, este es un regalo para ustedes.

A mis hermanos Ramón, Rafael, Víctor, Claudia y Ana Catalina, se que me tienen fe y comparto con ustedes la emoción de la titulación.

A las personas que confiaron en mí y me abrieron las puertas en el Instituto Tecnológico de Sonora y su casa: Dr. Marco Antonio Gutiérrez y M.I. Maritza Arellano, su tiempo ha producido frutos.

AGRADECIMIENTOS

A mi querida familia: padres que han sacrificado parte de su vida y puesto gran esfuerzo para conseguir esta meta; hermanos que me han apoyado en este largo trayecto.

Al Dr. Marco Antonio Gutiérrez, director de la presente, quien me dio la oportunidad y me apoyó desde el inicio hasta el fin, sin desesperar durante estos 2 años.

A la maestra Maritza Arellano quien invirtió su verano en la realización de los experimentos.

A mis asesores Dr. José Luis Martínez y M. C. Ernesto Miramontes quienes apoyaron en la estructuración y revisión precisa de este trabajo.

A los sinodales: Dr. Enrique Pimienta, Dra. María Luisa García y Fernando Santacruz por sus puntuales observaciones y correcciones para la mejoría de esta tesis.

A la Universidad de Guadalajara y el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias por permitirme pertenecer a tan honorable institución.

A la Academia Mexicana de Ciencias en su programa del Verano de Investigación Científica que me concedió la beca y estancia, en el marco de la cual se inició la presente.

Al ingeniero Odilón Méndez por su valiosa colaboración y a Carolina Licea por su excelente asistencia en la recta final.

INDICE

| | Pág. |
|---|------|
| INDICE | I |
| Índice de Cuadros y Figuras | V |
| Cuadros | V |
| Figuras | VI |
| RESUMEN | 1 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1 Objetivos | 4 |
| 1.2 Hipótesis | 4 |
| 2 REVISIÓN DE LITERATURA | 5 |
| 2.1 Nitrógeno | 6 |
| 2.1.1 Nitrato cálcico [(NO ₃) ₂ Ca] | 9 |
| 2.1.2 Nitrato potásico (NO ₃ K) | 9 |
| 2.1.3 Urea [CO (NH ₂) ₂] | 9 |
| 2.2 Fósforo | 10 |
| 2.2.1 Fosfatos de Amonio | 13 |
| 2.3 Potasio | 13 |
| 2.4 Calcio | 17 |
| 2.5 Magnesio | 19 |
| 2.5.1 Sulfato de Magnesio (Mg SO ₄ 7 H ₂ O) | 20 |
| 2.6 Interacciones entre nutrientes | 21 |
| 2.7 Calabaza (<i>Cucurbita pepo</i> L.) | 23 |
| 2.7.1 Clasificación Taxónomica | 23 |
| 2.7.2 Origen- | 23 |
| 2.7.3 Descripción Botánica | 23 |
| 2.7.4 Requerimientos Edafoclimáticos | 25 |
| 2.7.5 Requerimientos nutricionales | 26 |
| 2.7.5.1 Absorción de nutrientes | 26 |
| 2.7.5.2 Extracción de elementos nutritivos | 28 |
| 2.8 Chile (<i>Capsicum annum</i> L.) | 28 |
| 2.8.1 Clasificación taxonómica | 28 |
| 2.8.2 Origen | 29 |
| 2.8.3 Descripción Botánica | 29 |
| 2.8.4 Requerimientos Edafoclimáticos | 30 |
| 2.8.5 Requerimientos Nutricionales | 31 |
| 2.8.5.1 Absorción de nutrientes | 32 |
| 2.8.5.2 Extracción de elementos nutritivos | 34 |
| 2.9 Melón (<i>Cucumis melo</i> L.) | 35 |
| 2.9.1 Clasificación Taxonómica | 36 |
| 2.9.2 Origen | 36 |
| 2.9.3 Descripción botánica | 36 |
| 2.9.4 Requerimientos Edafoclimáticos | 37 |
| 2.9.5 Requerimientos nutricionales | 39 |

| | |
|--|----|
| 2.9.5.1 Absorción de nutrientes | 39 |
| 2.9.5.2 Extracción de elementos nutritivos | 40 |
| 2.10 Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) | 41 |
| 2.10.1 Descripción Taxonómica | 41 |
| 2.10.2 Origen | 41 |
| 2.10.3 Descripción Botánica | 41 |
| 2.10.4 Requerimientos Edafoclimáticos | 42 |
| 2.10.5 Requerimientos nutricionales | 44 |
| 2.10.5.1 Absorción de nutrientes | 44 |
| 2.10.5.2 Extracción de elementos nutritivos | 46 |
| 2.11 Sandía (<i>Citrullus lannatus</i> Thunb. Matsum & Nakai) | 46 |
| 2.11.1 Clasificación Taxonómica | 46 |
| 2.11.2 Origen | 46 |
| 2.11.3 Descripción Botánica | 47 |
| 2.11.4 Requerimientos Edafoclimáticos | 48 |
| 2.11.5 Requerimientos nutricionales | 49 |
| 2.11.5.1 Absorción de nutrientes | 49 |
| 2.11.5.2 Extracción de elementos nutritivos | 51 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 52 |
| 3.1 Localización y ubicación | 52 |
| 3.2 Clima | 52 |
| 3.2.1 Temperatura | 52 |
| 3.2.2 Precipitación | 53 |
| 3.3 Fisiografía | 53 |
| 3.4 Suelo | 53 |
| 3.5 Vegetación | 54 |
| 3.6 Invernadero | 54 |
| 3.7 Desarrollo del experimento | 54 |
| 3.8 Variables del experimento | 56 |
| 3.8.1 Clorofila | 56 |
| 3.8.2 Tasa de asimilación de CO ₂ y Transpiración | 56 |
| 3.8.3 Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) | 57 |
| 3.8.4 Área Foliar | 57 |
| 3.8.5 Longitud de Raíz | 57 |
| 3.8.6 Peso volumétrico de raíz | 58 |
| 3.8.7 Peso Seco | 58 |
| 3.9 Análisis Estadístico | 58 |
| 4. RESULTADOS | 59 |
| 4.1 Calabaza | 59 |
| 4.1.1 Tasa relativa de crecimiento de hoja | 59 |
| 4.1.2 Tasa relativa de crecimiento de tallo | 60 |
| 4.1.3 Clorofila | 60 |
| 4.1.4 Tasa de asimilación de CO ₂ | 61 |
| 4.1.5 Transpiración | 62 |
| 4.1.6 Área foliar | 63 |
| 4.1.7 Peso seco aéreo | 63 |
| 4.1.8 Longitud de raíz | 63 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 4.1.9 | Peso volumétrico de raíz | 64 |
| 4.1.10 | Peso seco de raíz | 64 |
| 4.2 | Chile | 65 |
| 4.2.1 | Tasa relativa de crecimiento de hoja | 65 |
| 4.2.2 | Tasa relativa de crecimiento de tallo | 65 |
| 4.2.3 | Clorofila | 66 |
| 4.2.4 | Área foliar | 66 |
| 4.2.5 | Peso seco aéreo | 66 |
| 4.2.5 | Longitud de raíz | 67 |
| 4.2.7 | Peso volumétrico de raíz | 67 |
| 4.2.8 | Peso seco de raíz | 67 |
| 4.3 | Melón | 68 |
| 4.3.1 | Tasa relativa de crecimiento de hoja | 68 |
| 4.3.2 | Tasa relativa de crecimiento de tallo | 68 |
| 4.3.3 | Clorofila | 69 |
| 4.3.4 | Área foliar | 69 |
| 4.3.5 | Peso seco aéreo | 70 |
| 4.3.5 | Longitud de raíz | 70 |
| 4.3.7 | Peso volumétrico de raíz | 71 |
| 4.3.8 | Peso seco de raíz | 71 |
| 4.4 | Pepino | 72 |
| 4.4.1 | Tasa relativa de crecimiento de hoja | 72 |
| 4.4.2 | Tasa relativa de crecimiento de tallo | 72 |
| 4.4.3 | Clorofila | 73 |
| 4.4.4 | Fotosíntesis | 74 |
| 4.4.5 | Transpiración | 74 |
| 4.4.6 | Área foliar | 75 |
| 4.4.7 | Peso seco aéreo | 75 |
| 4.4.8 | Longitud de raíz | 76 |
| 4.4.9 | Peso volumétrico de raíz | 76 |
| 4.4.10 | Peso seco de raíz | 76 |
| 4.5 | Sandía | 77 |
| 4.5.1 | Tasa relativa de crecimiento de hoja | 77 |
| 4.5.2 | Tasa relativa de crecimiento de tallo | 77 |
| 4.5.3 | Clorofila | 78 |
| 4.5.4 | Área foliar | 79 |
| 4.5.5 | Peso seco aéreo | 79 |
| 4.5.5 | Longitud de raíz | 79 |
| 4.5.7 | Peso volumétrico de raíz | 80 |
| 4.5.8 | Peso seco de raíz | 80 |
| 5. | DISCUSIÓN | 81 |
| 5.1 | Tasa relativa de crecimiento de hoja | 81 |
| 5.2 | Tasa relativa de crecimiento de tallo | 82 |
| 5.3 | Clorofila- | 82 |
| 5.4 | Tasa de asimilación de CO ₂ | 82 |
| 5.5 | Transpiración | 83 |
| 5.6 | Área foliar | 84 |

| | |
|------------------------------|-----------|
| 5.7 Longitud de raíz | 84 |
| 5.8 Peso Volumétrico de raíz | 84 |
| 5.9 Peso seco aéreo | 85 |
| 5.10 Peso seco de raíz- | 85 |
| 5.11 Cultivos | 85 |
| 6. CONCLUSIONES | 88 |
| 7. LITERATURA CITADA | 90 |

Índice de Cuadros y Figuras

| Cuadros: | Pág.: |
|--|--------------|
| Cuadro 2.1 Temperaturas críticas para calabacín en las distintas fases de desarrollo | 25 |
| Cuadro 2.2 Temperaturas críticas para pimiento en las distintas fases de desarrollo | 30 |
| Cuadro 2.3. Niveles Foliare de referencia para cultivo de chile | 34 |
| Cuadro 2.4 Nutrientes extraídos (Kg) por Ton de fruto fresco producido | 35 |
| Cuadro 2.5 Temperaturas críticas para melón en las distintas fases de desarrollo | 38 |
| Cuadro 2.6 Extracciones totales de macroelementos del melón según diversos autores | 40 |
| Cuadro 2.7 Temperaturas críticas para pepino en las distintas fases de desarrollo | 43 |
| Cuadro 2.8 Temperaturas críticas para sandía en las distintas fases de desarrollo | 49 |
| Cuadro 3.1 Clasificación de suelos encontrados en el Valle del Yaqui | 53 |
| Cuadro 3.2 Dosis de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio usadas como tratamientos en los experimentos | 54 |
| Cuadro 3.3 Cantidad de fertilizante aplicado por tratamiento para cada repetición en mg | 55 |
| Cuadro 4.1. Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes del cultivo de Calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>) var. Raven en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero | 63 |
| Cuadro 4.2 Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes en la zona radicular del cultivo de Chile (<i>Capsicum annum</i>) var. Caloro en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero | 67 |
| Cuadro 4.3 Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes del cultivo de Melón (<i>Cucumis melo</i>) var. Cruisier en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero | 70 |
| Cuadro 4.4 Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes del cultivo de Pepino (<i>Cucumis sativus</i>) var. Mateo en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero | 76 |
| Cuadro 4.5 Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes del cultivo de Sandía (<i>Citrullus lannatus</i>) var. Sangría en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero | 79 |

| Figuras | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 3.1 Determinación de Clorofila con SPAD minolta- | 56 |
| Figura 3.2 Medición de tasas fotosintéticas y de transpiración con IRGA | 57 |
| Figura 3.3 Determinación del Peso Volumétrico | 58 |
| Figura 4.1 Efecto de la nutrición vegetal en la tasa relativa de crecimiento de la hoja en el cultivo de Calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>) | 59 |
| Figura 4.2. Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) del tallo en el cultivo de Calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>) | 60 |
| Figura 4.3. Efecto de la nutrición vegetal sobre la clorofila en el Cultivo de Calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>). | 61 |
| Figura 4.4. Efecto de la nutrición vegetal sobre la fotosíntesis en el cultivo de Calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>). | 61 |
| Figura 4.5. Efecto de la nutrición vegetal sobre la transpiración en el cultivo de Calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>). | 62 |
| Figura 4.6 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) de la hoja en el cultivo de Chile (<i>Capsicum Nahum</i>). | 65 |
| Figura 4.7. Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) en el cultivo de Chile (<i>Capsicum annum</i>). | 65 |
| Figura 4.8. Efecto de la nutrición vegetal sobre la Clorofila en el cultivo de Chile (<i>Capsicum annum</i>). | 66 |
| Figura 4.9. Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) de la hoja en el cultivo de Melón (<i>Cucumis melo</i>). | 68 |
| Figura 4.10 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) del tallo en el cultivo de Melón (<i>Cucumis melo</i>). | 68 |
| Figura 4.11 Efecto de la nutrición vegetal sobre la Clorofila en el cultivo de Melón (<i>Cucumis melo</i>). | 69 |
| Figura 4.12 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) de la hoja en el cultivo de Pepino (<i>Cucumis sativus</i>). | 72 |
| Figura 4.13 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) del tallo en el cultivo de Pepino (<i>Cucumis sativus</i>). | 72 |
| Figura 4.14 Efecto de la nutrición vegetal sobre la Clorofila en el cultivo de Pepino (<i>Cucumis sativus</i>). | 73 |
| Figura 4.15 Efecto de la nutrición vegetal sobre la Fotosíntesis en el cultivo de Pepino (<i>Cucumis sativus</i>). | 74 |
| Figura 4.16 Efecto de la nutrición vegetal sobre la transpiración en el cultivo de Pepino (<i>Cucumis sativus</i>). | 75 |
| Figura 4.17 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) de la hoja en el cultivo de Sandía (<i>Citrullus lannatus</i>). | 77 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.18 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa relativa de crecimiento (TRC) del tallo en el cultivo de Sandía (<i>Citrullus lannatus</i>). | 77 |
| 4.19 Efecto de la nutrición vegetal sobre la clorofila en el cultivo de Sandía (<i>Citrullus lannatus</i>). | 78 |

RESUMEN

El presente trabajo fue efectuado bajo condiciones de invernadero en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), durante el Verano de la Investigación Científica en el año 2002. Se realizó con el objetivo principal de evaluar el efecto de nueve tratamientos con fertilizantes incluyendo nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, y magnesio; y como testigo un tratamiento regional, sobre el crecimiento de plantas en etapa inicial de calabaza (*Cucurbita pepo*), chile (*Capsicum annum*), melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus*) y sandía (*Citrullus lannatus*), a las cuales se aplicó al presentar la primer hoja verdadera. El experimento se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar. Las variables evaluadas fueron clorofila total, fotosíntesis, transpiración, tasa relativa de crecimiento de tallo y hoja, área foliar, longitud de raíz, peso volumétrico de raíz y peso seco aéreo y de raíz. En general, la parte aérea obtuvo mayores beneficios con altas concentraciones de nutrientes y la zona radicular, particularmente la longitud tuvo mejores resultados con niveles más bajos que la parte aérea, aunque se observó peso seco mayor con tratamientos que incluyeron Calcio y Magnesio independientemente de la concentración de N, P, K. Sólo se observan diferencias estadísticas en algunas de las variables evaluadas, pero cada cultivo tuvo en promedio una mejor respuesta con cada tratamiento y en general se puede concluir que los tratamientos más adecuados fueron: el 300-150-300-25-25 para la calabaza, en el cultivo de chile los tratamientos 350-200-300-0-0 y 400-200-400-0-0 mostraron los más altos valores en promedio, los mejores tratamientos para el melón fueron el 400-200-400-0-0 y 450-250-300-25-25, finalmente el tratamiento 450-250-300-25-25 fue benéfico para los cultivos de pepino y sandía.

1 INTRODUCCION

La producción hortícola en México ocupa un lugar importante dentro del sector agrícola, debido a la fuerte cantidad de ingresos y fuentes laborales que en su totalidad genera. Entre los 10 cultivos hortícolas más importantes en el país, se encuentran la calabaza (*Cucurbita pepo*), chile (*Capsicum annum*), melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus*) y sandía (*Citrullus lannatus*) por la extensión que de éstos se siembra y la producción que se obtiene.

Como ejemplo de lo anterior, se tiene que durante el año 2002 en México se sembraron 4' 469, 334 ha dedicadas a la producción agrícola, aproximadamente 308 971 ha de superficie con uso hortícola (INEGI, 2002) de las cuales 155 967 fueron dedicadas al cultivo de calabaza, chile, melón, sandía y pepino, siendo el chile el de mayor importancia con 74 360 ha sembradas, le siguen la sandía 32364 ha, la calabaza con 22 079 ha, melón 15 065 y pepino 12 099 ha, la producción obtenida fue de 212 998, 412 477, 157 414, 254 876, 370 231, toneladas de calabaza, chile, melón, pepino y sandía, respectivamente (SIAP, 2003).

En el estado de Sonora la producción agrícola y específicamente de hortalizas se ha incrementado de manera significativa; en los últimos 15 años en el Valle del Yaqui ubicado al sur del estado, ha aumentado de 800 a 15 000 ha encaminadas a la horticultura. Los principales cultivos son: trigo, algodón, maíz, frijol de soya, cártamo, sorgo, cebada, garbanzo, frijol, apio, calabaza, chile, lechuga, melón, tomate, tomate verde, tomate saladette, tomate cherry, papa, pepino, sandía; sin duda, esta es la región agrícola más importante del Estado (SEMARNAT, 2002).

La gran importancia que representan los cultivos económica y socialmente, implica un cuidado especial de la inversión en la producción y por lo tanto se hace necesaria la atención particular a cada uno de los factores que intervienen en el ciclo productivo.

Puede afirmarse que la productividad agrícola depende, en un alto grado, de la fertilización. Estimaciones realizadas por expertos en varios países, así como por organismos internacionales, establecen que al menos el 50% de la producción agrícola actual se debe a la utilización de fertilizantes (Domínguez, 1997). Tan solo en México el consumo de fertilizantes para el año 1995 fue de 1 286 000 toneladas y en el 2000 se incrementó a 1 832 000 toneladas, que representa un 42% más consumo de fertilizantes (INEGI, 2003). Además del aspecto puramente económico resulta necesario considerar los efectos que los fertilizantes pueden tener sobre el medio ambiente, como la contaminación de acuíferos por un manejo indebido de éstos.

De estas premisas resulta la importancia del estudio de la nutrición en los cultivos y la fertilización, en la que se toma en cuenta la dosis de aplicación la forma de aplicación, el balance entre los elementos nutritivos y la interacción entre ellos, de la misma forma, el efecto que tiene en la fisiología de la planta, y la repercusión en la producción neta. Por si fuera poco, también se genera información con datos regionales, que es bastante importante por la escasez que existe de ésta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Estudiar el efecto de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg con la aplicación de diferentes formulaciones a plantas en etapas iniciales de crecimiento de los cultivos de calabaza (*Cucurbita pepo*), chile (*Capsicum annum*), melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus*) y sandía (*Citrullus lannatus*) sobre parámetros de crecimiento de las mismas.

1.1.2 Objetivos particulares

- » Evaluar la efectividad de cada tratamiento sobre los niveles de crecimiento en cada cultivo.

- » Estudiar los efectos fisiológicos de la aplicación de los tratamientos fertilizantes sobre las plantas de cada cultivo.

1.2 HIPOTESIS

Es posible obtener la formulación óptima con la dosis necesaria de cada nutriente (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio) para que en cada cultivo propicie un mejor crecimiento en etapas iniciales de cada uno de éstos.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

El objetivo primordial de la nutrición vegetal es el de estudiar los factores y procesos involucrados en la nutrición de los cultivos en relación con la producción en cantidad y en calidad, sin afectar el ambiente y cuidando una buena relación costo:beneficio. Esto comprende aspectos fisiológicos, ecológicos y bioquímicos. La nutrición vegetal estudia y concilia las demandas nutrimentales y propiedades del medio con métodos de mejoramiento en nutrición (Gutiérrez, 1995).

La planta encuentra en el suelo todo o parte de la cantidad máxima del elemento necesario según el grado de fertilidad del mismo. Cuando la fertilidad del suelo no permite alcanzar dicho rendimiento máximo entra en juego la posibilidad de complementar la acción del suelo con la aportación de mayor cantidad de elemento nutritivo, hasta que se alcance la máxima rentabilidad o el óptimo económico de esta aplicación suplementaria que constituye el objeto de la fertilización. Para alcanzar un determinado rendimiento máximo, el cultivo necesita una determinada cantidad de elemento necesario según el grado de fertilidad del suelo (Domínguez, 1997).

En la mayor parte de los cultivos, resulta bastante evidente que más interesante que el nivel global de fertilización es el suministro de una proporción adecuada entre los distintos elementos esenciales, pudiendo ser frecuente que se logren mayores crecimientos a menores dosis, si éstas están equilibradas (Gil, 1995).

Las hortalizas son generalmente de crecimiento rápido y producción intensiva. Requieren a menudo de altas cantidades de nutrimentos en un período muy corto de tiempo, ya que en la mayoría de las especies hortícola son de ciclo corto completando su ciclo productivo entre 8 y 16 semanas. El estado nutricional de las hortalizas está relacionado con el rendimiento y calidad de la cosecha y se ve afectado, por diversos factores como las propiedades físicas y químicas del suelo, la fertilización aplicada, la precipitación y el riego, la demanda del cultivo y sus interacciones con otros factores presentes en el suelo (Grageda, 1999).

2.1 Nitrógeno

El nitrógeno se encuentra en la planta cumpliendo importantes funciones bioquímicas y biológicas. Es un elemento muy móvil. El nitrógeno mineral una vez en el interior de las células pasa a constituir las bases nitrogenadas para las distintas funciones fisiológicas. El nitrógeno ingresa en la formación de los aminoácidos, luego éstos entran en la síntesis de los prótidos y las proteínas del vegetal, constituyendo un elemento plástico por excelencia. El nitrógeno se halla en la formación de las hormonas, de los ácidos nucleicos y de la clorofila (Rodríguez, 1999).

Si las plantas se cultivan en soluciones nutritivas de concentración uniforme en su totalidad, las raíces con bajo suministro de nitrógeno tienden a ser largas, finas y con escasas ramificaciones, mientras que aquellas con alto suministro de nitrógeno tienden a ser cortas, gruesas y bien ramificadas. De ahí que se pueda comprobar que la proliferación de una parte del sistema radicular en áreas locales, con alto contenido de nitrógeno, está relacionada con la tendencia que tiene todo el sistema radicular a ser corto, grueso y bien ramificado en medios uniformes con alto contenido de nitrógeno (Black, 1975)

Mientras los suministros de nitrógeno se hallan en la zona subóptima, la asimilación del mismo determina un incremento de los niveles de proteínas y

del crecimiento en general, con lo que aumenta el índice foliar y consiguientemente las tasas fotosintéticas. De modo proporcional van incrementándose las rutas sintéticas de glúcidos y lípidos, por lo que la composición del vegetal, prácticamente, no varía, pero su producción aumenta. Sin embargo, el exceso de suministro de nitrógeno determina un crecimiento tal del índice foliar que las hojas se hacen mucha sombra unas a las otras, de modo que el incremento fotosintético no es proporcional. Ello tiene diversos efectos; en primer lugar se almacena nitrógeno en moléculas más o menos inactivas, como amidas, y las demás rutas sintéticas se desvían para proporcionar esqueletos carbonados aceptores del nitrógeno. La composición del vegetal puede cambiar sustancialmente y, en cambio, la producción puede disminuir (Gil, 1995).

Si el principal factor limitativo es el nitrógeno, las plantas contienen carbohidratos en exceso, tanto en las partes aéreas como en las raíces, porque es limitado el uso de los carbohidratos tanto para la formación de las proteínas como para el crecimiento. El nitrógeno absorbido por las raíces tiende entonces a reaccionar con los carbohidratos radiculares y el crecimiento de las partes aéreas permanece restringido con respecto al crecimiento de las raíces, porque son éstas las que usan gran parte del nitrógeno absorbido. A medida que aumenta el suministro de nitrógeno, las partes aéreas lo reciben en mayor cantidad y utilizan carbohidratos de allí para la síntesis de proteínas y el crecimiento. En consecuencia, quedan menos carbohidratos disponibles para ser transportados a las raíces y, entonces, el crecimiento de éstas se verá limitado con relación al de las partes aéreas (Black, 1975).

Las plantas deficientes son débiles y muestran atrofia, sus hojas son de tamaño pequeño y, en ocasiones, presentan morfologías diferentes. Generalmente se observa un amarillamiento de los limbos foliares (clorosis) debido a la falta de clorofilas y los tallos se suelen volver rojos o púrpuras por la excesiva formación de antocianinas ya que los glúcidos, al no consumirse como

esqueletos carbonados para la síntesis de compuestos nitrogenados, derivan su metabolismo hacia estos compuestos secundarios.

Como el nitrógeno es muy móvil por el floema y se transporta progresivamente hacia las hojas más jóvenes o ápices en crecimiento, son generalmente las hojas basales, las más viejas, las que exhiben en primer lugar los síntomas de deficiencia. Se anticipa la senescencia y las hojas tienden a secarse, quedando con coloraciones claras. La clorosis y la desecación avanzan, generalmente, desde el ápice a la base de las hojas. En las gramíneas, la zona afectada avanza en forma de V, con el vértice hacia el pecíolo, pudiendo quedar los bordes foliares verdes durante más tiempo. Asimismo, los granos en las espigas alcanzan un tamaño menor y una falta de peso (Gil, 1995).

La abundancia nitrogenada origina plantas muy suculentas, con pocas partes leñosas, disminución muy marcada en el desarrollo de raíces con un amplio desarrollo vegetal aéreo. Las hojas toman un color verde muy oscuro y la maduración se retrasa.

El crecimiento vigoroso que resulta de aplicar con exceso el nitrógeno provoca también rápida utilización de otros elementos, que si no se encuentran en cantidades suficientes en forma asimilable, pueden ocasionar deficiencia como la de cobre.

También es digno de señalar que una abundancia nitrogenada de la planta puede dar lugar a una mayor sensibilidad a las enfermedades y a las condiciones climatológicas, como sequías y heladas. Al quedar los tejidos durante largo tiempo verdes y tiernos, es más fácil la penetración de esporas germinadas que, una vez en su interior, encuentran en los jugos ricos en N una alimentación muy apropiada para su desarrollo (Navarro, 2000).

2.1.1 Nitrato cálcico [$(\text{NO}_3)_2 \text{Ca}$]

La concentración de nitrógeno total es de 15 a 16%. La forma del nitrógeno es nítrica, posee calcio en una buena cantidad, cuya acción floculante mejora la estructura del suelo. Es una sal muy soluble en agua y con un alto grado de higroscopicidad presentando serios problemas de aterronamiento si no está protegida de la humedad y, sobre todo, si su forma es en polvo. Es aconsejable su presentación en gránulos. Es una sal de rápida utilización por las plantas, con propiedades mejoradoras del suelo y con una leve reacción alcalina (índice de alcalinidad = 21), (Rodríguez, 1999).

2.1.2 Nitrato potásico ($\text{NO}_3 \text{K}$)

Su riqueza en nitrógeno total es del 13% y su contenido de potasio es elevado, alcanzando el 44 y 45%. Es considerado un fertilizante complejo binario, pues posee dos macroelementos, N y K, en una buena proporción.

Sus características son similares a las del nitrato de calcio. Aporta al suelo un elemento importantísimo como es el potasio. Su reacción en el mismo tiende a ser acidificante con un índice de acidez de 26 (Rodríguez, 1999).

2.1.3 Urea [$\text{CO} (\text{NH}_2)_2$]

La urea es un fertilizante sólido de mayor concentración de nitrógeno total alcanzando un 45 a 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.

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

- Por su alta concentración facilita el 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 "biuret" no debe exceder el 2% del contenido total, un exceso provocaría síntomas de toxicidad en el cultivo (Rodríguez, 1999).

2.2 Fósforo

El fósforo posee muy poca movilidad en el suelo, por eso es aconsejable su "localización" cerca de las raíces, siendo además un método de economización de abono la aplicación en bandas.

Las formas en que son absorbidos los fosfatos son el monobásico $\text{PO}_4 \text{H}_2^-$ y el dibásico $\text{PO}_4 \text{H}^-$, siendo el primero el más absorbido fisiológicamente por el vegetal. También hay una absorción muy pequeña de otras formas como el pirofosfato, metafosfato y otros compuestos orgánicos.

La mayor absorción de los fosfatos por parte de las plantas depende de los siguientes factores:

1. Capacidad de solubilizar de las raíces. Las raíces excretan permanentemente, por sus funciones metabólicas, bióxido de carbono a la solución edáfica, permitiendo solubilizar distintos compuestos a partir de las partículas del suelo, mediante la formación de ácido carbónico en la solución que tiene un poder disolvente. Una especie que tenga buena producción de CO_2 tiene mayor capacidad de solubilizar el fósforo asimilable.

2. Tamaño de la raíz. Un sistema radicular desarrollado permite una mayor extracción de nutriente, principalmente de los poco móviles.

3. Capacidad de absorción de la planta. Algunas especies tienen una mayor capacidad para la absorción de los fosfatos de calcio que otras; las especies exigentes en calcio extraen mucho este elemento del suelo provocando indirectamente una mayor solubilización de los fosfatos (pues éste no se combina con aquél y no precipita).

Una vez absorbido como PO_4H^- y PO_4H_2^- , el fósforo circula y se traslada en el vegetal como fosfato monobásico, siendo interiormente un elemento muy móvil (Rodríguez, 1999).

Interviene en la formación de las nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos (Rodríguez, 1999). Tiene una importancia vital en:

- La división celular
- La respiración y fotosíntesis
- Síntesis de azúcar, grasas y proteínas
- La acumulación de energía (en los compuestos ATP y NADP) en los fenómenos de fosforilación
- La regulación del pH de las células (sus ácidos y sus sales de metal fuerte forman soluciones Buffer que regulan el pH de las soluciones celulares, etc. (Gil, 1995).

La respuesta relativa de los cultivos a la fertilización fosforada suela ser máxima en la primera parte de las estación de crecimiento y disminuye paulatinamente a medida que se aproxima a la maduración. Por lo tanto, puede inferirse que la necesidad de fósforo adicional es mayor en la primera etapa que en la última (Black, 1975).

Cuando en una planta se pasa de niveles subóptimos a óptimos de fósforo, se incrementan todas las fracciones que lo contienen. Sin embargo, por encima del óptimo solamente lo hace la fracción inorgánica, demostrando su acumulación en las vacuolas.

Durante los primeros estadios del desarrollo los niveles de fitato suelen ser bajos, mientras que los de fosfato inorgánico se mantienen elevados. Otra fracción del fósforo se encuentra asociada con el almidón de modo que podía actuar como reserva de fosfato para la exportación de azúcares fosfato y para la regulación de su degradación.

Algunos de los síntomas de deficiencia de fósforo son susceptibles de confundirse con los de nitrógeno, aunque se suelen presentar menos acentuados, pudiendo causar la abscisión de las hojas y pigmentaciones antociánicas rojiza o purpúreas. Sin embargo, a diferencia de lo que sucede con el nitrógeno, la deficiencia de fósforo suele ocasionar zonas necróticas en las hojas, pecíolos o frutos; en ocasiones, las hojas pueden adquirir una coloración azul oscura debida a la síntesis de flavonoides. Dada la gran movilidad del fósforo en la planta, así como la tendencia de las hojas jóvenes a agotar el contenido de las viejas cuando existe deficiencia, es en las hojas basales donde se manifiestan con anterioridad los síntomas visuales. Otros factores de la sintomatología son los cambios de forma de las hojas, como sucede con la deficiencia de Zn, el aborto de los granos en cereales y los granos existentes son de menor tamaño.

Las deficiencias de fósforo, en general, causan un escaso desarrollo de los tejidos vasculares, tanto del xilema como del floema, que exhiben grandes espacios intercelulares y las deficiencias se acentúan con bajas temperaturas del suelo. En algunas especies, la deficiencia provoca, además, una acumulación de glúcidos (Gil, 1995).

Las alteraciones por exceso de fósforo se observan experimentalmente sólo en cultivo en medio líquido, en ciertos suelos enriquecidos fuertemente por aportaciones masivas y repetidas de fertilizantes fosforados solubles. Son frecuentes las clorosis férricas por la insolubilización que sufre el Fe ante dichos excesos (Navarro, 2000)

2.2.1 Fosfatos de amonio

El término fosfato de amonio abarca una amplia gama de fertilizantes que se obtienen mediante amoniación del ácido fosfórico, con frecuencia en una mezcla con otros compuestos. El fosfato de amonio puede existir como sal mono o diamoniaco, o una mezcla de ambas. Los fosfatos de amonio se utilizan ampliamente tanto en mezclas físicas de gran volumen como en sistemas de aplicación directa. Los fosfatos de amonio que se utilizan comúnmente son el fosfato de monoamonio 11 – 52 – 00, el fosfato de diamonio 16 – 48 – 00 y 18 – 46 – 00, y el sulfofosfato de amonio 16 – 20 – 00.

Los fosfatos de amonio se obtienen al hacer reaccionar el amoníaco con el ácido fosfórico en un tanque de preneutralización y sometiendo después la lechada amoniación en una unidad rotatoria de amoniación y granulación. Pueden añadirse nitrógeno, fosfato y ácido sulfúrico en esta unidad para obtener el grado deseado (CFA, 1995).

2.3 Potasio

El potasio es absorbido por las plantas en su forma catiónica, K^+ . La absorción en el suelo está relacionada a la concentración de otros cationes, como es el caso del magnesio por problemas de competencia iónica, en la cual son absorbidos con mayor facilidad y velocidad los cationes que tienen una sola carga positiva que los que tienen mayor cantidad.

Cuando el potasio entra en el sistema metabólico de las células forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos del interior de las mismas, que

serven para regular el potencial osmótico celular, regulando así el contenido de agua interna. El potasio no se conoce como constituyente de ninguna molécula esencial más que como sal de ácido orgánico; sin embargo, forma asociaciones con las proteínas y es un efector de muchas enzimas que requieren cationes monovalentes para su máxima actividad, inducida por cambios conformacionales (Gil, 1995).

En algunas plantas jóvenes esta función puede ser reemplazada por otros cationes como el Litio y el Sodio, pero siempre de una forma restringida, es decir antes de los efectos tóxicos que pueden traer colateralmente (Rodríguez, 1999).

El potasio interviene además fisiológicamente en los siguientes procesos:

- Síntesis de azúcar y almidón
- Traslado de azúcares
- Síntesis de proteínas (en las uniones peptídicas de las mismas)
- En la fosforilación oxidativa que se produce en las membranas de las mitocondrias, esta fosforilación consiste en captar fósforo en una molécula compleja que también contiene el mismo elemento, como una forma de captar y acumular energía para otros procesos fisiológicos de la planta (como son las distintas síntesis de almidones, grasas y proteínas.
- Interviene en la estimulación enzimática.
- Neutralización de la acidez del citosol y de los cloroplastos provocada por aniones orgánicos e inorgánicos.
- En la fotosíntesis interviene en el mantenimiento de la estructura fina de los cloroplastos, en la activación de la enzima Rubisco y en la inhibición de la respiración.
- Regulación de los movimientos estomáticos, donde el intercambio de protones por potasio en las células oclusivas, determina en la vacuola una acumulación de sustancias con componente osmótica que disminuye el

potencial hídrico, con la consiguiente entrada de agua, aumento de turgencia y apertura del ostiolo.

- Resistencia de los vegetales a la tensión hídrica, al aumentar el suministro de potasio aumenta el contenido de agua y la turgencia de las plantas.

La deficiencia en potasio afecta a procesos como la respiración, la fotosíntesis, síntesis de clorofilas y el contenido en agua de las hojas. La máxima concentración de potasio se halla en la zonas meristemáticas en división de las plantas y se ha sugerido que es esencial para la activación de enzimas involucrados en la formación de enlaces peptídicos. La acumulación de glúcidos debida a la deficiencia de potasio se explicaría entonces en razón de la inhibición de la síntesis proteica que queda afectada a diversos niveles, incluso por las necesidades de potasio para la síntesis de nitrorreductasa y para su activación (Mazliak, 1976).

Aunque la deficiencia de potasio reduce la fotosíntesis y aumenta la respiración, generalmente se comprueba que se produce una acumulación de almidones y azúcares en las plantas cuando surge la deficiencia de potasio. Es probable que la acumulación se deba a que la restricción en el uso de carbohidratos para producir nuevas proteínas y nuevos tejidos, es más grave que la restricción en la producción neta de carbohidratos.

La acumulación total de carbohidratos por las plantas deficientes en potasio se halla limitada no sólo por la inferior tasa de fotosíntesis y la superior tasa de respiración, sino también por dos factores secundarios. Primero, el crecimiento de las plantas es un proceso exponencial o compuesto, donde el nuevo crecimiento por unidad de tiempo depende del crecimiento inicial; de ahí que una pequeña disminución porcentual en la eficacia de la unidad de superficie foliar puede llegar a ser con el tiempo una diferencia importante en el producto total. Segundo, la hojas inferiores de las plantas que tienen deficiencia

en potasio mueren prematuramente, y reducen de ese modo el área foliar útil durante la última parte del período de crecimiento, cuando el carbohidrato se está usando principalmente en la producción del fruto (Black, 1975).

Bajo deficiencia de potasio, el crecimiento se reduce, especialmente en las plantas que poseen pocas reservas. Una deficiencia moderada no afecta considerablemente al desarrollo, pero resulta típica la clorosis jaspeada de las hojas, seguida de la aparición de manchas necróticas en los ápices y bordes de las mismas. Se ha comprobado que estas manchas son ricas en un compuesto nitrogenado, la putrescina, que mata a las células y que se produce como resultado del trastorno metabólico de los aminoácidos dicarboxílicos. Además, aumenta el acervo de azúcares solubles y disminuye el almidón, todo ello debido probablemente a fallos en la regulación enzimática de las rutas de los glúcidos.

Las hojas desarrollan, a menudo, un brillo metálico (bronceado) antes de manifestar otros síntomas y, más tarde, se curvan hacia abajo y se enrollan hacia el haz. Los síntomas aparecen antes en las hojas viejas, indicando que el potasio es un ión móvil por el floema que se redistribuye a los tejidos jóvenes. Las manchas son mayores en el ápice y en los bordes porque son las zonas de mayor transpiración mientras que los nervios suelen quedar inafectados. Como resultado de ello, las hojas quedan caladas de células muertas y, si son paralelinervias, se deflecan por el extremo (Gil, 1995).

Las plantas con alto contenido de potasio pueden tener también alto contenido de carbohidratos, pero el hecho de tenerlo o no depende de otras condiciones; una de las que se destacan al respecto, es el contenido en nitrógeno de la planta. A medida que, a partir de un nivel de deficiencia grave, aumenta el suministro de potasio, por lo común disminuye el porcentaje de nitrógeno en las plantas, a causa de la "dilución" del nitrógeno en el crecimiento extra que guarda relación con la fertilización potásica (Black, 1975).

Las alteraciones por exceso de potasio en la planta se presentan con menos frecuencia, y están basadas en los antagonismos con magnesio, calcio, hierro, boro y zinc (Navarro, 2000).

2.4 Calcio

El calcio es absorbido por las plantas en su forma catiónica Ca^{++} y es parte constituyente de las sales en la solución del suelo. En el interior de la planta es un elemento poco móvil interviniendo en la formación de los pectatos de calcio de la laminilla media de las células que intervienen en el proceso general de absorción de elementos.

El calcio forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos del interior de las células regulando la presión osmótica de las mismas. Intervienen en la formación de la lecitina, que es un fosfolípido importante de la membrana celular, siendo un factor de importancia en la permeabilidad de estas membranas (Rodríguez, 1999).

Igualmente actúa en la división mitótica de las células, en el crecimiento de los meristemas y en la absorción de nitratos (en la regulación de la absorción activa de elementos y en la permeabilidad de las paredes celulares) (Mazliak, 1976).

El calcio es añadido al suelo, principalmente, por sus características físicas y químicas, es decir por la capacidad floculante que agrega a las partículas coloidales del suelo para una buena estructuración el mismo, y por su capacidad de regulación del pH en suelos muy ácidos mediante las técnicas de "encalado" (Rodríguez, 1999).

Pequeñas cantidades de calcio son necesarias para la mitosis, habiéndose observado diferentes anomalías cromosómicas y del aparato

mitótico en células deficientes en calcio, de modo que se ha sugerido que las nucleoproteínas se mantienen unidas entre sí mediante puentes cálcicos.

La deficiencia de calcio activa la liberación de sustratos respiratorios a partir de las vacuolas; el tratamiento subsiguiente con el calcio decreta la tasa respiratoria y aumenta la síntesis de proteínas. El número de mitocondrias en las raíces se reduce por la deficiencia de calcio, con un aumento de la concentración de glúcidos en las hojas y descenso en el aparato radical, lo que se interpreta como un efecto de decremento de la translocación de azúcares en el sentido brote – raíz, efecto similar al provocado por la deficiencia de boro.

Las deficiencias de calcio afectan a las regiones meristemáticas del tallo, las hojas y la raíz que con facilidad, mueren tempranamente; se detienen las mitosis, con lo que las hojas jóvenes presentan malformaciones, quedando con los extremos curvados hacia atrás, las raíces son cortas y pardas. Mas tarde, las hojas muestran clorosis marginales y estas áreas laterales inician un fenómeno de necrosis. Al final, las hojas caen y se detiene el crecimiento del ápice. Se produce entonces la brotación de yemas laterales, a las que les ocurre lo mismo. El síntoma más característico de la deficiencia de calcio consiste en la morfología de gancho que adquieren los limbos foliares.

Una vez depositado en las hojas por la corriente de transpiración, el calcio queda inmovilizado, por lo que toda esta sintomatología afecta antes a las hojas jóvenes, tan pronto decrece su aporte. También puede afectar a otros órganos jóvenes en formación como a los frutos, que suelen presentar degeneración del ápice y una menor resistencia a la infección por hongos. Pequeños suministros de calcio o la presencia de magnesio pueden paliar alguno de estos efectos (Gil, 1995).

2.5 Magnesio

El magnesio es absorbido por la planta en su forma catiónica Mg^{++} . Ingresa en el interior de las células participando en distintas funciones y constituciones moleculares. Forma parte de la molécula de clorofila, constituyendo el 2.7% del peso total de esta molécula. Los cloroplastos contienen el 10-20% de las hojas y menos de la mitad de esta cantidad es la que se enlaza en el anillo tetrapirrólico. En general, la mayor proporción de magnesio se halla en las vacuolas, aunque se encuentra también abundantemente en el citosol para mantener su pH alto, entre 6.5 y 7.5 (Gil, 1995).

- Forma parte constituyente de los pectatos de las laminillas medias de las células; es abundante el Mg en las semillas, tejidos meristemáticos y frutos.
- Entra en la constitución molecular de 15 enzimas del grupo de las sintetizadoras de polipéptidos, las transfosforilasas y descarboxilasas.
- Interviene en la síntesis de los aceites vegetales.
- El magnesio se encuentra en el suelo en forma catiónica, compitiendo con el potasio y el manganeso. En esta competencia iónica, cuando hay un exceso de potasio, disminuye la absorción de magnesio; en cambio, cuando existe un exceso de magnesio disminuye la absorción de manganeso (el cual en elevadas concentraciones puede llegar a ser tóxico) (Rodríguez, 1999).

La deficiencia de magnesio afecta en gran modo al tamaño, estructura y función de los cloroplastos, incluyendo a los procesos de transferencia electrónica en el fotosistema II y determina un mayor aumento del almidón cloroplástico, responsable de la mayor proporción de materia seca existente en las hojas deficientes en magnesio.

El síntoma más característico de la deficiencia de magnesio es la presencia de extensas clorosis internerviales, seguida por acumulación de pigmentos antociánicos y necrosis. El amarillamiento de las hojas se produce

antes en las basales y, si la deficiencia es grave, se traslada el síntoma a las hojas más jóvenes, lo cual indica que se trata de un elemento móvil por el floema. Además, generalmente, se produce un marcado acortamiento de los entrenudos, muerte prematura de las hojas e inhibición de la floración. En ocasiones, aparecen coloraciones rojizas, ápices y bordes foliares retorcidos, con la concavidad hacia arriba, y tallos finos. Los síntomas de deficiencia en las raíces son mucho menos evidentes (Gil, 1995).

2.5.1 Sulfato de Magnesio (Mg SO₄ 7 H₂O)

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.

Peso molecular (g/mol): 246.47

Color y forma: Cristales blancos.

Densidad (kg/m³): 1,700

Solubilidad: 71g/100ml de agua a 20°C

Compatibilidad: Compatible con la mayoría de fertilizantes. Reacciona con sales solubles de calcio, disminuyendo la solubilidad del sulfato.

Manejo y almacenamiento: Para evitar el endurecimiento, almacenar en condiciones secas, frescas y oscuridad. El endurecimiento, de ninguna forma disminuye la solubilidad inmediata de la sal en agua.

Comportamiento en el suelo: Fuente de rápida liberación de magnesio (Mg⁺²) y azufre en forma de sulfato (SO₄⁻²). Sal neutra, pH en solución acuosa está entre 6 y 7 (Disagro, 2003).

2.6 Interacciones entre nutrientes

Las interacciones entre nutrientes tienen lugar cuando el suministro de uno de ellos afecta la absorción, distribución o función de cualquier otro, pudiendo conducir a una deficiencia o toxicidad de éste y a una posible modificación del crecimiento.

Las interacciones pueden existir en el propio proceso de absorción por las raíces. Un ión puede dificultar el acceso de otro a los lugares de absorción, como sucede con el Ca respecto al Mn y al Zn; o por el contrario, favorecerla, tal como actúa el mismo Ca respecto a los aniones SO_4 y H_2PO_4 (Prados, 1993).

En la fertilización, hay que considerar los antagonismos iónicos que se presentan cuando uno de los antagonistas se halla muy alejado de la proporción óptima respecto al otro. Estos antagonismos, explicados habitualmente en razón de la competencia por los sitios de anclaje, pueden ser muy perjudiciales para la producción. La capacidad de las plantas para absorber otros elementos nutritivos está afectada por el comportamiento del potasio, calcio y magnesio. Cuando uno o cualquiera de los dos primeros es más o menos abundante en el suelo, puede acumularse en la porción superior de las plantas en concentraciones mayores que las normales; esto tiene un efecto depresor en la absorción de otros elementos nutritivos que deben penetrar a la planta en proporciones elevadas al declararse la carencia o deficiencia. Cuando el contenido de potasio de un suelo es inferior al normal, no conviene aplicar nitrógeno en forma asimilable porque el potasio parece tener un efecto regulador benéfico en la cantidad de nitrógeno que la planta puede absorber. Si falta el potasio asimilable en la cantidad óptima para que exista un equilibrio adecuado, podría suceder que las plantas tomaran mayor cantidad de nitrógeno que la necesaria, lo cual traería como consecuencia un desarrollo acuoso y susceptible a la enfermedad, con muy poca o tardía floración. Por otro

lado, cuando la concentración de potasio es muy alta, se reducirá la absorción de magnesio y sobrevendrá la deficiencia fisiológica de este elemento. También la absorción y utilización del calcio, hierro y manganeso suelen ser interferidas (Teusher y Alder, 1984).

Otro tipo de interacción consiste en la competición por el lugar de absorción: por ejemplo, el NH_4 puede disminuir la absorción de K a través del plasmalema. Asimismo la absorción de Zn es inhibido por el aumento en la concentración de Ca en la solución y también por la presencia de K en la misma (Prados, 1993).

Todo parece indicar que el magnesio interviene en la absorción de los fosfatos por las plantas, pues éstos no son eficientes cuando el contenido de magnesio del suelo es bajo. En consecuencia, es recomendable vigilar el contenido de magnesio del suelo cuando se tiene la seguridad o se sospecha que la utilización de los fosfatos es incompleta a pesar de que existan en forma aprovechable y en cantidad suficiente (Teusher y Alder, 1984).

Los diferentes cultivos hortícolas poseen una distinta demanda de los elementos nutritivos, cuya absorción es paralela al ritmo de desarrollo. La base de la economía de la fertilización es la respuesta del cultivo a la misma, expresada por medio de funciones de producción o de crecimiento (Domínguez, 1997).

La asimilación de nitrógeno, potasio y fósforo en sus correspondientes formas químicas varía, principalmente según la especie y en forma secundaria por otros muchos factores: densidad de siembra, condiciones generales de clima y suelo, estado de crecimiento y desarrollo de las plantas, sanidad, etcétera. El balance entre las extracciones y los aportes al suelo también dependen de la especie de que se trate.

2.7 Calabaza (*Cucurbita pepo* L.)

2.7.1 Clasificación Taxónomica

Clase: *Dicotyledoneae*

Subclase: *Dilleniidae*

Superorden: *Violanae*

Orden: *Cucurbitales*

Familia: *Cucurbitaceae*

Género: *Cucurbita*

Especie: *Cucurbita pepo*

(Reche, 1997)

2.7.2 Origen

El origen de la calabaza no está del todo claro, por una parte parece ser que procede de Asia. Su nombre aparece entre las hortalizas usadas por egipcios y existen pruebas de que también eran conocidas por los romanos. Otras fuentes atribuyen su origen a la América precolombina, concretamente a la zona de México, siendo una de las especies que introdujeron los españoles en Europa, durante la época del descubrimiento (Reche, 1997).

2.7.3 Descripción Botánica

Planta: anual, de crecimiento indeterminado y porte rastrero.

Sistema radicular: Constituido por una raíz principal axonomorfa, que alcanza un gran desarrollo en relación con las raíces secundarias, las cuales se extienden superficialmente. Pueden aparecer raíces adventicias en los entrenudos de los tallos cuando se ponen en contacto con tierra húmeda. (Infoagro, 2003 a).

Tallo principal: Sobre éste se desarrollan tallos secundarios que llegan a atrofiarse si no se realiza una poda para que ramifique a dos o más brazos. Presenta un crecimiento en forma sinuosa, pudiendo alcanzar un metro o más de longitud, dependiendo de la variedad comercial. Es cilíndrico, grueso, de superficie pelosa y áspero al tacto. Posee entrenudos cortos, de los que parten las hojas, flores, frutos y numerosos zarcillos. Estos últimos son delgados, de 10-20 cm de longitud y nacen junto al pedúnculo del fruto.

Hoja: Palmeada, de limbo grande con 5 lóbulos pronunciados de margen dentado. El haz es glabro y el envés áspero y está recubierto de fuertes pelos cortos y puntiagudos a lo largo de las nerviaciones. Los nervios principales parten de la base de la hoja y se dirigen a cada lóbulo subdividiéndose hacia los extremos. El color de las hojas oscila entre el verde claro y oscuro, dependiendo de la variedad, presentando en ocasiones pequeñas manchas blanquecinas. Las hojas están sostenidas por pecíolos fuertes y alargados, recubiertos con fuertes pelos rígidos.

Flor: La floración es monoica, por lo que en una misma planta coexisten flores masculinas y femeninas. Son solitarias, vistosas, axilares, grandes y acampanadas. El cáliz es zigomorfo (presenta un solo plano de simetría) y consta de 5 sépalos verdes y puntiagudos. La corola es actinomorfa y está constituida por cinco pétalos de color amarillo. La flor femenina se une al tallo por un corto y grueso pedúnculo de sección irregular pentagonal o hexagonal, mientras que en las flores masculinas (de mayor tamaño) dicho pedúnculo puede alcanzar una longitud de hasta 40 cm. El ovario de las flores femeninas es ínfero, tricarpelar, trilocular y alargado. Los estilos, en número de tres, están soldados en su base y son libres a la altura de su inserción con el estigma, este último dividido en 2 partes. Las flores masculinas poseen tres estambres soldados. (Infoagro, 2003a).

Fruto: Pepónide carnosos, unilocular, sin cavidad central, de color variable, liso, estriado, reticulado, etc. Se recolecta aproximadamente cuando se encuentra a mitad de su desarrollo; el fruto maduro contiene numerosas semillas y no es comercializable debido a la dureza del epicarpio y a su gran volumen. Las semillas son de color blanco – amarillento, ovals, alargadas, puntiagudas, lisas, con un surco longitudinal paralelo al borde exterior, tienen una longitud aproximada de 1.5 cm, anchura de 0.6 – 0.7 cm y grosor de 0.1 – 0.2 cm (Infoagro, 2003a).

2.7.4 Requerimientos Edafoclimáticos

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de estos incide sobre el resto. Temperatura: El calabacín no es demasiado exigente en temperatura, menos que el melón, pepino y sandía, aunque soporta temperaturas más elevadas (Cuadro 2.1.).

Cuadro 2.1. Temperaturas críticas para calabacín en las distintas fases de desarrollo (Infoagro, 2003a).

| Etapa de desarrollo | Temperatura (° C) | | |
|---|-------------------|--------|--------|
| | Óptima | Mínima | Máxima |
| Germinación (temperatura en el suelo) | 20 – 25 | 15 | 40 |
| Formación de planta | 25 – 30 | 10 | 35 |
| Desarrollo del fruto | 20 – 25 | 10 | 35 |

Humedad: La humedad relativa óptima del aire en el invernadero oscila entre el 65% y el 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación.

La gran masa foliar de la planta y el elevado contenido en agua del fruto (alrededor de 95%), indican que se trata de un cultivo exigente en agua, por lo que el rendimiento dependerá en gran medida de la disponibilidad de agua en el terreno. No obstante, los excesos de humedad en el suelo impiden la

germinación y pueden ocasionar asfixia radicular, y una escasa humedad puede provocar la deshidratación de los tejidos, la reducción del desarrollo vegetativo, una deficiente fecundación por caída de flores, redundando en una disminución de la producción y un retraso del crecimiento.

Luminosidad: Es una planta muy exigente en luminosidad, por lo que una mayor insolación repercutirá directamente en un aumento de la cosecha.

Suelo: Es poco exigente en suelo, adaptándose con facilidad a todo tipo de suelos, aunque prefiere aquellos de textura franca, profundos y bien drenados. Sin embargo se trata de una planta muy exigente en materia orgánica. Los valores de pH óptimos oscilan entre 5.6 y 6.8 (Suelos ligeramente ácidos), aunque puede adaptarse a terrenos con valores de pH entre 5 y 7 (Valadez, 2001).

2.7.5 Requerimientos nutricionales

Los abonos restituyen los elementos que las plantas toman del suelo, suministrándolos en forma orgánica y mineral. Al ser el ciclo de la calabaza muy corto 3 – 4 meses, y constante producción, necesita continuos aportes de abonados equilibrados y suficientes (Reche, 1997).

2.7.5.1 Absorción de nutrientes

El nitrógeno interviene en el desarrollo de la planta, incrementa la producción, contribuye a la formación de proteínas y da un color intenso a las hojas. La calabaza es muy ávida de nitrógeno, absorbiéndolo durante todo el ciclo (Reche, 1997). El nitrógeno influye directamente en el nivel de producción sin que se hayan observado efectos negativos aún con aplicaciones altas, excepto en secano en que la producción se ve limitada por el agua. Al existir una deficiencia las hojas presentan una palidez generalizada, mostrando los síntomas inicialmente en las hojas viejas. En plantas pequeñas, 20 – 30 días se recomienda confirmar si es una carencia de nitrógeno o de azufre. Como los

síntomas son similares, es conveniente determinar el nitrógeno de la hoja cuando aparece esta amarillez. Se debe de observar que la cabeza de la planta presenta las hojas completamente verdes para descartar que se trata de una carencia de azufre (Casas y Casas, 1999).

El fósforo favorece el desarrollo de las raíces, estimula el crecimiento, favorece la floración y fructificación, mejorando la calidad de los frutos. El fósforo se almacena en el suelo, moviéndose muy poco, por lo que hay que situarlo en la zona próxima a las raíces. La calabaza es muy exigente al principio del ciclo en fósforo, influyendo en el desarrollo del sistema radicular. El cultivo es menos exigente en fósforo que en nitrógeno y potasio (Reche, 1997). El fósforo acelera el desarrollo inicial y favorece la floración y la maduración, en tanto que el potasio aumenta el número de frutos, el contenido de azúcares y la resistencia a las enfermedades, obteniéndose una buena respuesta a la aplicación de este elemento hasta niveles relativamente altos (Rodríguez, 1997). No se observan problemas de carencia con este elemento. En caso de carencias, las hojas en plantas pequeñas suelen presentar una coloración más oscura y son más planas. El tamaño de las hojas se reduce de manera considerable (Casas y Casas, 1999).

El potasio interviene favoreciendo la formación de los hidratos de carbono, aumenta la dureza de los tejidos, proporciona calidad, peso, color y sabor a los frutos. Regula el contenido de agua en las células proporcionando a la planta resistencia a las heladas y a la sequía. Es absorbido por la calabaza en grandes cantidades, durante todo el ciclo vegetativo (Reche, 1997). La sintomatología de la deficiencia de potasio se muestra en las hojas bajas. Presentan un borde amarillento que llega a necrosarse cuando la carencia progresa. Se extiende hacia el interior de la lámina y hacia las hojas más jóvenes. Debido a que es un cultivo muy exigente en potasio, se deberá de plantear un abonado teniendo en cuenta esta consideración.

Los síntomas de carencia de calcio se muestran en las hojas jóvenes, presentando éstas un borde amarillento – blanquecino. Como en otras cucurbitáceas, la hoja tiende a curvarse hacia el envés. Es muy similar a la sintomatología de la carencia en pepino. El exceso de potasio en el suelo y la alta humedad ambiental, unido a niveles bajos de luz, inciden en la absorción de calcio por parte del sistema radicular.

En el caso de una carencia de magnesio, la planta muestra una decoloración internervial en las hojas viejas, que se moverá hacia los bordes de las hojas y hacia las hojas más jóvenes. Cuando la carencia es muy acusada puede ser fácilmente confundida con una de potasio (Casas y Casas, 1999).

2.7.5.2 Extracción de elementos nutritivos

Para una producción media de 80 – 100 Ton/ha las extracciones medias oscilan entre: 200 – 225 Kg. de nitrógeno, 100 – 125 de P₂O₅ y 250 – 300 Kg. de K₂O , lo que supone un equilibrio aproximado de 2 – 1 – 2.5 (Reche, 1997).

2.8 Chile (*Capsicum annum* L.)

2.8.1 Clasificación taxonómica

División: *Spermatophyta*

Línea: *Angiospermae*

Clase: *Dicotyledones*

Rama: *Malvales . Tubiflorae*

Orden: *Solanales (Personatae)*

Familia: *Solanaceae*

Género: *Capsicum*

(Nuez *et al.*, 1996).

2.8.2 Origen

El chile es originario de la zona de Bolivia y Perú, donde además de *Capsicum annum* L. se cultivaban al menos otras cuatro especies. Fue traído al Viejo Mundo por Colón en su primer viaje (1493). En el siglo XVI ya se había difundido su cultivo en España, desde donde se distribuyó al resto de Europa y del mundo con la colaboración de los portugueses ((Nuez *et al.*, 1996).

2.8.3 Descripción Botánica

Sistema radicular: Pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 centímetros y 1 metro.

Tallo principal: De crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura ("cruz") emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continua ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente).

Hoja: Entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto.

Flor: Las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10%.

Fruto: baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 centímetros. (Nuez *et al.*, 1996 a)

2.8.4 Requerimientos Edafoclimáticos

Temperatura: es una planta exigente en temperatura (más que el tomate y menos que la berenjena) (Cuadro 2.2.).

Cuadro 2.2. Temperaturas críticas para pimiento en las distintas fases de desarrollo (Infoagro, 2003 d).

| FASES DEL CULTIVO | TEMPERATURA (°C) | | |
|----------------------------|------------------------------|--------|--------|
| | ÓPTIMA | MÍNIMA | MÁXIMA |
| Germinación | 20-25 | 13 | 40 |
| Crecimiento vegetativo | 20-25 (día) 16-18 (noche) | 15 | 32 |
| Floración y fructificación | 26-28 (día) 18-20 (noche) | 18 | 35 |

Los saltos térmicos (diferencia de temperatura entre la máxima diurna y la mínima nocturna) ocasionan desequilibrios vegetativos. La coincidencia de bajas temperaturas durante el desarrollo del botón floral (entre 15 y 10° C) da lugar a la formación de flores con alguna de las siguientes anomalías: pétalos curvados y sin desarrollar, formación de múltiples ovarios que pueden evolucionar a frutos distribuidos alrededor del principal, acortamiento de estambres y de pistilo, engrosamiento de ovario y pistilo, fusión de anteras, etc. Las bajas temperaturas también inducen la formación de frutos de menor

tamaño, que pueden presentar deformaciones, reducen la viabilidad del polen y favorecen la formación de frutos partenocárpicos. Las altas temperaturas provocan la caída de flores y frutitos.

Humedad: La humedad relativa óptima oscila entre el 50% y el 70%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajados.

Luminosidad: Es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de desarrollo y durante la floración.

Suelo: Los suelos más adecuados para el cultivo del chile son los franco-arenosos, profundos, ricos, con un contenido en materia orgánica del 3-4% y principalmente bien drenados.

Los valores de pH óptimos oscilan entre 6,5 y 7 aunque puede resistir ciertas condiciones de acidez (hasta un pH de 5,5); en suelos enarenados puede cultivarse con valores de pH próximos a 8. En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5,5 a 7. Es una especie de moderada tolerancia a la salinidad tanto del suelo como del agua de riego, aunque en menor medida que el tomate (Nuez *et al.*, 1996 a).

2.8.5 Requerimientos Nutricionales

Según diferentes autores existen dos fases distintas en el ritmo de crecimiento de la planta de chile. En la primera fase, considerada de crecimiento lento, sintetiza el 50% de la materia seca total producida y comprende, para cultivos bajo invernadero, desde el transplante hasta la segunda recolección, con una duración media de 110 – 120 días. La segunda fase, de crecimiento rápido, comprende el resto del periodo de cultivo con una

duración media de 40 –50 días. Las hojas representan más del 50% de materia seca acumulada, desde prácticamente el trasplante hasta la primera recolección de frutos (100 después del trasplante). El índice de área foliar, alcanza al final del cultivo un valor medio de 4.5 (45 000 m²/ha) para una densidad de plantación de 2.5 plantas/m². (Nuez *et al.*, 1996a)

2.8.5.1 Absorción de nutrientes

Se da una gran intensidad de absorción diaria de los elementos en los periodos críticos de máximo desarrollo vegetativo y durante la floración, cuajado y crecimiento del fruto.

El nitrógeno influye, tanto en la producción como en el color del fruto y en el contenido de dicho elemento, su exceso puede retrasar maduración (Domínguez, 1997). Con carencias de este nutriente la planta presenta una coloración pálida. Los síntomas aparecen en las hojas basales y se mueven desde éstas hacia arriba. Es difícil de observar en explotaciones comerciales. Únicamente se han detectado después de lluvias en invernaderos de techo plano, por efecto del lavado del suelo. Las concentraciones de nitrógeno a nivel foliar se deberán evaluar en función de la época del año. Los niveles más altos aparecerán en la floración e irán disminuyendo hasta la recolección. En semillero suele aparecer en la época de verano, por exceso de riego para controlar la temperatura. En este caso los síntomas aparecen en la primera hoja verdadera. También pueden aparecer cuando el nivel de fertilización de nitrógeno es bajo, para así tratar de evitar que aparezcan plantas con un tamaño excesivo (Casas y Casas, 1999).

El fósforo, además de su influencia en la precocidad del desarrollo mejora el rendimiento del fruto en materia seca. Al haber contenidos bajos de éste durante el cultivo, presenta manchas internerviales irregulares en las hojas bajas, de color marrón tabaco, fundamentalmente por el envés (Domínguez, 1997).

El potasio tiene una gran incidencia en la producción y la calidad del fruto. Los síntomas de carencia se presentan en las hojas inferiores, manifestando una amarillez en los bordes. Esta se mueve hacia el interior de la lámina y hacia la parte superior de la planta. Produce enanismo y gran defoliación de las hojas basales. A nivel foliar se observa siempre un incremento en la concentración de magnesio (Domínguez, 1997).

Con las deficiencias de Calcio presenta decoloraciones blanquecinas en el borde de las hojas jóvenes. Suele estar acompañada de la aparición de blossom end rot (BER), quemadura apical de los frutos. Su incidencia tienen una componente varietal y suele aparecer, sobre todo, por desequilibrio hídricos. Estos están provocados por inadecuadas frecuencias de riego y/o problemas de salinidad en el suelo. Excesos en la relación K/Ca, suelen ser también causantes de esta fisiopatía. Niveles altos de nitrógeno amoniacal, procedentes de estercolados, tienen igualmente incidencia en la aparición del BER. El calcio, por ser un elemento muy poco móvil en la planta, siempre causa problemas en la interpretación de los resultados. Es frecuente que la fisiopatía del BER no se pueda detectar mediante análisis foliar.

La sintomatología de la deficiencia de Magnesio aparece en las hojas bajas. Presenta una decoloración amarillenta internervial que se mueve desde el centro de la lámina hacia los bordes y desde las hojas inferiores a las superiores. Suele estar inducida, casi siempre, por acumulaciones de potasio en el suelo procedentes del cultivo anterior. A veces proviene de aportes de potasio en el riego para así elevar la conductividad eléctrica del suelo y de esta manera, frenar el desarrollo de la planta e inducir la floración (Casas y Casas, 1999).

2.8.5.2 Extracciones de elementos nutritivos

Son diversos los factores que influyen en los ritmos de absorción de nutrientes por el cultivo, entre los que cabría reseñar: material vegetal, condiciones ambientales, calidad de agua de riego y técnicas de cultivo (Nuez *et al.*, 1996).

Cuadro 2.3. Niveles Foliare de referencia para cultivo de Chile (Nuez *et al.*, 1996 según Cadahía, 1988).

| Nutriente % | Alto | Normal | Medio |
|--------------------|-------------|---------------|--------------|
| Nitrógeno | 2.1 – 6.0 | 4 – 5 | 3 – 3.9 |
| Fósforo | 0.7 – 0.8 | 0.3 – 0.7 | 0.2 – 0.3 |
| Potasio | 5.6 – 6.0 | 4.5 – 5.5 | 3.5 – 4.5 |
| Calcio | 4.1 – 5.0 | 2.0 – 4.0 | 0.5 – 1.9 |
| Magnesio | 1.8 – 2.5 | 1.0 – 1.7 | 0.5 – 0.9 |

Las cifras obtenidas por diversos investigadores varían, considerablemente, en función de las condiciones de cultivo. Al objeto de establecer el orden de magnitud de las extracciones puede exponerse que para una producción del orden de 30 – 35 Ton, son aproximadamente de 140 – 160 Kg de N, de 30 a 50 Kg de P₂O₅ y 170 a 200 Kg. de K₂O. Los elementos extraídos se localizan preferentemente en los frutos en el caso del nitrógeno y del fósforo, mientras que en el caso del potasio, por el contrario, la mayor parte se encuentra en tallos y hojas, por que, las exportaciones reales se reducen considerablemente (Cuadro 2.3.).

En el caso de cultivos protegidos en los que las producciones son mucho más intensivas, la absorción total de elementos puede alcanzar niveles realmente notables, al desarrollarse la planta en medios de gran fertilidad y con abundante disponibilidad de elementos nutritivos, con independencia del nivel productivo obtenido que, en algunos casos, puede superar las 100 Ton/ha (Cuadro 2.4). Así, se han citado extracciones del orden de hasta 400 Kg de N, 120 Kg de P₂O₅ y 675 Kg de K₂O (Rodríguez, 1997).

Cuadro 2.4 Kg. de nutrientes extraídos por Ton de fruto fresco producido de Chile (Nuez et al., 1996).

| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg |
|---|------|-------------------------------|------------------|------|------|
| Anstett <i>et al.</i> (1965) Aire libre | 3.72 | 1.03 | 4.98 | 2.96 | 0.60 |
| Rodríguez <i>et al.</i> (1989) Aire libre | 3.30 | 0.93 | 5.75 | - | - |
| Martínez <i>et al.</i> (1989) Aire libre | 2.33 | 0.77 | 3.56 | - | - |
| Graifenberg <i>et al.</i> (1985) Invernadero | 5.25 | 0.67 | 6.69 | 4.81 | 0.64 |
| Rincón <i>et al.</i> (1993) Invernadero | 2.93 | 0.76 | 4.60 | 1.69 | 1.07 |

Según Graifenberg (1985) *et al.*, citado por Nuez *et al.* (1996 a), las extracciones del Chile en cultivo en invernadero son mayores en potasio y menores en fósforo que en pleno campo. Según Rincón *et al.* (1993) citado por Nuez *et al.* (1996 a), de las cantidades totales extraídas, los frutos exportan la mayor parte de nitrógeno (64%) y fósforo (75%), siendo el resto de órganos vegetativos (hojas, tallos y pecíolos) los que acumulan la mayor cantidad de calcio (95%) y magnesio (75%). El potasio es acumulado prácticamente en partes iguales por frutos y resto de órganos vegetativos. Según estos mismos autores, las mayores cantidades de nutrientes extraídas por el cultivo, se consumen desde la primera recolección hasta el final del periodo de cultivo, siendo las proporciones medias extraídas en esta etapa (100 – 165 días después del trasplante) del 70% de N, 79% de P₂O₅, 62% de K₂O, 54% de Ca y 65% de Mg. La extracción total de macronutrientes por el cultivo en Kg/ha es de: 293 de N, 76 de P₂O₅, 460 de K₂O, 121 de Ca y 63 de Mg (Nuez *et al.*, 1996 a).

2.9 Melón (*Cucumis melo* L.)

El melón es una cucurbitácea de importancia económica mundial. Generalmente la parte aprovechable de la planta es el fruto, dedicándose principalmente a la alimentación humana. Tiene un bajo valor nutritivo, su

contenido en agua oscila entre un 85 y un 95%, siendo su principal contribución a la alimentación el aporte de minerales y vitaminas (Nuez et al., 1996 b).

2.9.1 Clasificación Taxonómica

Clase: *Dicotyledoneae*

Subclase: *Dilleniidae*

Superorden: *Violanae*

Orden: *Cucurbitales*

Familia: *Cucurbitaceae*

Tribu: *Melothrieae*

Subtribu: *Cucumerinae*

Género: *Cucumis*

Subgénero: *Melo*

Especie: *Cucumis melo*

(Zapata et al., 1989)

2.9.2 Origen

El melón es una especie originaria del Viejo Mundo, estribando fundamentalmente las discrepancias en considerarlo originaria de África y/o Asia. No obstante aún se tienen escasos conocimientos sobre su lugar de origen y sobre su posible evolución hasta las formas actuales (Nuez et al., 1996 b).

2.9.3 Descripción botánica

Planta: Anual herbácea, de porte rastrero o trepador.

Sistema radicular: Abundante, muy ramificado y de rápido desarrollo.

Tallo principal: Están recubiertos de formaciones pilosas, y presentan nudos en los que se desarrolla hojas, zarcillos y flores, brotando nuevos tallos de las axilas de las hojas.

Hoja: De limbo orbicular ovado, reniforme o pentagonal, dividido en 3-7 lóbulos con los márgenes dentados. Las hojas también son vellosas por el envés.

Flor: Las flores son solitarias, de color amarillo y pueden ser masculinas, femeninas o hermafroditas. Las masculinas suelen aparecer en primer lugar sobre los entrenudos más bajos, mientras que las femeninas y hermafroditas aparecen más tarde en las ramificaciones de segunda y tercera generación, aunque siempre junto a las masculinas. El nivel de elementos fertilizantes influye en gran medida sobre el número de flores masculinas, femeninas y hermafroditas así como sobre el momento de su aparición. La polinización es entomófila.

Fruto: Su forma es variable (esférica, elíptica, aovada, etc.); la corteza de color verde, amarillo, anaranjado, blanco, etc., puede ser lisa, reticulada o estriada. La pulpa puede ser blanca, amarilla, cremosa, anaranjada, asalmonada o verdosa. La placenta contiene las semillas y puede ser seca, gelatinosa o acuosa, en función de su consistencia. Resulta importante que sea pequeña para que no reste pulpa al fruto y que las semillas estén bien situadas en la misma para que no se muevan durante el transporte (Nuez *et al.*, 1996 b).

2.9.4 Requerimientos Edafoclimáticos

La planta de melón es de climas cálidos y no excesivamente húmedos, de forma que en regiones húmedas y con escasa insolación su desarrollo se ve afectado negativamente, apareciendo alteraciones en la maduración y calidad de los frutos (Cuadro 2.5).

Humedad: Al inicio del desarrollo de la planta la humedad relativa debe ser del 65-75 %, en floración del 60-70 % y en fructificación del 55-65 %.

La planta de melón necesita bastante agua en el período de crecimiento y durante la maduración de los frutos para obtener buenos rendimientos y calidad.

Cuadro 2.5. Temperaturas críticas para melón en las distintas fases de desarrollo (Infoagro, 2003 b).

| | | Temperaturas |
|-------------------------------|--------|---------------------|
| Germinación | Mínima | 15° C |
| | Óptima | 22-28° C |
| | Máxima | 39° C |
| Floración | Óptima | 20-23° C |
| Desarrollo | Óptima | 25-30° C |
| Maduración del fruto | Mínima | 25° C |
| Helada | | 1° C |
| Detención de la vegetación | Aire | 13-15° C |
| | Suelo | 8-10° C |

Luminosidad: La duración de la luminosidad en relación con la temperatura, influye tanto en el crecimiento de la planta como en la inducción floral, fecundación de las flores y ritmo de absorción de elementos nutritivos.

El desarrollo de los tejidos del ovario de la flor está estrechamente influenciado por la temperatura y las horas de iluminación, de forma que días largos y temperaturas elevadas favorecen la formación de flores masculinas, mientras que días cortos con temperaturas bajas inducen el desarrollo de flores con ovarios.

Suelo: La planta de melón no es muy exigente en suelo, pero da mejores resultados en suelos ricos en materia orgánica, profundos, mullidos, bien drenados, con buena aireación y pH comprendido entre 6 y 7. Si es exigente en cuanto a drenaje, ya que los encharcamientos son causantes de asfixia radicular y podredumbres en frutos (Zapata *et al.*, 1989).

Es una especie de moderada tolerancia a la salinidad tanto del suelo (CE de 2,2 dS.m⁻¹) como del agua de riego (CE de 1,5 dS.m⁻¹), aunque cada incremento en una unidad sobre la conductividad del suelo dada supone una reducción del 7,5 % de la producción (Armengol y Badiola, 1997).

2.9.5 Requerimientos nutricionales

La cantidad de fertilizante que se aplica depende de muchos factores. En áreas particulares, los resultados se basan en las investigaciones y en experiencias anteriores con otros cultivos (Parsons, 1981).

2.9.5.1 Absorción de nutrientes

Nitrógeno. La deficiencia de nitrógeno produce una sintomatología en la planta que se manifiesta por un amarillamiento de las hojas, comenzando por las basales. El crecimiento de la planta disminuye con entrenudos cortos y hojas pequeñas. Cuando la deficiencia es extrema, el crecimiento se paraliza, el amarillamiento se intensifica generalizándose a toda la planta con defoliación de las hojas viejas.

Fósforo. En condiciones experimentales se ha manifestado inicialmente por una coloración verde oscura en hojas basales con una disminución el vigor de la planta y brotaciones débiles. Cuando la carencia se intensifica aparecen manchas cloróticas internerviales y borde de la hoja. La carencia de fósforo puede venir inducida por un exceso de Ca y elevado pH en el suelo.

Potasio. Los síntomas aparecen por un amarillamiento de las hojas basales permaneciendo verdes las hojas jóvenes, disminuyendo el desarrollo de la planta. Con deficiencia acusada, el amarillamiento se intensifica evolucionando a necrosamiento. En fruto aumenta la cavidad interior (frutos huecos) con disminución de la concentración de azúcares.

Calcio. Actualmente tiene baja incidencia en plantaciones comerciales. La sintomatología aparece en hojas jóvenes con la aparición de una coloración blanquecina en el borde de las hojas inhibiendo el crecimiento y curvándose hacia el envés. La coloración tiene distintos tonos de color verde, oscuros cerca de los nervios y más claros en la zona intermedia. Con deficiencia acusada puede aparecer el blossom end rot (podredumbre apical del fruto).

Magnesio. Carencia característica de fácil detección en campo. Tiene una incidencia media en plantaciones comerciales. La sintomatología se inicia en hojas adultas, apareciendo manchas amarillentas entre los nervios presentando un aspecto de moteado. Las hojas jóvenes se curvan haciéndose quebradizas. Con carencia más acusada, la hoja adquiere un tono amarillo apareciendo posteriormente zonas necróticas (Armengol y Badiola, 1997).

2.9.5.2 Extracción de elementos nutritivos

La información disponible en relación con la extracción de nutrientes por el cultivo está referida en la mayoría de los casos a valores de extracciones totales de macroelementos (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6 Extracciones totales de macroelementos del melón según diversos autores (Tomado de Armengol y Badiola, 1997).

| Fuente | Rendimiento Ton/ha | Nutrientes (Kg/ha) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|------|----|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg |
| Anstett (1965) | 67 | 283 | 137 | 503 | 295 | 46 |
| Chaux (1972) | 15-20 | 50 | 20 | 100 | - | - |
| Rincón y col. (1996) | 50-55 | 205 | 80 | 500 | 165 | 85 |
| Robin (1957) | 24 | 122 | 17 | 229 | - | - |
| Thomson & Kelly (1957) | 16.3 | 56.2 | 17.2 | 101.2 | 69.7 | 10 |

El melón es un cultivo con exigencia media en nutrientes. La frecuencia de la aportación de los fertilizantes será la misma que la del riego, evitando acumular cantidades que pudieran dar lugar a concentraciones elevadas de uno o más nutrientes en el bulbo, con riesgo de que se produzcan fenómenos de

antagonismo y sinergismo. Para mantener en el tiempo la concentración y equilibrio de los nutrientes en el suelo, el equilibrio de las cantidades de fertilizantes a aportar en el agua de riego deberá ser igual al de las extracciones realizadas por el cultivo (Armengol y Badiola, 1997).

2.10 Pepino (*Cucumis sativus* L.).

2.10.1 Descripción Taxonómica

Clase: *Dicotyledoneae*

Subclase: *Dilleniidae*

Superorden: *Violanae*

Orden: *Cucurbitales*

Familia: *Cucurbitaceae*

Género: *Cucumis*

Especie: *Cucumis sativus* L.

2.10.2 Origen

El pepino es originario del sudoeste de la India, donde se cultiva desde hace más de 4,000 años. De la India se extiende a Grecia y de ahí a Roma y posteriormente se introdujo en China. El cultivo de pepino fue introducido por los romanos en otras partes de Europa; aparecen registros de este cultivo en Francia en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y en Norteamérica a mediados del siglo XVI, ya que Cristóbal Colón llevó semillas a América (Parsons, 1981).

2.10.3 Descripción Botánica

Sistema radicular: Es muy potente, dada la gran productividad de esta planta y consta de raíz principal, que se ramifica rápidamente para dar raíces secundarias superficiales muy finas, alargadas y de color blanco. El pepino posee la facultad de emitir raíces adventicias por encima del cuello.

Tallo principal: Anguloso y espinoso, de porte rastrero y trepador. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores.

Hoja: De largo pecíolo, gran limbo acorazonado, con tres lóbulos más o menos pronunciados (el central más acentuado y generalmente acabado en punta), de color verde oscuro y recubierto de un vello muy fino.

Flor: De corto pedúnculo y pétalos amarillos. Las flores aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales, aunque los primeros cultivares conocidos eran monoicos y solamente presentaban flores masculinas y femeninas y en la actualidad todas las variedades comerciales que se cultivan son plantas ginoicas, es decir, sólo poseen flores femeninas que se distinguen claramente de las masculinas porque son portadoras de un ovario ínfero.

Fruto: Pepónide áspero o liso, dependiendo de la variedad, que vira desde un color verde claro, pasando por un verde oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, aunque su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica. La pulpa es acuosa, de color blanquecino, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto. Dichas semillas se presentan en cantidad variable y son ovales, algo aplastadas y de color blanco-amarillento (Maroto, 2002).

2.10.4 Requerimientos Edafoclimáticos

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de estos incide sobre el resto.

Temperatura: es menos exigente en calor que el melón, pero más que el calabacín (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.7. Temperaturas críticas para pepino en las distintas fases de desarrollo (Infoagro, 2003 c).

| Etapa de desarrollo | Temperatura (° C) | |
|-----------------------------|-------------------|----------|
| | Diurna | Nocturna |
| Germinación | 27 | 27 |
| Formación de planta | 21 | 19 |
| Desarrollo del fruto | 19 | 16 |

Las temperaturas que durante el día oscilen entre 20° C y 30° C apenas tienen incidencia sobre la producción, aunque a mayor temperatura durante el día, hasta 25° C, mayor es la producción precoz. Por encima de los 30° C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de fotosíntesis y respiración y temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17° C ocasionan malformaciones en hojas y frutos. El umbral mínimo crítico nocturno es de 12° C y a 1° C se produce la helada de la planta. El empleo de cubierta doble en invernaderos tipo parral supone un sistema útil para aumentar la temperatura y la producción del pepino.

Humedad: Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70% y durante la noche del 70-90%. Sin embargo, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la fotosíntesis, aunque esta situación no es frecuente.

Para humedades superiores al 90% y con atmósfera saturada de vapor de agua, las condensaciones sobre el cultivo o el goteo procedente de la cubierta, pueden originar enfermedades fúngicas. Además un cultivo mojado por la mañana empieza a trabajar más tarde, ya que la primera energía disponible deberá cederla a las hojas para poder evaporar el agua de su superficie.

Luminosidad: El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con

normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción.

Suelo: El pepino puede cultivarse en cualquier tipo de suelo de estructura suelta, bien drenado y con suficiente materia orgánica. Es una planta medianamente tolerante a la salinidad (algo menos que el melón), de forma que si la concentración de sales en el suelo es demasiado elevada las plantas absorben con dificultad el agua de riego, el crecimiento es más lento, el tallo se debilita, las hojas son más pequeñas y de color oscuro y los frutos obtenidos serán torcidos. Si la concentración de sales es demasiado baja el resultado se invertirá, dando plantas más frondosas, que presentan mayor sensibilidad a diversas enfermedades. El pH óptimo oscila entre 5,5 y 7 (Infoagro, 2003 c).

2.10.5 Requerimientos nutricionales

El ritmo de absorción de los elementos nutritivos es también muy similar al del melón, centrándose las épocas de mayor intensidad y exigencia desde la floración y cuajado de los frutos hasta la maduración (Rodríguez, 1997).

2.10.5.1 Absorción de nutrientes

El nitrógeno, en dosis moderadas, mejora la calidad y el rendimiento productivo. Con deficiencias la planta muestra una coloración verde pálida muy generalizada, los síntomas aparecen en las hojas inferiores y se desplazan hacia las superiores. Es de difícil observación. El crecimiento disminuye drásticamente. La sintomatología es fácil de observar en los frutos. Estos presentan un estrechamiento en su extremo al que se denomina "chupado" (Casas y Casas, 1999).

El fósforo es el elemento más crítico cuando escasea, siendo su deficiencia la de mayor repercusión práctica incidiendo de modo notable sobre la calidad del fruto (Rodríguez, 1997). El síntoma de carencia aparece en las

hojas bajas. Estas muestran unas manchas de color marrón, de distribución irregular sobre la lámina, y que se mueven hacia las hojas superiores. Su sintomatología recuerda al de un mildiu recién tratado (Casas y Casas, 1999).

Por último, en el caso del potasio, elemento absorbido en grandes cantidades por este cultivo, es aconsejable utilizar preferentemente la forma de sulfato cuando las dosis a aplicar sean importantes o cuando exista riesgo de salinidad, dado que es un cultivo bastante sensible al cloro (Rodríguez, 1997). La carencia se muestra en las hojas bajas con un borde amarillento, que se desplaza hacia el interior de la lámina y se mueve hacia la zona superior de la planta. El síntoma inmediato es un acortamiento de los entrenudos, unido a un estrechamiento de los frutos junto al pedúnculo. El estrechamiento aparece en el extremo opuesto al del nitrógeno. Su origen puede estar motivado por inadecuados abonados cuando se utilizan relaciones altas N/K. Excesos en calcio y magnesio soluble en el suelo pueden bloquear de manera drástica la absorción de potasio (Casas y Casas, 1999).

En el caso del Calcio, el síntoma de la carencia se muestra con un borde blanquecino en las hojas jóvenes. Su característica es muy peculiar, mostrando un curvamiento hacia el envés de la hoja. Una alta humedad relativa por lo general asociada a una disminución de luz, impide la absorción de calcio por el sistema radicular. Es un claro accidente climático. En estos casos se deberá aplicar calcio vía foliar, aunque los niveles en el suelo sean los correctos. El exceso de potasio bloquea de manera significativa la absorción de calcio, llegando a producir curvamientos de los frutos.

Con deficiencias de Magnesio se presenta una decoloración amarilla internervial, que se mueve desde el centro de la hoja hacia los bordes y de las hojas inferiores a las superiores. En el caso de carencia con síntoma visible claro es muy fácil de observar que el borde de la hoja permanece verde (Casas y Casas, 1999).

2.10.5.2 Extracción de elementos nutritivos

Las extracciones de pepino con una producción de unas 30 Ton/ha, puede ser de: N 50 Kg, P₂O₅ 30 – 40 Kg, y K₂O 70 – 80 Kg, por lo que las recomendaciones de abonado pueden ser de Nitrógeno 80 – 120 Kg de N, fósforo 50 – 100 Kg de P₂O₅ y 80 – 200 Kg de K₂O, esto para cultivos normales. En el caso de cultivo forzado, estas dosis habrá que multiplicarlas por 3 o 4 (Guerrero, 1996).

2.11 Sandía (*Citrullus lannatus* Thunb. Matsum & Nakai)

La sandía es una hortaliza de gran importancia a nivel mundial, el principal uso de la sandía es como fruto dulce y refrescante. La carne tiene un elevado contenido en agua, la mayor parte comestible del fruto proviene de la placenta.

2.11.1 Clasificación Taxonómica

Clase: *Dicotyledoneae*

Subclase: *Dilleniidae*

Superorden: *Violanae*

Orden: *Cucurbitales*

Familia: *Cucurbitaceae*

Subfamilia: *Cucurbitoidae*

Tribu: *Benincaseae*

Género: *Citrullus*

Especie: *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai.

2.11.2 Origen

La sandía es una especie oriunda del viejo Mundo, existiendo la opinión generalizada de que es originaria de África (Nuez *et al.*, 1998).

2.12.3 Descripción Botánica

Planta: Anual herbácea, de porte rastrero o trepador.

Sistema radicular: Muy ramificado. Raíz principal profunda y raíces secundarias distribuidas superficialmente.

Tallos: de desarrollo rastrero. En estado de 5-8 hojas bien desarrolladas el tallo principal emite las brotaciones de segundo orden a partir de las axilas de las hojas. En las brotaciones secundarias se inician las terciarias y así sucesivamente, de forma que la planta llega a cubrir 4-5 metros cuadrados. Se trata de tallos herbáceos de color verde, recubiertos de pilosidad que se desarrollan de forma rastrera, pudiendo trepar debido a la presencia de zarcillos bífidos o trífidos, y alcanzando una longitud de hasta 4-6 metros.

Hoja: Peciollada, pinnado-partida, dividida en 3-5 lóbulos que a su vez se dividen en segmentos redondeados, presentando profundas entalladuras que no llegan al nervio principal. El haz es suave al tacto y el envés muy áspero y con nerviaciones muy pronunciadas. El nervio principal se ramifica en nervios secundarios que se subdividen para dirigirse a los últimos segmentos de la hoja, imitando la palma de la mano.

Flores: De colores amarillos, solitarios, pedunculados y axilares, atrayendo a los insectos por su color, aroma y néctar (flores entomógamas), de forma que la polinización es entomófila. La corola, de simetría regular o actinomorfa, está formada por 5 pétalos unidos en su base. El cáliz está constituido por sépalos libres (dialisépalo o corisépalo) de color verde. Existen dos tipos de flores: Masculinas o estaminadas y femeninas o pistiladas, coexistiendo los dos sexos en una misma planta, pero en flores distintas (flores unisexuales). Las flores masculinas disponen de 8 estambres que forman 4 grupos soldados por sus filamentos.

Las flores femeninas poseen estambres rudimentarios y un ovario ínfero veloso y ovoide, que se asemeja en su primer estadio a una sandía del tamaño de un hueso de aceituna (fruto incipiente), por lo que resulta fácil diferenciar entre flores masculinas y femeninas. Estas últimas aparecen tanto en el brote principal como en los secundarios y terciarios, con la primera flor en la axila de la séptima a la décimo primera hoja del brote principal. Existe una correlación entre el número de tubos polínicos germinados y el tamaño del fruto.

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 kilogramos. El color de la corteza es variable, pudiendo aparecer uniforme (verde oscuro, verde claro o amarillo) o a 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).

2.11.4 Requerimientos Edafoclimáticos

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 germinación. Cuando las diferencias de temperatura entre el día y la noche son de 20-30° C, se originan desequilibrios en las plantas: en algunos casos se abre el cuello y los tallos y el polen producido no es viable (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.8. Temperaturas críticas para sandía en las distintas fases de desarrollo. (infoagro, 2003 e)

| Etapa de desarrollo | Temperatura (° C) | |
|----------------------------|-------------------|-----------|
| | Mínima | Óptima |
| Germinación | 15 ° C | 25 ° C |
| Formación de planta | | 18-20 ° C |
| Desarrollo | | 23-28 ° C |
| Maduración del fruto | | 23-28 ° C |
| Helada | 0 ° C | |
| Detención de la vegetación | 11-13 ° C | |

Humedad: La humedad relativa óptima para la sandía se sitúa entre 60 % y el 80%, siendo un factor determinante durante la floración.

Suelo: La sandía no es muy exigente en suelos, aunque le van bien los suelos bien drenados, ricos en materia orgánica y fertilizantes. No obstante, la realización de la técnica del enarenado hace que el suelo nos sea un factor limitante para el cultivo de la sandía, ya que una vez implantado se adecuará la fertirrigación al medio.

2.11.5 Requerimientos nutricionales

El desarrollo vegetativo que ocupa algo 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 crecimiento del fruto (Rodríguez, 1997).

2.11.5.1 Absorción de nutrientes

La sandía presenta un comportamiento similar al cultivo del melón. Con la deficiencia de nitrógeno la planta presenta una coloración de amarillo – verdosa a amarilla. Sus síntomas aparecen en las hojas basales, moviéndose de abajo a arriba. El crecimiento de la planta se paraliza y el tamaño de las hojas se reduce. Un exceso de nitrógeno provoca un aumento de vegetación,

afectando de manera muy directa a la floración. Cuando las relaciones N/K son elevadas se observa una clara disminución en el contenido de azúcares en el fruto, llegando a pasar de doce a 9 grados de azúcar. Por consiguiente, ocasiona una pérdida de calidad en éstos.

Con deficiencias del elemento fósforo las hojas presentan una coloración verde oscura. Los síntomas aparecen en las hojas viejas, moviéndose hacia la parte superior de la planta. El tamaño de las hojas se reduce considerablemente. No es fácil de observar en el campo. Su carencia está relacionada con excesos de calcio o potasio en el suelo. Los pH elevados inhiben su absorción por parte del sistema radicular.

Los síntomas de la carencia de Potasio aparecen en el borde de las hojas viejas, presentando una decoloración que aumentará hasta necrosarse conforme aumenta la carencia. Esta se desplaza desde las hojas viejas a las jóvenes. La planta disminuye su crecimiento y se aprecia un acortamiento en los entrenudos. A nivel de fruto se puede ver un aumento de la cavidad de éstos y una disminución en el contenido de azúcares. Asociado a la carencia de potasio puede observarse un aumento en los contenidos de nitrógeno foliar. Esto puede inducir problemas de tipo fúngico.

La sandía es una cucurbitácea susceptible al BER, especialmente los cultivares de frutos cilíndricos. Este desorden se desarrolla durante la maduración de los frutos, en el verano. Está asociado a temperaturas altas, baja humedad y niveles de Conductividad Eléctrica (CE) en el suelo elevados. A diferencia del BER del tomate, no empeora por niveles altos en nitrógeno amoniacal. Parece ser que los cultivares de frutos esféricos no son, por lo general, susceptibles de este desorden nutricional.

La sintomatología de la carencia de Magnesio aparece en las hojas bajas. Esta carencia presenta una decoloración internervial desplazándose

desde el interior de la lámina hasta el borde y de la parte inferior a la superior de la planta. Esta carencia suele deberse a excesos en los contenidos de potasio o calcio en el suelo, que compiten con el magnesio en la absorción. Los bajos niveles de fertilización son otra causa de esta carencia (Casas y Casas, 1999).

2.10.5.2 Extracción de elementos nutritivos

Las extracciones para producciones normales del orden de 15 – 20 Ton / ha son del orden de 50 – 60 Kg. de N, 20 Kg de P_2O_5 y 100 Kg de K_2O . En cultivos forzados o enarenados las extracciones son naturalmente mucho más altas (Rodríguez, 1997).

Para producciones de 15 – 20 Ton/ha, las extracciones pueden estimarse aproximadamente en: 50 – 60 Kg de N, 20 Kg de P y 100 Kg. de K_2O . Se recomienda una fertilización para cultivos forzados: Nitrógeno 180 – 300 Kg, fósforo 120 – 220 Kg de P_2O_5 y potasio de 200 – 400 Kg de K_2O / ha (Guerrero, 1996).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del Experimento

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Sonora, ubicado en Ciudad Obregón, municipio de Cajeme, Sonora, localizada entre los paralelos 27° 29' 21" de latitud norte y meridianos 109° 56' 06" de longitud Oeste, a una altitud de 40 msnm.

3.2 Clima

El sitio del experimento presenta el siguiente clima según Köppen modificado por García (1969): Seco y muy seco (BS), (h') hw (e') con temperaturas cálidas extremosas; con una precipitación media anual de 410 milímetros de verano; cubre la mayor parte del territorio al norte y al este.

3.2.1 Temperatura

La temperatura media anual es $> 24^{\circ}$ C, las temperaturas medias máxima son de 31° C y se presentan en los meses de junio a septiembre, con una máxima de 48° C. Las temperaturas medias mínimas son de 16° C y se presentan en el mes de enero.

La temporada de heladas se tiene a finales de diciembre y febrero; otros fenómenos meteorológicos como ciclones y vientos huracanados, se observan al final del verano y a principio del otoño (SEMARNAT, 2002).

3.2.2 Precipitación

Durante el año 2002 se registró una precipitación de 193.2 mm en el Valle del Yaqui, aunque el promedio anual de los años 1968 – 2002 es de 374.4 mm anuales; siendo el 3º trimestre del año en el que se acumulan las máximas precipitaciones, concretamente en el mes de Agosto con un volumen de 105.4 mm. (CNA, 2002).

3.3 Fisiografía

El sitio del experimento está ubicado fisiográficamente en la Llanura Costera del Pacífico la cual está formada por una planicie aluvial angosta paralela a la costa del Mar de Cortés, que se desarrolló debido al avance lento de los deltas de los ríos Yaqui y Mayo. Se encuentra formada casi en su totalidad por depósitos de arena no consolidados del Cuaternario. Hacia el oriente, rumbo a la Sierra Madre Occidental, se localizan cuerpos intrusivos y una secuencia de calizas y lutitas del Cretácico. Otras rocas distribuidas en esta región son areniscas y conglomerados del Terciario Inferior (Gobierno de Sonora, 2002).

3.4 Suelo

El municipio de Cajeme y concretamente Ciudad Obregón se encuentran dentro de la planicie costera noroccidental en la subregión Valle del Yaqui, en donde predominan suelos profundos de texturas medias (Cuadro 3.1.) los cuales se clasifican según Cuanalo *et al.*, (1989) como:

Cuadro 3.1. Clasificación de suelos encontrados en el Valle del Yaqui.

| NOMBRE | EXTENSIÓN (%) |
|-----------------|---------------|
| Xerosol lúvico | 42 |
| Yermosol lúvico | 20 |
| Regosol eútrico | 12 |
| Luvisol crómico | 8 |
| Litosol | 6 |

3.5 Vegetación

La vegetación nativa en el municipio de Cajeme es el Matorral, observándose especies como *Larrea tridentata* (Gobernadora), *Prosopis juliflora* (Mezquite), *Cercidium microphyllum* (Palo verde), *Jatropha cinerea* (Sangregrado).

Además se cuenta con una gran extensión agrícola denominada "Valle del Yaqui" en la que se produce gran variedad de cultivos tanto básicos como hortícolas entre los que destacan el Trigo, la soya, maíz para grano, cártamo, algodón, sandía, y perennes como alfalfa y naranja (Gobierno de Sonora, 2002).

3.6 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.

3.7 Desarrollo del experimento

El experimento se realizó durante los meses de Julio y Agosto del 2002, iniciándose con la siembra de los cultivos en vasos de unicel del número 10 con capacidad de 300 cc.

Se establecieron 8 tratamientos y 1 testigo con cuatro repeticiones (cuadro 3.2), bajo un diseño experimental de Bloques completamente al azar.

Cuadro 3.2. Tratamientos de fertilización usados en el experimento en Kg/Ha.

| Tratamiento: | N | P | K | Ca | Mg |
|--------------|-----|-----|-----|----|----|
| 1 | 50 | 50 | 50 | 25 | 25 |
| 2 | 100 | 50 | 100 | 0 | 0 |
| 3 | 150 | 100 | 100 | 25 | 25 |
| 4* | 200 | 150 | 150 | 0 | 0 |
| 5 | 250 | 150 | 200 | 0 | 0 |
| 6 | 300 | 150 | 300 | 25 | 25 |
| 7 | 350 | 200 | 300 | 0 | 0 |
| 8 | 400 | 200 | 400 | 0 | 0 |
| 9 | 450 | 250 | 300 | 25 | 25 |

*Testigo Regional

Se colocaron aproximadamente 27.8 g de sustrato comercial Sunshine número 3 por vaso y se humedeció a capacidad de campo para posteriormente colocar una semilla de cada especie por recipiente. Las especies utilizadas fueron calabaza (*Cucurbita pepo* L. var. Raven), chile (*Capsicum annum* L. var. Caloro), melón (*Cucumis melo* L var. Cruiser), pepino (*Cucumis sativus* L. var. Mateo), sandía (*Citrullus Lannatus* var. Sangría).

Las fuentes de fertilizantes utilizadas en el experimento fueron; Urea, Fosfato monoamónico (18 – 46 – 00), Nitrato de Calcio, Nitrato de Potasio y Sulfato de Magnesio. La cantidad requerida por cada tratamiento se calculó para cada uno de los recipientes (27.8 g) y se pesaron por separado en la balanza Ohaus semianalítica. Por lo tanto, los tratamientos quedaron establecidos tal y como se muestran en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Cantidad de fertilizante aplicado por tratamiento para cada repetición en mg.

| Tratamientos | Urea | Nitrato de Potasio | Fosfato Monoamónico (18 – 46 - 00) | Nitrato de Calcio | Sulfato de Magnesio |
|--------------|-------|--------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 0.176 | 1.59 | 1.37 | 1.88 | 1.12 |
| 2 | 1.95 | 1.95 | 3.17 | | |
| 3 | 2.54 | 3.17 | 2.75 | 1.88 | 1.12 |
| 4* | 3.98 | 4.76 | 4.12 | | |
| 5 | 3.57 | 6.35 | 4.12 | | |
| 6 | 5.21 | 9.52 | 4.12 | 1.88 | 1.12 |
| 7 | 7.07 | 9.52 | 5.49 | | |
| 8 | 7.80 | 12.7 | 5.49 | | |
| 9 | 9.20 | 9.51 | 6.87 | 1.88 | 1.12 |

* Testigo

La fertilización se realizó una vez que la planta presentó la primer hoja verdadera en una sola dosis, precedida de un riego ligero. Cabe señalar que los riegos se realizaron conforme a la demanda de agua del sustrato para tenerlo continuamente al 80% de la capacidad de campo.

3.8 Variables del experimento

Las variables evaluadas fueron las siguientes; clorofila, fotosíntesis, transpiración, tasa relativa de crecimiento de tallo y hoja, area foliar, longitud de raíz, peso volumétrico de raíz y peso seco aéreo y de raíz. A continuación se describe brevemente el proceso de medición de cada una de las variables señaladas.

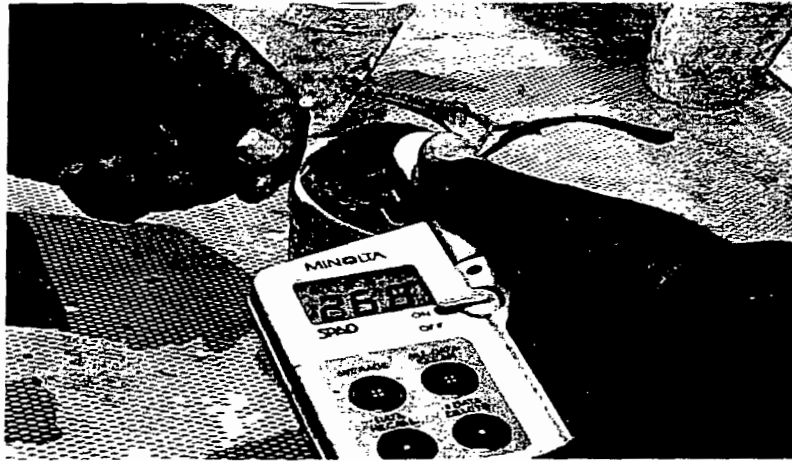


Fig. 3.1. Determinación de Clorofila con SPAD minolta.

3.8.1 Clorofila

El contenido de clorofila se determinó con el SPAD 502 (Minolta) 24 horas de aplicados los fertilizantes, midiéndola en la primer hoja verdadera de cada plántula (Fig. 3.1) y repitiendo la determinación durante los siguientes 7 días. Se realizaron 3 prensados en diferentes sitios de la hoja y se promedió el resultado para la obtención del índice de clorofila presente en cada hoja.

3.8.2 Tasa de asimilación de CO₂ y Transpiración

Las tasas de asimilación de CO₂ y de Transpiración se midieron con el Sistema Analizador de Gases al Infrarrojo (IRGA de PP Systems CIRAS-1), a partir de las 11:00 a. m., que es cuando se presenta una mayor radiación solar (Fig. 3.2). La toma de datos se inició 24 horas después de la aplicación de los fertilizantes, evaluándolos durante 7 días continuos (al igual que en la clorofila), realizando las mediciones en la primer hoja verdadera de cada planta.

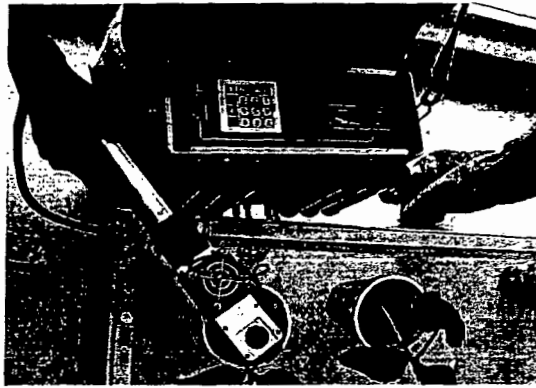


Fig. 3.2. Medición de tasas fotosintéticas y de transpiración con IRGA

3.8.3 Tasa Relativa de Crecimiento (TRC)

Para determinar la tasa relativa de crecimiento (TRC) se tomó la medida de la primer hoja verdadera cada 5 días en 4 ocasiones; iniciando la medición 24 horas después de la aplicación de los tratamientos. Esta medición se realizó de la forma señalada, debido a que aproximadamente en este lapso de tiempo la hoja alcanza su madurez fisiológica, llega al punto en que no crece más, iniciándose el proceso de senescencia de dicha hoja. El procedimiento para obtener la tasa relativa de crecimiento del tallo se hizo de la misma manera, midiendo desde el cuello de la planta hasta el ápice de crecimiento principal.

3.8.4 Área Foliar

La medición de área foliar (AF) se efectuó después de concluidas las determinaciones de la tasa relativa de crecimiento. Se cortaron y separaron las hojas de cada planta y se determinó su superficie foliar utilizando un medidor portátil de área foliar (ADC-AM100-001).

3.8.5 Longitud de Raíz

Después de medir el área foliar, se procedió a lavar con agua corriente el resto de la planta para eliminar restos de sustrato o cualquier interferencia. Posteriormente se separó la raíz del tallo y se procedió a medir la longitud de la raíz principal de cada planta, desde el cuello de ésta hasta la punta de la raíz.

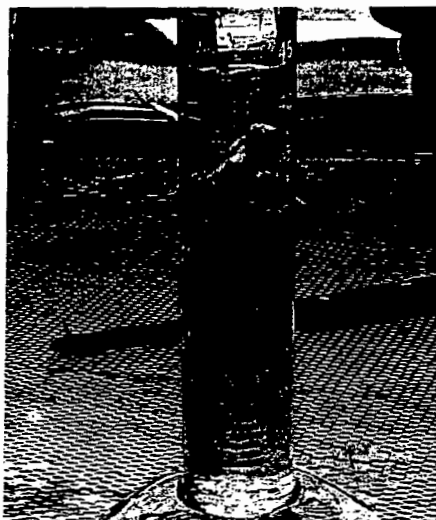


Fig. 3.3. Determinación del Peso Volumétrico.

3.8.6 Peso volumétrico de raíz

El peso volumétrico de la raíz se determinó utilizando una probeta graduada de 50 ml (Fig. 3.3). Se agregó un volumen de agua conocido (40 ml) y se introdujo toda la zona radical, tomándose la medida del volumen desplazado por la misma dentro de la probeta.

3.8.7 Peso Seco

Por último, se determinó el peso seco de la zona aérea (tallo y hojas) y de la raíz separadamente. Las muestras de tejidos se depositaron en bolsas de papel de estraza previamente identificadas y se introdujeron en un horno de secado (FELISA) calibrado a una temperatura de 65° C por 24 horas, con el propósito de eliminar toda el agua, pasado este tiempo se pesó cada unidad en una balanza semianalítica (Ohaus).

3.9 Análisis Estadístico

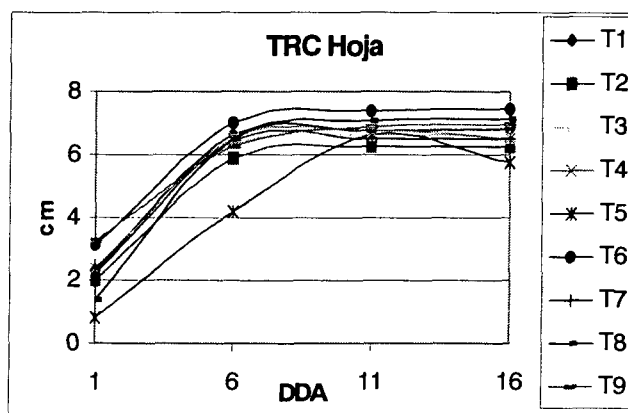
El análisis estadístico de los datos de las variables obtenidas durante el experimento se realizó con el Paquete de diseños experimentales de la Facultad de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Versión 2.5. El procedimiento de comparación de datos se realizó mediante el Análisis de Varianza.

4 RESULTADOS

Los resultados logrados con la presente investigación, para su descripción, se organizaron de la siguiente manera; (1) primero se agruparon los cultivos por orden alfabético, ya que para nuestra investigación todos los cultivos son importantes, (2) la descripción de la información obtenida se procesó de la siguiente forma; (a) primero se tomó en cuenta la morfología de la planta, (b) en cada sección morfológica los datos se agrupan de acuerdo a la cronología con la cual se fueron desarrollando. A continuación se reportan los resultados obtenidos.

4.1 CALABAZA

4.1.1 Tasa Relativa de Crecimiento de hoja (TRC Hoja)



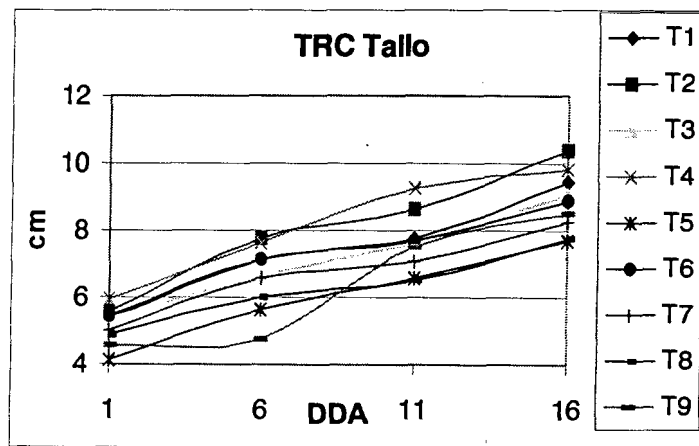
DDA: Días Después de aplicado

Fig. 4.1 Efecto de la nutrición vegetal en la tasa acumulativa de crecimiento de la hoja en el cultivo de Calabaza (*Cucurbita pepo*).

En el caso de la hoja, la mayor tasa relativa de crecimiento se presentó con el tratamiento 8, con 0.37 cm/día (Fig 4.1), siendo un 35% superior que el crecimiento reportado por el testigo, aunque sin diferencia significativa sobre los otros tratamientos.

4.1.2 Tasa Relativa de Crecimiento de tallo (TRC Tallo)

Sin diferencia significativa, el tratamiento 2 mostró una tasa de crecimiento mayor que los demás, con 0.32 cm/día y un 16% de diferencia con respecto al testigo (Fig. 4.2).



DDA: Días Después de aplicado

Fig. 4.2. Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) del tallo en el cultivo de Calabaza (*Cucurbita pepo*).

4.1.3 Clorofila

Durante el seguimiento de los niveles en el índice de clorofila en la calabaza, la tendencia en la mayoría de los tratamientos mostró los niveles mayores 24 horas después de la aplicación de los tratamientos, con decremento de los mismos con el paso de los días (Fig. 4.3). El mejor nivel de concentración en el índice de clorofila se obtuvo en el tratamiento 6 con diferencias significativas, durante los días 1, 4 y 5. Este tratamiento fue el que mantuvo niveles más altos en el índice de clorofila con respecto al resto de los tratamientos, 4.6% con respecto al testigo.

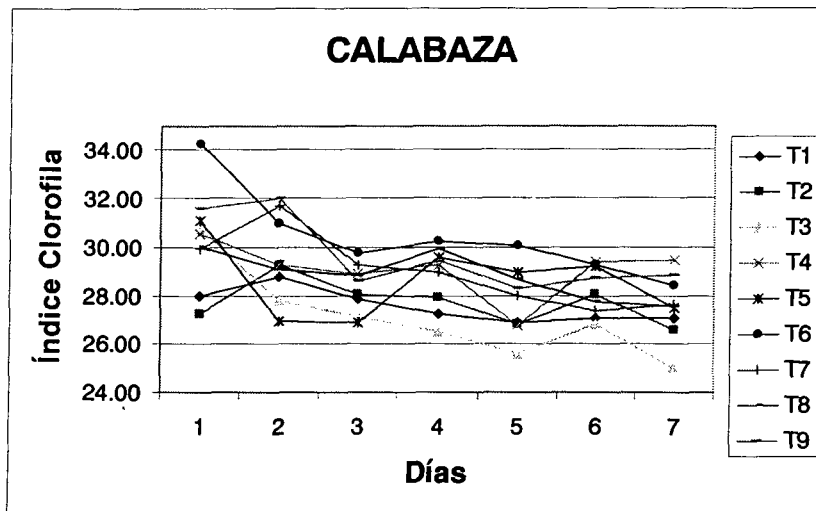


Fig. 4.3. Efecto de la nutrición vegetal sobre la clorofila en el Cultivo de Calabaza (*Cucurbita pepo*).

4.1.4 Tasa de asimilación de CO₂

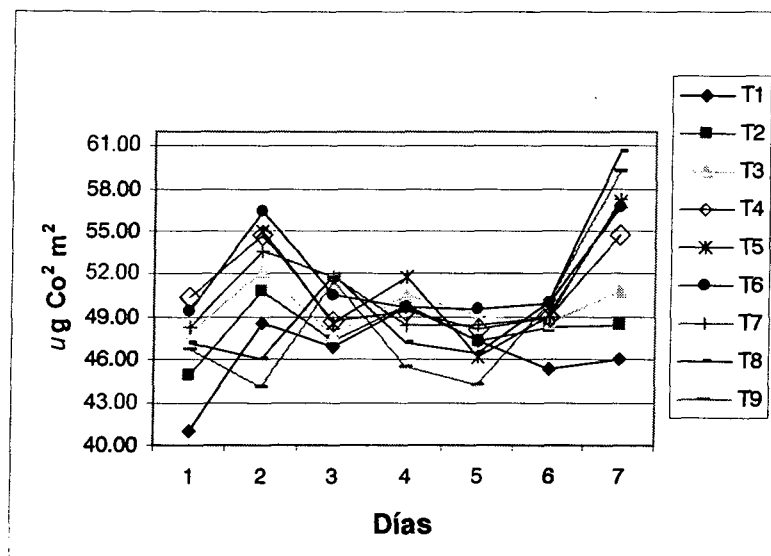


Fig. 4.4. Efecto de la nutrición vegetal sobre los niveles fotosintéticos en el cultivo de Calabaza (*Cucurbita pepo*).

Las tasas de asimilación de CO₂ en estas plantas estuvieron muy inestables (Fig. 4.4), se mostró un ascenso en los niveles el segundo día después de la aplicación de los tratamientos, excepto en los tratamientos 8 y 9 los cuales mostraron respuesta hasta el tercer día. Posteriormente se presentaron disminuciones en las tasas de asimilación de CO₂, hasta el 7º día,

en donde se manifestó un importante aumento en dichas tasas, y que fue el máximo nivel alcanzado por los tratamientos (excepto tratamientos 1, 2 y 3). El tratamiento 6 tuvo un promedio mayor en los niveles de asimilación de CO₂ durante los 7 días posteriores a la aplicación, teniendo una diferencia estadística el segundo y quinto día.

4.1.5 Transpiración

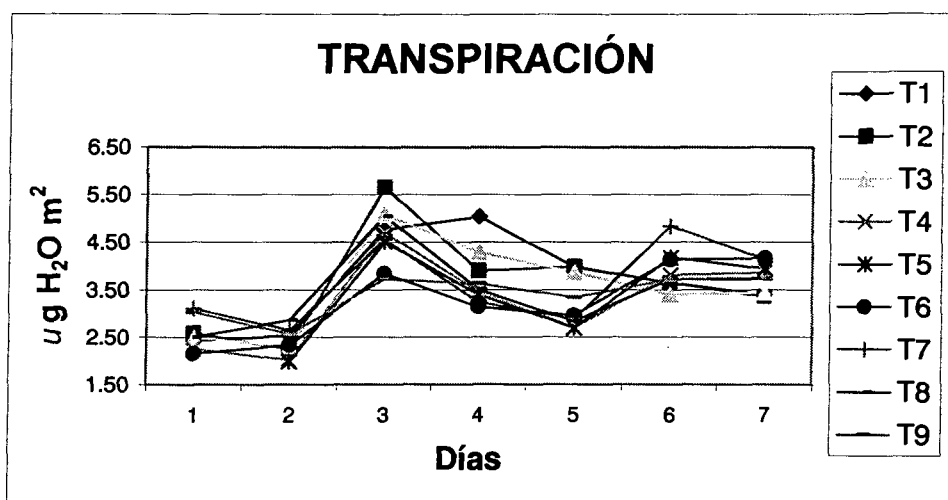


Fig. 4.5. Efecto de la nutrición vegetal sobre la transpiración en el cultivo de Calabaza (*Cucurbita pepo*).

En este cultivo las tasas transpiratorias se mantuvieron inestables durante los 7 días en los cuales se hicieron las lecturas de esta variable (Fig. 4.5). El tercer día posterior a la aplicación de los fertilizantes se observó un sensible aumento en las tasas transpiratorias en todos los tratamientos, las cuales disminuyeron en los días 4 y 5, teniendo un leve aumento hasta el sexto día.

Los tratamientos 1 y 2 en promedio tuvieron una mayor tasa de transpiración durante los 7 días posteriores a la aplicación de los tratamientos estudiados, aproximadamente 13% más transpiración en comparación con el testigo.

4.1.6 Área foliar

A diferencia de la tasa de crecimiento, el área foliar se vio beneficiada por el tratamiento 6 aunque sin diferencia significativa con 199 cm² de área foliar, representando un 16% más que el área foliar del testigo (Cuadro 4.1).

4.1.7 Peso seco aéreo

Al igual que el área foliar, con el tratamiento 6 se obtuvo un mayor peso seco de la porción aérea de la planta, 34% mayor que el testigo; observándose una diferencia significativa (Cuadro 4.1.)

En el cuadro 4.1 se presentan los valores medios de cada tratamiento obtenidos en el cultivo de calabaza para las variables longitud de raíz, peso volumétrico de raíz, peso seco de raíz, área foliar y peso seco aéreo.

Cuadro 4.1. Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes del cultivo de Calabaza (*Cucurbita pepo*) var. Raven en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero.

| Trat. | Longitud Raíz (cm) | Peso Volumétrico (ml) | Peso Seco Raíz (g) | Área Foliar (cm ²) | Peso Seco Aéreo * (g) |
|-------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1 | 24.800 | 3.500 | 0.175 | 153.70 | 0.700 a |
| 2 | 26.675 | 2.500 | 0.100 | 154.97 | 0.675 a |
| 3 | 25.225 | 3.500 | 0.200 | 174.22 | 0.750 a |
| 4 | 30.325 | 3.500 | 0.150 | 164.60 | 0.7250 a |
| 5 | 23.325 | 2.750 | 0.125 | 134.76 | 0.5750 a |
| 6 | 20.625 | 2.500 | 0.175 | 199.17 | 0.975 b |
| 7 | 23.025 | 3.000 | 0.175 | 165.39 | 0.700 a |
| 8 | 18.975 | 2.500 | 0.125 | 169.47 | 0.750 a |
| 9 | 20.825 | 2.750 | 0.150 | 161.26 | 0.750 a |

* dms: 0.189, cv: 17.8%

Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, p <0.05)

4.1.8 Longitud de raíz

En este caso, la mayor longitud de raíz se observó con el tratamiento usado como testigo regional (tratamiento 4) con 30.32 cm de largo, aunque sin diferencia significativa (Cuadro 4.1).

4.1.9 Peso volumétrico de Raíz

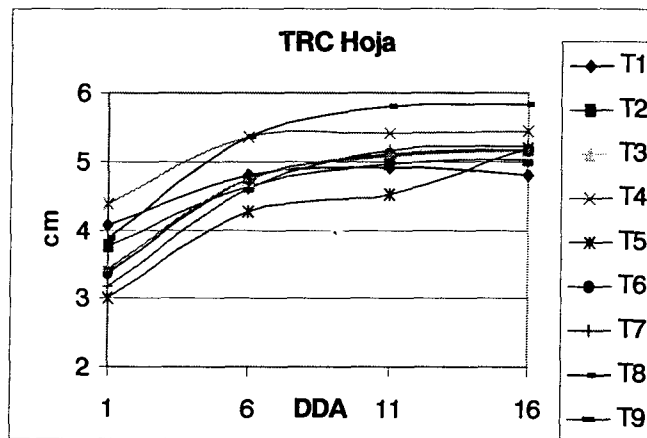
El peso volumétrico de la raíz no tuvo mucha variación entre la mayoría de los tratamientos excepto en 1, 3 y 4 que fueron los que tuvieron un volumen de desplazamiento alto (3.5 ml respectivamente), sin diferencia estadística significativa (Cuadro 4.1).

4.1.10 Peso seco de raíz

El mayor peso en seco de la raíz lo presentó el tratamiento 3, con una diferencia de 33% con respecto al testigo, pero sin diferencia significativa sobre los demás tratamientos (Cuadro 4.1).

4.2 CHILE

4.2.1 Tasa relativa de crecimiento de hoja (TRC Hoja)

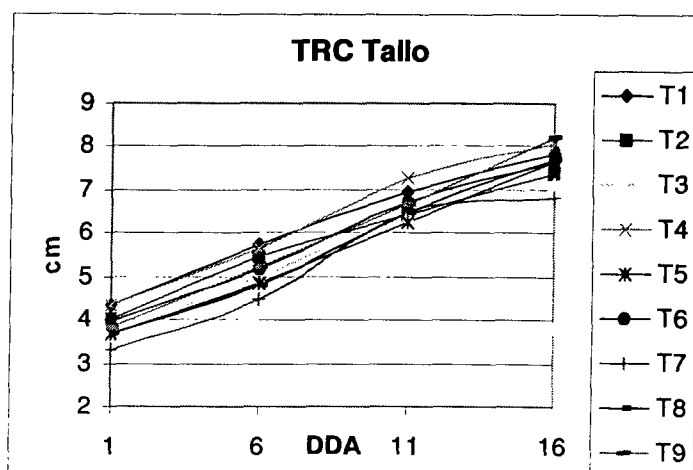


DDA: Días Después de aplicado

Fig. 4.6. Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) de la hoja en el cultivo de Chile (*Capsicum annum*).

En esta variable, con el tratamiento 7 se observó la mejor respuesta con una tasa de crecimiento de 0.24 cm/día en la primera hoja verdadera (Fig. 4.6), siendo este valor dos veces mayor que el testigo y presentando diferencia significativa.

4.2.2 Tasa relativa de crecimiento de tallo (TRC Tallo)



DDA: Días Después de aplicado

Fig. 4.7. Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) en el cultivo de Chile (*Capsicum annum*).

El tratamiento 9 mostró la respuesta más favorable con 0.29 cm/día, 17% más que el testigo, sin diferencia significativa sobre los demás tratamientos (Fig. 4.7)

4.2.3 Clorofila

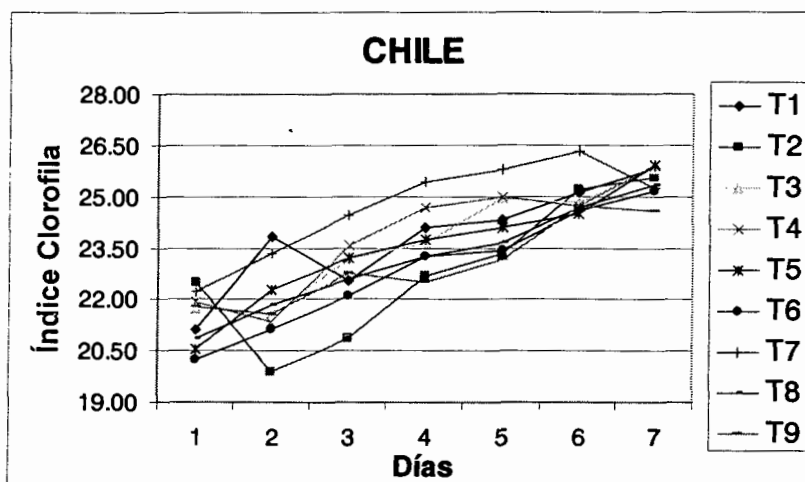


Fig. 4.8. Efecto de la nutrición vegetal sobre la Clorofila en el cultivo de Chile (*Capsicum annum*).

En esta especie se mostró una tendencia ascendente: conforme pasaron los días, el índice de clorofila fue aumentando y en este caso el mejor resultado se observó con el tratamiento 7 aunque sin diferencias significativas sobre los otros tratamientos y tan sólo 3.37% mayor que el testigo (Fig. 4.8).

4.2.4 Área foliar

Con diferencias significativas, el tratamiento 8 tuvo la máxima área foliar de entre los tratamientos (116.8 cm²), representando 31% más superficie que el testigo regional (Cuadro 4.2).

4.2.5 Peso seco aéreo

Al igual que el área foliar, el tratamiento 8 presentó un mayor peso de entre los tratamientos, lográndose un peso 13% mayor que el testigo, aunque sin diferencia significativa.

En el cuadro 4.2 se presentan los valores medios de cada tratamiento obtenidos en el cultivo de chile, los valores con letras iguales indican grupos estadísticos similares.

Cuadro 4.2. Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes en la zona radicular del cultivo de Chile (*Capsicum annum*) var. Caloro en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero.

| Trat. | Longitud Raíz (cm) | Peso Volumétrico (ml) | Peso Seco Raíz (g) | Área Foliar * (cm ²) | Peso Seco Aéreo (g) |
|-------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 1 | 17.700 | 1.000 | 0.077 | 67.67 d | 0.133 |
| 2 | 19.333 | 1.667 | 0.084 | 78.48 cd | 0.141 |
| 3 | 15.667 | 1.667 | 0.120 | 81.44 cd | 0.240 |
| 4 | 16.567 | 1.667 | 0.119 | 89.17 bcd | 0.279 |
| 5 | 22.067 | 1.667 | 0.128 | 97.30 abc | 0.271 |
| 6 | 25.467 | 1.000 | 0.272 | 88.93 bcd | 0.261 |
| 7 | 21.867 | 2.333 | 0.148 | 111.50 ab | 0.308 |
| 8 | 19.133 | 1.333 | 0.107 | 116.83 a | 0.315 |
| 9 | 18.567 | 1.333 | 0.124 | 112.90 ab | 0.273 |

* dms: 26.78 , cv: 16.64%

Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, p <0.05)

4.2.6 Longitud de raíz

Sin diferencia significativa el tratamiento 6 tuvo una mayor longitud de raíz en comparación con los demás tratamientos y un 53% mayor en su extensión radicular que el testigo (Cuadro 4.2).

4.2.7 Peso volumétrico de Raíz

Los tratamientos no mostraron diferencias estadísticas entre ellos, excepto el tratamiento 7 que tuvo el mayor desplazamiento volumétrico, aproximadamente 43% más que el testigo (Cuadro 4.2).

4.2.8 Peso seco de raíz

El tratamiento 6 al igual que en la longitud de la raíz principal, mostró un mayor peso seco (0.27 g), que en porcentaje representa el doble de peso en comparación con el testigo, pero sin diferencias significativas con los demás tratamientos (Cuadro 4.2).

4.3 MELÓN

4.3.1 Tasa relativa de crecimiento de hoja (TRC Hoja)

En este caso la mayor tasa de crecimiento, la presentó el tratamiento 9 con 0.27 cm/día, 47% más crecimiento que el testigo, pero sin diferencia significativa con los demás tratamientos (Fig. 4.9).

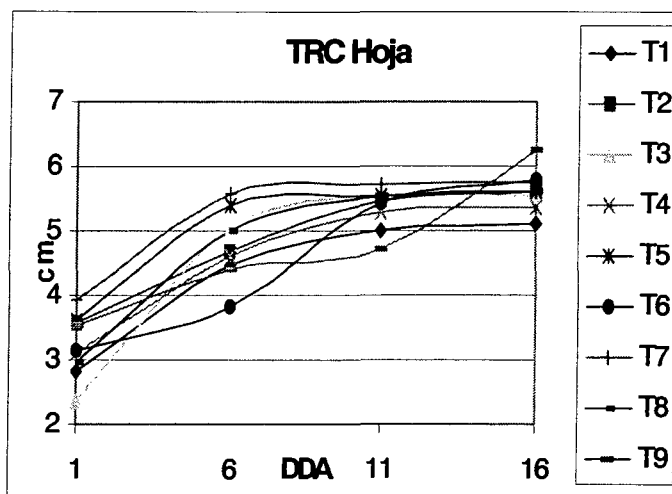


Fig. 4.9. Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) de la hoja en el cultivo de Melón (*Cucumis melo*).

4.3.2 Tasa relativa de crecimiento de tallo (TRC Tallo)

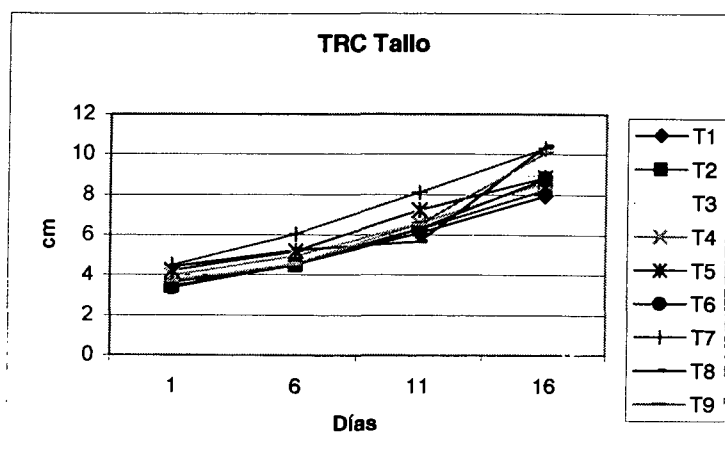


Fig. 4.10 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) del tallo en el cultivo de Melón (*Cucumis melo*).

La mayor tasa de crecimiento fue de 0.475 cm/día, observada con el tratamiento 9, al igual que en la tasa de crecimiento de la hoja; la que fue 54% mayor a la tasa de crecimiento del testigo, pero sin diferencia significativa sobre los tratamientos (Fig. 4.10).

4.3.3 Clorofila

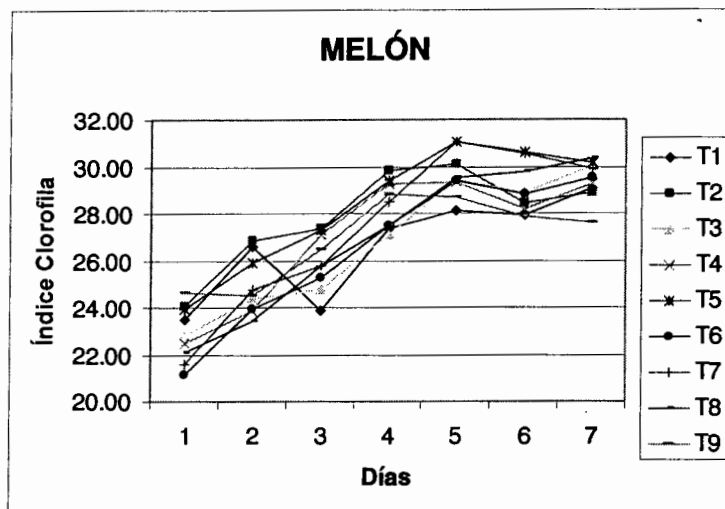


Fig. 4.11 Efecto de la nutrición vegetal sobre la Clorofila en el cultivo de Melón (*Cucumis melo*).

Al igual que el cultivo de chile, esta especie tuvo una tendencia ascendente en el transcurso de los días posteriores a las aplicaciones de los tratamientos fertilizantes. No se observaron diferencias significativas en los tratamientos. El tratamiento 5 mostró el mejor nivel en el quinto día, y en promedio tuvo niveles mayores en comparación con los demás tratamientos, en relación con el testigo, este tratamiento presentó un índice de clorofila mayor 4.6% (Fig. 4.11).

4.3.4 Área foliar

El tratamiento 8 presentó la máxima área foliar, 22% más área en comparación al testigo; aunque no hubo diferencias entre los tratamientos (Cuadro 4.3)

4.3.5 Peso seco aéreo

El comportamiento de los tratamientos en este sentido no mostró diferencias significativas entre ellos, pero en el comparativo de las medias, el tratamiento 5 fue el que presentó en promedio un mayor peso seco, de entre los demás tratamientos; un 20% más peso seco aéreo que el testigo (Cuadro 4.3).

En el cuadro 4.3. se presentan los valores medios de cada tratamiento obtenidos en el cultivo de melón, los valores con letras iguales indican grupos estadísticos similares.

Cuadro 4.3. Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes del cultivo de Melón (*Cucumis melo*) var. Cruiser en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero.

| Trat. | Longitud Raíz (cm) | Peso Volumétrico * (ml) | Peso Seco Raíz (g) | Área Foliar (cm ²) | Peso Seco Aéreo (g) |
|-------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|
| 1 | 21.050 | 2.00 abc | 0.174 | 72.22 | 0.275 |
| 2 | 23.625 | 1.50 cd | 0.039 | 91.51 | 0.375 |
| 3 | 17.975 | 2.50 ab | 0.214 | 88.30 | 0.400 |
| 4 | 23.375 | 1.00 d | 0.043 | 70.47 | 0.375 |
| 5 | 19.725 | 1.00 d | 0.047 | 76.88 | 0.450 |
| 6 | 20.150 | 2.00 abc | 0.143 | 83.66 | 0.375 |
| 7 | 26.633 | 1.00 cd | 0.058 | 82.81 | 0.433 |
| 8 | 23.800 | 3.00 a | 0.179 | 93.66 | 0.433 |
| 9 | 24.675 | 1.75 bcd | 0.053 | 79.64 | 0.350 |

* dms:1.031, cv: 37.7%

Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$)

4.3.6 Longitud de raíz

En relación con esta variable, no se observaron diferencias entre los tratamientos, pero en el tratamiento 7 obtuvo la máxima longitud de raíz de entre los demás tratamientos, casi un 14% mayor que el testigo regional (Cuadro 4.3).

4.3.7 Peso volumétrico de Raíz

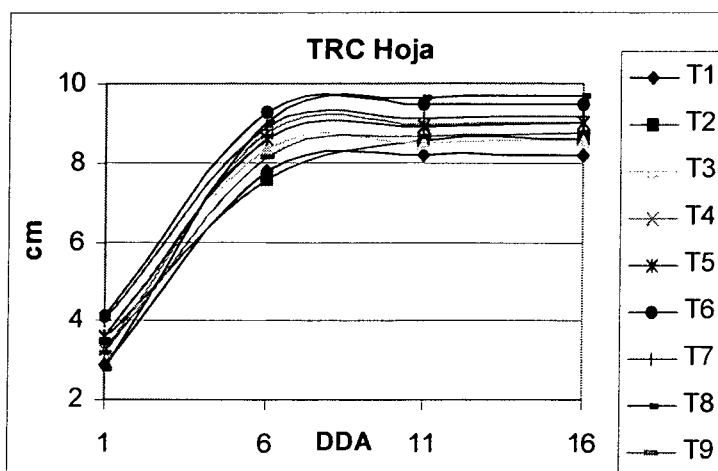
En este caso sí se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados; hacia el 95%; el tratamiento 8 presentó un mayor desplazamiento volumétrico, dos veces más volumen en comparación al testigo regional (Cuadro 4.3).

4.3.8 Peso seco de raíz

El peso seco no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos. El tratamiento que proporcionó el mayor peso seco de raíz fue el tratamiento 3 fue casi 4 veces mayor que el testigo (Cuadro 4.3).

4.4 PEPINO

4.4.1 Tasa relativa de crecimiento de hoja (TRC Hoja)

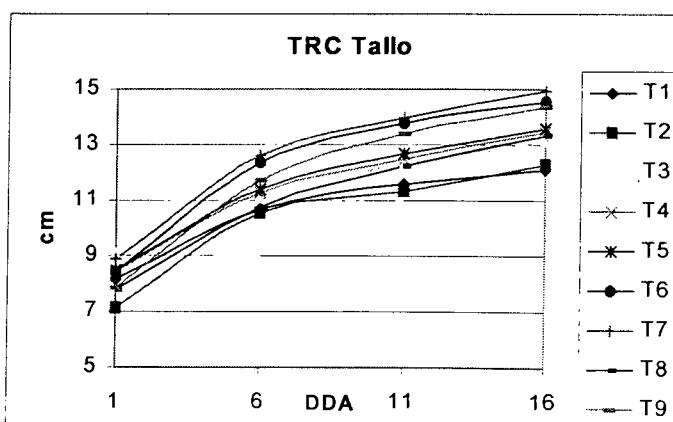


DDA: Días Después de aplicado

Fig. 4.12 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) de la hoja en el cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*).

En esta especie, la tasa de crecimiento se vio favorecida con el tratamiento 9 que presentó 0.46 cm/día, aproximadamente un 20% más crecimiento que el testigo, pero sin diferencia significativa con los demás tratamientos (Figura 4.12).

4.4.2 Tasa relativa de crecimiento de tallo (TRC Tallo)



DDA: Días Después de aplicado

Fig. 4.13 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) del tallo en el cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*).

Esta especie presentó una mayor tasa de crecimiento en el tallo con el tratamiento 9, el cual observó 0.43 cm/día con diferencia significativa al 0.05 y aproximadamente 28% más crecimiento que el testigo (Figura 4.13).

4.4.3 Clorofila

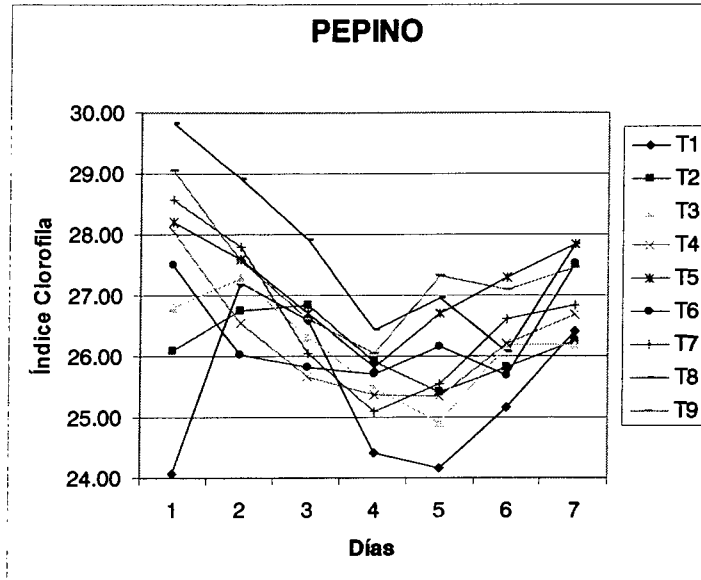


Fig. 4.14 Efecto de la nutrición vegetal sobre la Clorofila en el cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*).

Con excepción de los primeros 3 tratamientos que obtuvieron sus mayores índices de clorofila 2 días después de la aplicación, los demás tratamientos presentaron el máximo nivel 24 horas después de la aplicación, teniendo un declive hacia el 4º día, con un repunte de los niveles durante los días 5, 6 y 7 (Fig. 4.14).

En este caso, el tratamiento 8 mostró un mejor comportamiento durante los 7 días aunque con diferencia estadística significativa sólo el primer día, pero manteniendo los más altos valores, los siguientes días y sólo con una diferencia de 5.48% en comparación con el testigo.

4.4.4 Tasa de asimilación de CO₂

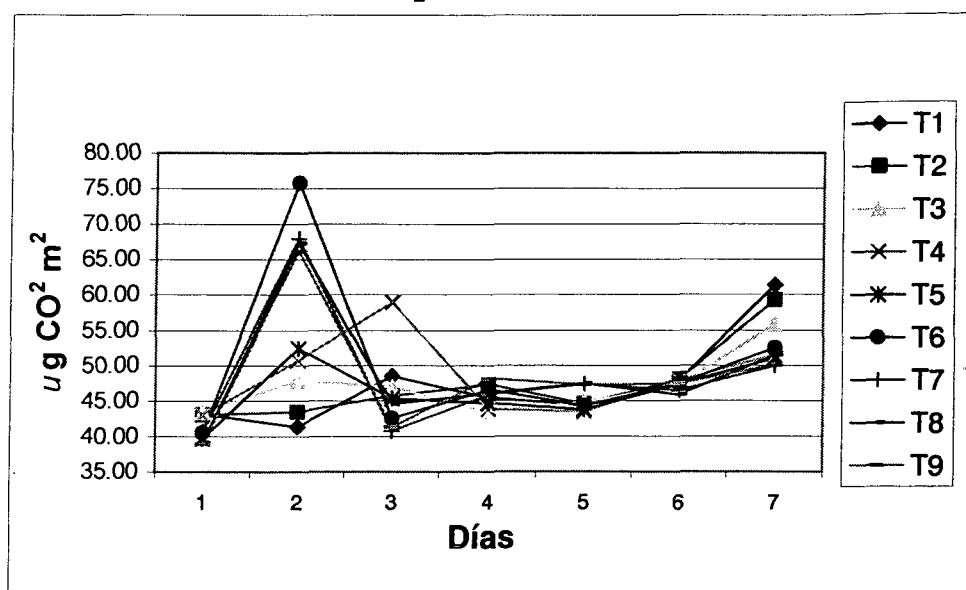


Fig. 4.15 Efecto de la nutrición vegetal sobre la Fotosíntesis en el cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*).

Con respecto a esta variable se observó que las máximas tasas de asimilación de CO₂ se presentaron dos días después de la aplicación de los fertilizantes, excepto en los tratamientos 4 y 1 que registraron el máximo en el tercer día. Se observó también la disminución de la actividad de asimilación durante los siguientes 4 días, teniendo un repunte en las tasas de todos los tratamientos hacia el 7º día (Fig. 4.15).

En esta especie, el tratamiento 6 alcanzó la tasa de asimilación de CO₂ más alta en el 2º día siendo la mayor tasa registrada en todos los días y en general tuvo las mayores tasas durante los 7 días, aunque en relación con el testigo sólo se presenta una diferencia del 3%.

4.4.5 Transpiración

En esta especie se observó la misma tendencia de las tasas transpiratorias que en las plantas de calabaza. A diferencia de la calabaza, el tratamiento que presentó tasas de transpiración más altas fue el tratamiento 9 con diferencias significativas en los días 1, 5 y 7 sobre los demás tratamientos y con niveles de transpiración 8% mayores con respecto del testigo (Fig. 4.16).

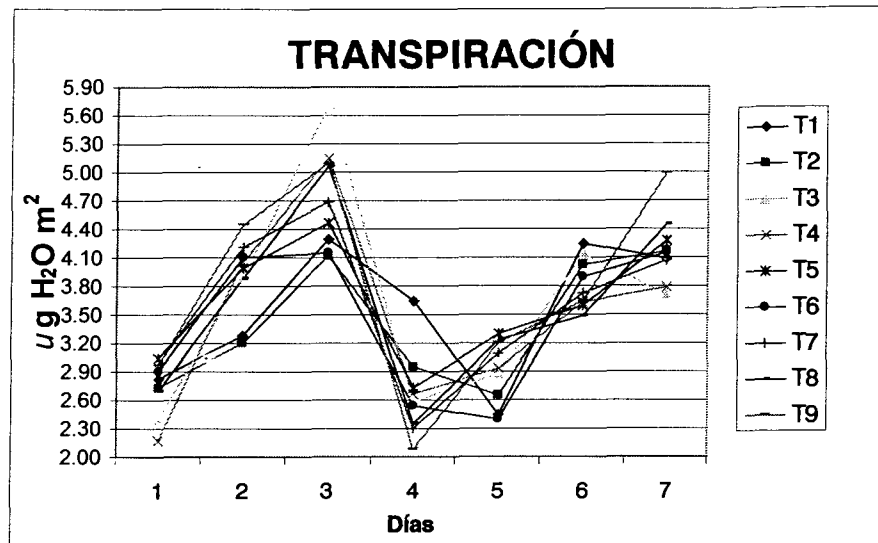


Fig. 4.16 Efecto de la nutrición vegetal sobre la transpiración en el cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*).

4.4.6 Área foliar

El área foliar se vio altamente favorecida con el tratamiento 9, 17.7% más área foliar en comparación con el testigo, además se observó diferencia significativa sobre los demás tratamientos (Cuadro 4.4).

4.4.7 Peso seco aéreo

Al igual que el área foliar, el tratamiento 9 tuvo el mayor peso de entre los tratamientos, 33% más que el testigo, con diferencia estadística significativa al 95% (Cuadro 4.4.).

En el cuadro 4.4 se presentan los valores medios de cada tratamiento obtenidos en la zona radicular del cultivo de pepino, los valores con letras iguales indican grupos estadísticos similares.

Cuadro 4.4. Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes del cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*) var. Mateo en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero.

| Trat. | Longitud Raíz (cm) | Peso Volumétrico (ml) | Peso Seco Raíz (g) | Área Foliar * (cm ²) | Peso Seco Aéreo ** |
|-------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1 | 33.825 | 3.75 | 0.150 | 108.94 d | 0.625 d |
| 2 | 38.250 | 3.75 | 0.175 | 123.14 cd | 0.650 d |
| 3 | 34.025 | 3.75 | 0.125 | 141.43 bd | 0.800 bc |
| 4 | 35.700 | 4.00 | 0.175 | 161.29 ab | 0.750 cd |
| 5 | 35.775 | 3.25 | 0.175 | 173.74 a | 0.825 bc |
| 6 | 35.300 | 3.50 | 0.125 | 183.11 a | 0.900 ab |
| 7 | 37.825 | 4.25 | 0.150 | 172.85 ab | 0.875 abc |
| 8 | 32.875 | 4.25 | 0.150 | 188.67 a | 0.925 ab |
| 9 | 32.825 | 4.25 | 0.175 | 189.84 a | 1.00 a |

* dms: 31.54, cv: 13.56%;

** dms: 0.145, cv:12.24%

Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, p <0.05)

4.4.8 Longitud de raíz

Sin diferencias entre los tratamientos, el tratamiento 2, presentó una longitud de raíz mayor que los demás, sólo 7% mayor al testigo (Cuadro 4.4.).

4.4.9 Peso volumétrico de Raíz

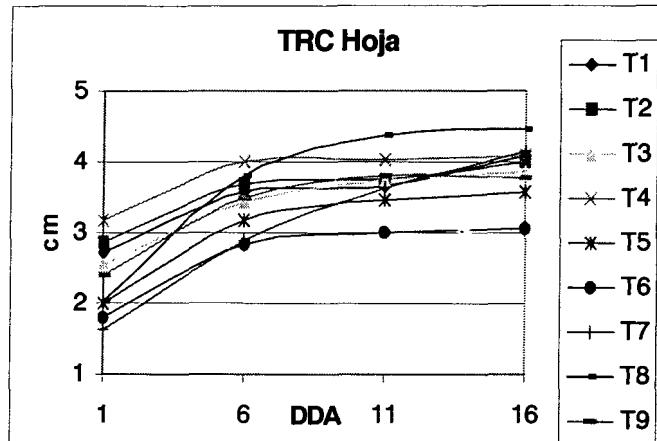
En este caso se observaron los tratamientos 7, 8 y 9 con un mayor desplazamiento volumétrico, 6.25% más que el testigo, aunque sin diferencias significativas (Cuadro 4.4.).

4.4.10 Peso seco de raíz

En los tratamientos 2, 4, 5 y 9 se observó el mayor peso, no se observan diferencias entre tratamientos.

4.5 SANDÍA

4.5.1 Tasa relativa de crecimiento de hoja (TRC Hoja)

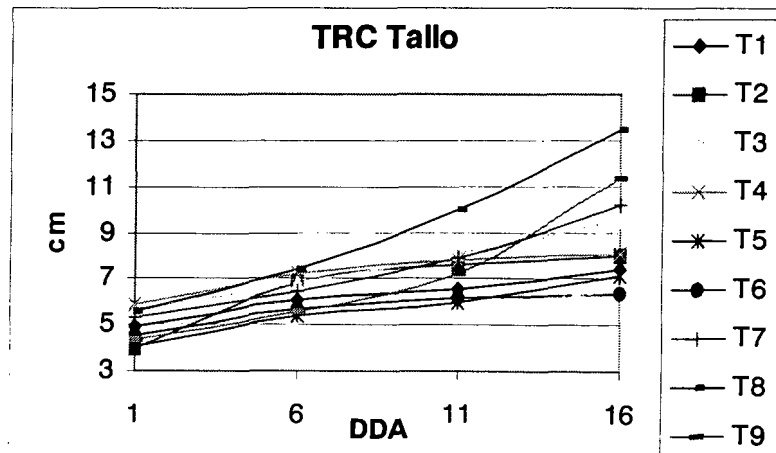


DDA: Días Después de aplicado

Fig. 4.17 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) de la hoja en el cultivo de Sandía (*Citrullus lannatus*).

En esta variable se observó una mayor tasa de crecimiento en la hoja con el tratamiento 8 con 0.162 cm/día, casi el doble de crecimiento en comparación con el testigo, aunque sin diferencia significativa con los demás tratamientos.

4.5.2 Tasa relativa de crecimiento de tallo (TRC Tallo)



DDA: Días Después de aplicado

Fig. 4.18 Efecto de la nutrición vegetal sobre la tasa acumulativa de crecimiento (TRC) del tallo en el cultivo de Sandía (*Citrullus lannatus*).

El tratamiento 9 manifestó la tasa de crecimiento más alta con 0.62 cm/día, 13% más que el testigo, sin diferencia significativa estadística con los demás tratamientos.

En esta especie a diferencia de las demás, el crecimiento del tallo no fue tan acelerado como en los demás excepto por los tratamientos 8 y 9 que si tuvieron un mayor crecimiento entre los 10 y 15 días después de la aplicación de los tratamientos fertilizantes.

4.5.3 Clorofila

A diferencia de las otras especies, la sandía presentó muy pocas variaciones en el índice de clorofila en la mayoría de los tratamientos, exceptuando el tratamiento 9 que tuvo una variación constante en los niveles durante la semana de toma de datos con ascensos y descensos en todos los días, los demás se mantuvieron casi al mismo nivel desde el inicio hasta el final de la toma de datos. El tratamiento 7 tuvo en promedio el nivel más alto de todos (3.5% más que el testigo), pero los tratamientos no presentaron diferencias significativas en lo que a índice de clorofila se refiere (Fig. 4.19).

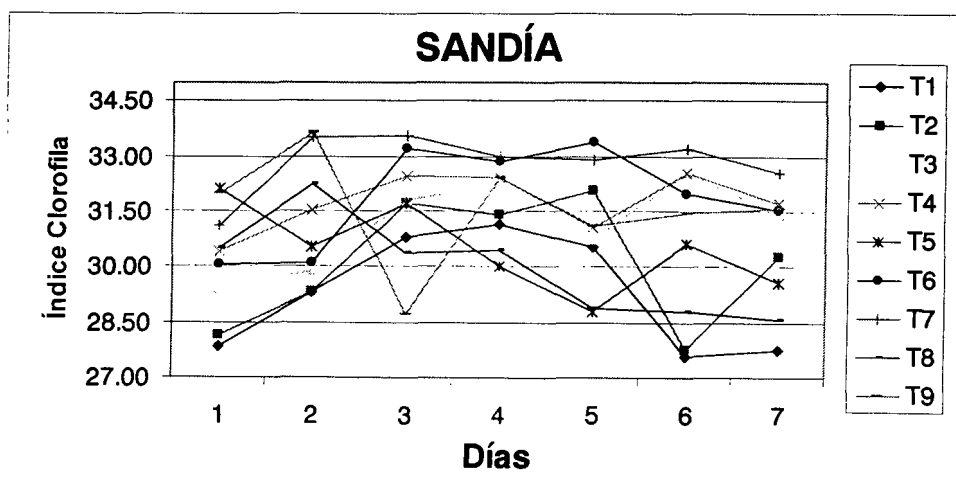


Fig. 4.19 Efecto de la nutrición vegetal sobre la clorofila en el cultivo de Sandía (*Citrullus lannatus*).

4.5.4 Área foliar

Sin diferencia significativa, el tratamiento 9 obtuvo la mayor área foliar presentada en los tratamientos, un 84% mayor área foliar en comparación con el testigo (Cuadro 4.5)

4.5.5 Peso seco aéreo

Al igual que el área foliar, el tratamiento 9 con el que se consiguió el mayor peso seco de entre los tratamientos sin diferencia significativa, pero 33% mayor que el testigo.

En el cuadro 4.5 se presentan los valores medios de cada tratamiento obtenidos en la zona radicular del cultivo de sandía.

Cuadro 4.5. Respuesta a la aplicación de diferentes tratamientos fertilizantes del cultivo de Sandía (*Citrullus lannatus*) var. Sangría en etapas iniciales, bajo condiciones de invernadero.

| Trat. | Longitud Raíz cm | Peso Volumétrico ml | Peso Seco Raíz g | Área Foliar cm ² | Peso Seco Aéreo g |
|-------|---------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|
| 1 | 21.067 | 0.333 | 0.054 | 46.68 | 0.236 |
| 2 | 21.550 | 1.500 | 0.088 | 81.99 | 0.350 |
| 3 | 18.433 | 1.333 | 0.059 | 70.02 | 0.300 |
| 4 | 15.467 | 1.000 | 0.034 | 65.07 | 0.300 |
| 5 | 18.333 | 1.333 | 0.052 | 74.91 | 0.233 |
| 6 | 11.500 | 1.500 | 0.065 | 77.02 | 0.350 |
| 7 | 19.033 | 1.667 | 0.057 | 87.59 | 0.300 |
| 8 | 16.700 | 1.333 | 0.059 | 107.61 | 0.333 |
| 9 | 21.450 | 1.500 | 0.082 | 121.44 | 0.400 |

*Tukey, 0.05

4.5.6 Longitud de raíz

Con diferencias significativas, el tratamiento 2 obtuvo una longitud de raíz mayor que los demás tratamientos, un 40% más longitud en la raíz comparándola con el testigo (Cuadro 4.5).

4.5.7 Peso volumétrico de Raíz

El desplazamiento volumétrico mayor se observó con el tratamiento 7, 60% en promedio mayor volumen que el testigo sin diferencias estadísticas significativas (Cuadro 4.5).

4.5.8 Peso seco de raíz

Al igual que la longitud de raíz, el peso seco observó en el tratamiento 2 el mayor nivel, sin diferencia significativa sobre los demás tratamientos (Cuadro 4.5).

5 DISCUSIÓN

Los resultados presentados en esta investigación reflejan los acontecimientos de los cultivos bajo estudio en un lapso de 21 días después de la aplicación de los tratamientos. Las variables cuantificadas se refirieron a parámetros de crecimiento, los resultados arrojados en cada variable y cultivo tienen tendencias que son interesantes para discutir en este apartado.

5.1 Tasa Relativa de Crecimiento de Hoja (TRC h)

Inicialmente se cuantificaron las tasas relativas de crecimiento de la primer hoja verdadera, en las cuales se observó un crecimiento pronunciado en todos los cultivos durante los primeros seis días posteriores a la aplicación de los tratamientos debido al periodo de crecimiento rápido como lo sugieren Barcelló *et al.*, 1998; en el cual se produce un aumento de células meristemáticas y de área fotosintética, que llega a un máximo llamado madurez fisiológica, después de el cual inicia la senescencia y muerte de la hoja. A pesar de estos patrones definidos genéticamente, la aplicación de nutrientes propició un mayor alargamiento de la hoja.

El cultivo del chile presentó en esta etapa, exigencias medias de nutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio para obtener un mayor crecimiento en la hoja.

En las especies cucurbitáceas se notó una reacción favorable con los tratamientos con altas concentraciones de nutrientes (N, P, K) lo cual puede ser atribuido a que la absorción de ellos propició una aceleración en la división y elongación celular en los cultivos; en el caso especial del melón se observó una notable mejoría en la TRC de la hoja con tratamientos con Ca y Mg debido a que es un cultivo que tiene exigencia media a estos elementos como lo mencionan Armengol y Badiola (1997).

5.2 Tasa Relativa de crecimiento de tallo (TRC t)

En el caso de la Tasa relativa de crecimiento de tallo, se observó en todos los cultivos, el crecimiento constante sin un despunte exagerado a diferencia de la TRCh; aunque este órgano tiene crecimiento continuo durante toda la estación del cultivo, todos los cultivos se vieron favorecidos en mayor o menor condición a los elevados contenidos nutrimentales relacionándose este comportamiento a la definición de Black (1975) citada anteriormente que señala sobre el uso de los nutrientes por la planta en dependencia de la concentración de nutrientes en el suelo y agraga que cuando hay una concentración alta de nutrientes en el suelo, se observa un crecimiento acelerado de la zona aérea debido a la alta translocación de nutrientes, sobre todo fósforo y nitrógeno .

5.3 Clorofila

Cada cultivo presentó un rango particular en el índice de clorofila, en general permanecieron entre 20 y 34. En los resultados obtenidos se observaron dos Cultivos (Calabaza y Sandía) ampliamente favorecidos con tratamientos que incluyeron en la formulación Mg, que es el componente central de la molécula, los demás cultivos no observaron diferencia en tratamientos con o sin Mg, aunque la tendencia presenta que concentraciones medias o altas de N (depende de la especie) producen un mayor índice de clorofila en la hoja, debido a que el Nitrógeno también es un elemento muy importante en la composición de la molécula de clorofila (Rodríguez, 1999). Además en varios estudios se ha observado que las unidades SPAD guardan amplia relación con el contenido de clorofila, así como de nitrógeno en los tejidos verdes (Rodríguez *et al.*, 1998).

5.4 Tasa de asimilación de CO₂

En este apartado es necesario mencionar que sólo se tuvo la oportunidad de tomar datos de tasas de asimilación de CO₂ y de transpiración con los cultivos de Calabaza y Pepino, ya que el instrumento con el que se toman las medidas sufrió fallas en el funcionamiento.

Los resultados arrojados mostraron en los dos casos una misma tendencia durante los 7 días, cada cultivo en su rango particular (entre 40 y 60 μg de $\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}$), esto quiere decir que fueron influidas por un factor externo aunque no se podría inferir con precisión cual.

Hablando específicamente de los cultivos, en la Calabaza se observó el tratamiento 6 como el mejor tratamiento de entre los demás. En el cultivo de pepino ocurrió algo similar, también el tratamiento 6 fue el que obtuvo mayores tasas y aunque no fue el que presentó el más alto índice de clorofila, se encuentra entre los niveles más altos de los 7 días de la toma de datos.

5.5 Transpiración

La transpiración es la pérdida de agua de la planta en forma de vapor, ésta pérdida origina un gradiente energético necesario para el transporte de agua y minerales por la planta, pero también el exceso de transpiración produciría una mayor exigencia hídrica en la planta que si no es cubierta se llegaría a producir estrés hídrico que puede causar senescencia y la muerte prematura de la misma.

En los dos cultivos que se tuvo la oportunidad de tomar lecturas de transpiración se observó una tendencia similar, que pudo haber sido inducida por un factor externo; particularmente en el cultivo de Calabaza, se obtuvo que los tratamientos con mayores tasas transpiratorias fueron los que contenían las más bajas cantidades de nutrientes, pudiendo esto ser atribuido a que las bajas concentraciones de Potasio propiciaran que el intercambio protónico por moléculas de este elemento en las células oclusivas disminuyera (Mazliak, 1976) y por lo tanto que los estomas se mantuvieran mayor tiempo abiertos y de esta manera se permitiera el escape de agua de la planta. En el caso del pepino se observó que los tratamientos con mayores tasas de asimilación de CO_2 tuvieron también la mayores tasas de transpiración, esto se debe a que al haber

aumentado la fotosíntesis se produjo una disminución en la concentración de CO_2 que causó una apertura de estomas y por lo tanto mayor transpiración.

5.6 Área foliar

Los resultados reflejan que las plantas presentaron áreas foliares máximas con tratamientos con altos contenidos de nutrientes. El nitrógeno como elemento formativo es uno de los factores que propician en mayor medida el crecimiento de las plantas, cuando se encuentra en la zona subóptima y es absorbido, se produce un incremento en los niveles de proteínas y por lo tanto el aumento del índice foliar y las tasas fotosintéticas. Una de las principales funciones del Fósforo es propiciar la división celular, en cantidades óptimas propicia también el aumento del área foliar (Gil, 1995).

5.7 Longitud de raíz

Con respecto a la longitud de las raíces en general se observó que los contenidos bajos de nutrientes en la zona radicular propició una mayor elongación debido principalmente a que cuando la planta tiene un bajo contenido de nutrientes solubles para su absorción (especialmente Nitrógeno y Fósforo) 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 éste órgano, limitando el crecimiento aéreo, debido a que son las raíces las que consumen la mayor parte del nitrógeno absorbido (Black, 1975).

5.8 Peso volumétrico de Raíz

Los tratamientos con cantidades altas de nutrientes propiciaron una mayor densidad de raíces, según Wiersum (1958) citado por Black, 1975, las altas concentraciones de Nitrógeno y Fósforo tienden a propiciar mayor actividad en la parte aérea con lo cual se restringe la translocación de carbohidratos hacia el sistema radicular por lo cual tiende a ser corto, grueso y bien ramificado

5.9 Peso seco aéreo

El peso seco es la mejor manera de cuantificar el crecimiento ya que disminuye el rango de error al eliminar el agua de la planta. En relación con los resultados obtenidos en este experimento se observa también un notorio aumento de peso con altas concentraciones de nutrientes especialmente de N y P en concordancia con lo reportado por Chávez *et al.* (2000) en sus experimentos con Chile Jalapeño. Además se encuentra una relación directa con las áreas foliares que fueron igualmente favorecidas con estos tratamientos.

En los cultivos como Calabaza, Pepino y Sandía se observa influencia favorable de los tratamientos con Ca y Mg en los que se observó un mayor peso con los tratamientos que contenían estos elementos, a diferencia de Chile y Melón en los que no se observó diferencia a pesar de que Armengol y Badiola (1997) mencionan a ésta última especie como medianamente exigente en Ca, aunque es probable que en esta etapa no se demanden grandes cantidades de éste elemento.

5.10 Peso seco de raíz

En cuestión del peso seco de la raíz, sigue mostrándose la influencia favorable de la presencia del elemento Calcio en todos los cultivos, debido a que este favorece la translocación de los carbohidratos y aminoácidos y promueve el desarrollo de las raíces como lo señala Rodríguez (1999).

5.11 Cultivos

En el cultivo de la calabaza se observó que respondió mejor en su parte aérea a tratamientos con niveles medios de elementos mayores (NPK), con adición de Ca y Mg.

La característica que presentaron los resultados en la zona radical de la calabaza fue casi homogénea, se presentó un requerimiento bajo en los niveles de nutrientes y sólo con elementos mayores para un mejor desarrollo de éste órgano. Se observó que las concentraciones de Fósforo medias - altas promovieron un mejor desarrollo del sistema radical, concordando con Reche, (1997), quien asevera que la calabaza es un cultivo exigente de fósforo en etapas iniciales, sobre todo para la formación de raíces.

Una característica significativa del cultivo de Chile en su porción aérea, fue la respuesta favorable a elevadas concentraciones de nutrientes y a tratamientos que únicamente contenían Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Los resultados observados en la zona radical no mostraron ninguna diferencia significativa, aunque es evidente que esta zona se vio más favorecida con un nivel medio - alto en la concentración de nutrientes N, P, K y además con el tratamiento que contuvo Ca y Mg

La parte aérea del melón no mostró una tendencia homogénea en los resultados de las variables relacionadas con la porción aérea, pero se observó en general, un crecimiento significativo con concentraciones altas de N, P, K, a pesar de que Armengol y Badiola (1997), lo señalan como un cultivo con exigencia media de nutrientes. No se encontraron diferencias marcadas con los tratamientos que contenían Ca y Mg. Después de las observaciones descritas anteriormente, lo más destacable en el comportamiento de la zona radical con estos tratamientos, es que se tuvieron muchas similitudes con la parte aérea, beneficiándose con concentraciones altas de N, P y K.

En el caso del Pepino si se observó una tendencia muy homogénea en el comportamiento de la parte aérea y radical, en los resultados de las variables, se encontró un mejor ejercicio con tratamientos que contenían los niveles más altos de N, P y K manejados en estos ensayos, más aún, con el tratamiento que contenía Ca y Mg. Se hace la misma observación que con el cultivo de melón:

Según los datos obtenidos de Guerrero (1996), el pepino no es una especie con exigencias altas de nutrientes y en cambio las plantas manejadas aquí presentaron mejores resultados con altas concentraciones de nutrientes.

La sandía también mostró mejores resultados en la parte aérea con el tratamiento 9, que es el que contiene los 5 elementos con altas concentraciones de N, P y K.

A diferencia de la parte aérea, la zona radical se mostró beneficiada con un tratamiento de bajo nivel en los nutrientes N, P, K. Después del tratamiento de bajas concentraciones, los que le siguen a la cabeza son los tratamientos con altas concentraciones de nutrientes.

6 CONCLUSIONES

La tasa relativa de crecimiento de la hoja en todos los cultivo se incrementó en la medida que se fueron incrementando los nutrientes en todos los cultivos y en las cucurbitáceas se observa mayor beneficio en tratamientos con Calcio y Magnesio.

En el caso de la tasa relativa de crecimiento del tallo se observa un mayor crecimiento con altos contenidos de nutrientes y en especial aquellos que contienen Ca y Mg.

En cuanto a la variable clorofila no se observó un patrón definido en las especies, solo se puede concluir que el índice de clorofila tuvo mejoría con concentraciones medias y altas de nutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

La asimilación de CO_2 ha sido mejor con tratamientos que presentan concentraciones medias de todos los nutrientes, específicamente con el tratamiento con 300 Kg/ha de Nitrógeno, 150 Kg/ha de Fósforo, 300 Kg/ha de Potasio, 25 Kg/ha de Calcio y 25 Kg/ha de Magnesio.

Se presentó mayor transpiración en tratamientos donde las concentraciones nutrimentales fueron bajas.

En la evaluación realizada se observó que para que el área foliar fuera mayor se necesitan cantidades altas de nutrientes N, P, K, además de los nutrientes Calcio y Magnesio.

La longitud de raíz se incrementó con contenidos bajos y medios de nutrientes y sobre todo con aquellos con sólo N, P, K

El peso volumétrico que fue mayor con cantidades altas de nutrientes

En el caso de los pesos secos se observa que para que los tejidos tuvieran mayor consistencia fueron necesarios los elementos Calcio y Magnesio, con la diferencia que en la zona aérea se observa un mayor peso con altos contenidos de N, P, K y en cambio, en la zona radicular se obtuvo mayor peso con concentraciones bajas de nutrientes.

A pesar de las observaciones hechas anteriormente y aunque las diferencias son significativas en algunas variables, cada cultivo tuvo en promedio un mejor comportamiento con un tratamiento en particular.

En el caso de la Calabaza esta respuesta se registró con el tratamiento 300, 150, 300, 25, 25.

En el cultivo de Chile los tratamientos 350, 200, 300, 0, 0 y 400, 200, 400, 0, 0 mostraron los más altos valores en promedio.

Los mejores tratamientos para el Melón fueron el 400, 200, 400, 0, 0 y 450, 250, 300, 25, 25.

Finalmente el tratamiento 450, 250, 300, 25, 25 benefició mayormente a los cultivos de Pepino y Sandía.

7 LITERATURA CITADA

1. Armengol, E. y J. Badiola, (1997). Fertilización del melón en riego por goteo. Compendio de horticultura No. 10: Melones. Ediciones de Horticultura. Barcelona, España. 277 Pág.
2. Barcelló C., J., N. Rodrigo G., B. Sabater G. y R. Sánchez T. (1998). Fisiología Vegetal: Ciencia y técnica. Editorial pirámide. Madrid, España. 662 Pág.
3. Black, C. J. (1975). Relaciones suelo – planta, tomo II. Editorial Hemisferio sur. 866 pág.
4. California Fertilizer Association (1995). Manual de fertilizantes para horticultura. Editorial UTHEA – Noriega. México, México. 297 pág
5. Casas, C. A. y E. Casas B. (1999). Análisis de Suelo - Agua – Planta y su aplicación en la Nutrición de cultivos hortícolas en la zona peninsular, 2ª edición. Escobar impresiones. Almería, España. 249 Pág.
6. Chávez, S. N., M. Berzoza M., J. A. Cueto W. (2000). Respuesta del Chile Jalapeño a la fertirrigación con Nitrógeno, Fósforo y Potasio en riego por goteo. X Congreso Nacional de Irrigación. Chihuahua, Chihuahua, México, 16-18 de agosto de 2000.
7. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas de precipitación del estado de Sonora, región Valle del Yaqui 1968 -2002. SEMARNAT. México <http://www.cna.gob.mx/> (Consultada en Octubre de 2002).

8. Cuanalo de la C., H., E. Ojeda T. , A. Santos O. y C. A. Ortiz S. (1989). Provincias, Regiones y Subregiones Terrestres de México. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México 624 Pág.
9. Domínguez, V. A. (1997). Tratado de fertilización, 3ª Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 613 Pág.
10. Gil, M. F. (1995). Elementos de fisiología Vegetal. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 1147 Pág.
11. Grageda, G. J. (1999). La fertilización en hortalizas. Folleto técnico No. 19. CAECH – INIFAP – SAGAR. México. 62 Pág.

Grupo disagro. <http://www.disagro.com>. (Consultada en Septiembre de 2003). Guatemala.

12. Guerrero, A. (1996). El suelo, los abonos y la fertilización de cultivos, reimpresión. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 206 Pág.
13. Gutiérrez, C. M. A. (1995). Nutrición Vegetal y uso de fertilizantes. Instituto Tecnológico de Sonora. Sonora, México. 98 Pág.
14. INEGI (2002). Anuario de estadística por entidad federativa. México, México. 620 Pág.
15. INEGI (2003). México en el mundo, edición 2003. México, México. 386 Pág.

Infoagro (a). El cultivo del calabacín. <http://www.infoagro.com/hortalizas/calabacin.htm> (Consulta Mayo de 2003).

16. Infoagro (b). El cultivo del melón.
http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/melon.htm. (Consulta Mayo de 2003).
17. Infoagro (c). El cultivo del pepino.
<http://www.infoagro.com/hortalizas/pepino.htm>. (Consulta Mayo de 2003).
18. Infoagro (d). El cultivo del pimiento.
<http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>. (Consulta Mayo de 2003).
19. Infoagro (e). El cultivo de la sandía.
http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/sandia.htm. (Consulta Mayo de 2003).
20. Maroto, B. J. V. (2002). Horticultura herbácea especial, 5ª edición. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 702 Pág.
21. Mazliak, P. (1976). Fisiología vegetal: Nutrición y metabolismo. Editorial Omega, Colección Métodos. Barcelona, España. 350 Pág.
22. Navarro, G. (2000). Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 483 Pág.
23. Nuez, F., R. Gil y J. Costa (1996 a). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 607 Pág.
24. Nuez, F., J. Prohens, A. Rodríguez, A. González J y P. Fernández de C. (1996 b). Catálogo de semillas de Melón. Banco de germoplasma de la Universidad Politécnica de Valencia. Ministerio de Agricultura, Pesca y

Alimentación, INIA. Colección Monografías INIA. Madrid, España. 96 Pág.

25. Nuez, F. J. Prohens, A. Rodríguez, A. González J y P. Fernández de C. (1998). Catálogo de semillas de Sandía. Banco de germoplasma de la Universidad Politécnica de Valencia. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, INIA. Colección Monografías INIA. Madrid, España. 104 Pág.
26. Parsons, D. B. (1981). Cucurbitáceas, manuales para la educación agropecuaria. Editorial Trillas. México 1981. 56 Pág.
27. Prados, C. J. A. (1993). Fisiología Vegetal. Escuela técnica superior ingenieros de montes. Fundación Conde del Valle Salazar. Madrid, España. 465 Pág.
28. Reche, M. J. (1988). La Sandía, ediciones Mundi Prensa. Ministerio de Agricultura Pesca y alimentación, Servicio de extensión agraria. Madrid, España. 227 Pág.
29. Reche, M. J. (1997). El cultivo del calabacín en invernadero. Ediciones gráficas M3. Almería, España. 213 Pág.
30. Rodríguez, M. Ma. de las Nieves, G. Alcántar G, A. Aguilar S, J. Etchevers B., J. Santizó R (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. Revista Terra, Volumen 16, Número 2. Págs.: 135-141.
31. Rodríguez, S. F. (1999). Fertilizantes, Nutrición Vegetal, 4ª reimpresión. AGT editor. México, D.F. 157 Pág.

32. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT), delegación federal Sonora. <http://www.semarnat.gob.mx/sonora>. (Consultada en Octubre de 2002). México
33. Sistema de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP). SAGARPA. <http://www.siea.sagarpa.gob.mx>. (Consultada en agosto de 2003). México.
34. Teusher, H. y R. Alder (1984). El suelo y su fertilidad, 8ª impresión. Editorial CECSA. México, D.F. 510 Pág.
35. Valadez, L. A. (2001). Producción de hortalizas, 9ª reimpresión. Editorial Noriega – UTHEA. México, D.F. 298 Pág.
36. Zapata, M. P. Cabrera, S. Bañon y P. Roth (1989). Ediciones Mundi prensa. Madrid, España. 174 Págs.