

SINTOMAS DE CARENCIA DE MICROELEMENTOS Y TOXICIDADES MINERALES EN
LAUREL DE CERA (*Myrica pubescens* H. & B. ex Willdenow) BAJO CONDICIONES
HIDROPONICAS.

JOSEFINA CHAMORRO CABRERA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS
VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES, POSTGRADOS Y RELACIONES
INTERNACIONALES
ESPECIALIZACION EN ECOLOGIA CON ENFASIS EN GESTION AMBIENTAL
PASTO - COLOMBIA
2002

SINTOMAS DE CARENCIA DE MICROELEMENTOS Y TOXICIDADES MINERALES EN
LAUREL DE CERA (*Myrica pubescens* H. & B. ex Willdenow) BAJO CONDICIONES
HIDROPONICAS

JOSEFINA CHAMORRO CABRERA

Tesis de Grado presentada como requisito parcial
para optar al título de
**ESPECIALISTA EN ECOLOGIA
CON ENFASIS EN GESTION AMBIENTAL**

Director

HERNAN BURBANO ORJUELA

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS
VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES, POSTGRADOS Y RELACIONES
INTERNACIONALES
ESPECIALIZACION EN ECOLOGIA CON ENFASIS EN GESTION AMBIENTAL
PASTO - COLOMBIA
2002

A mi padre QEPD

A mi madre

A mis hermanos

A mis amigos

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Hernán Burbano Orjuela, Ingeniero Agrónomo M.Sc. y Director de la Investigación por su apoyo incondicional y estímulo para la realización de la investigación

Alberto Unigarro Sánchez, Ingeniero Agrónomo, por su paciencia y dedicación a través de la investigación.

María del Rosario Carreño, Tecnóloga Química, por su colaboración en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Nariño

William Orlando Pinta, fotógrafo profesional, por su colaboración en la toma de las fotos a través de la investigación.

Personal de la Vicerrectoría de Investigaciones Postgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI) de la Universidad de Nariño, por la financiación de la presente investigación.

Personal del Programa de Biología de la Universidad de Nariño, especialmente a su director (E) Pablo Fernández Izquierdo, Biólogo, por su colaboración para llevar a feliz término esta investigación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
I. MARCO TEORICO	3
1.1 GENERALIDADES SOBRE EL LAUREL DE CERA (<i>Myrica pubescens</i> H. & B. ex Willd).	3
1.2 LOS MICROELEMENTOS	4
1.2.1 Factores que afectan la disponibilidad de los microelementos para las plantas	4
1.2.2 Funciones de los microelementos en las plantas	9
1.2.2.1 Toxicidad por manganeso y aluminio	17
1.3 EVALUACIÓN DE LOS SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA EN PLANTAS	19
II. METODOLOGIA	21
2.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	21
2.2 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO	21
2.3 COMPOSICIÓN Y APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	24
2.4 VARIABLES EVALUADAS	24
2.4.1 Absorción de solución nutritiva	24
2.4.2 Altura de las plantas	30
2.4.3 Longitud de la raíz	30
2.4.4 Peso de la materia seca de la parte aérea y de las raíces	30
2.4.5 Sintomatología de estados carenciales	30
2.5 ANÁLISIS EXPERIMENTAL	30
III. RESULTADOS Y DISCUSION	32

	Pág.
3.1 SÍNTOMAS DE CARENCIA DE MICROELEMENTOS	32
3.1.1 Consumo de solución nutritiva	32
3.1.2 Altura de plantas	34
3.1.3 Longitud de la raíz	36
3.1.4 Materia seca de la parte aérea	38
3.1.5 Materia seca de la raíz	40
3.1.6 Correlación entre las variables estudiadas	40
3.1.7 Síntomas de carencia de microelementos	44
3.1.7.1 Síntomas de carencia de hierro	44
3.1.7.2 Síntomas de carencia de zinc	49
3.1.7.3 Síntomas de carencia de boro	54
3.1.7.4 Síntomas de carencia de cobre	60
3.1.7.5 Síntomas de carencia de molibdeno	63
3.2 SÍNTOMAS DE TOXICIDAD DE ALUMINIO Y MANGANESO	66
3.2.1 Consumo de solución nutritiva	66
3.2.2 Altura de plantas	68
3.2.3 Longitud de la raíz	68
3.2.4 Materia seca de la parte aérea	71
3.2.5 Materia seca de la raíz	71
3.2.6 Correlación entre las variables estudiadas	75
3.2.7 Síntomas de toxicidad de aluminio y manganeso	75
3.2.7.1 Síntomas de exceso de aluminio	75
3.2.7.2 Síntomas de exceso de manganeso	79
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
4.1 CONCLUSIONES	86
4.2 RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFIA	89
APENDICE	97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición de la solución nutritiva de macroelementos y elementos secundarios	25
Tabla 2. Composición de la solución nutritiva de microelementos	26
Tabla 3. Composición de la solución nutritiva para el desarrollo de la toxicidad de manganeso y aluminio	27
Tabla 4. Tratamientos para inducir la carencia de microelementos, mediante la técnica del elemento faltante en condiciones hidropónicas	28
Tabla 5. Tratamientos para inducir la toxicidad de aluminio y manganeso, mediante la técnica del elemento faltante en condiciones hidropónicas	29
Tabla 6. Relación entre el tiempo (de evaluación) y la altura de las plantas obtenidas al estudiar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas.	42
Tabla 7. Relación entre el tiempo (de evaluación) y la longitud de la raíz obtenida al estudiar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	43

	Pág.
Tabla 8. Relación entre el tiempo (de evaluación) y la altura de las plantas obtenida al estudiar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera	76
Tabla 9 Relación entre el tiempo (de evaluación) y la longitud de la raíz obtenida al estudiar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema para el montaje de las plántulas y la aireación en los recipientes	22
Figura 2. Vista general del ensayo, donde se muestra su ubicación, el montaje de las plántulas en los recipientes, el sistema de aireación empleado y la trampa de agua	23
Figura 3 Tabla de colores (basada en Munsell Book of Color, 1966)	31
Figura 4 Consumo de solución nutritiva obtenido al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	33
Figura 5 Altura de plantas obtenida al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	35
Figura 6 Longitud de la raíz obtenida al evaluar la carencia de microelementos en plantas de laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	37
Figura 7 Materia seca de la parte aérea obtenida al evaluar la carencia de microelementos en plantas de laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	39

	Pág.
Figura 8 Materia seca de la raíz obtenida al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	41
Figura 9 Síntomas de carencia de hierro en laurel de cera	46
Figura 10 Síntomas de carencia de hierro en laurel de cera	47
Figura 11 Síntomas de carencia de hierro en laurel de cera	48
Figura 12 Síntomas de carencia de zinc en laurel de cera	51
Figura 13 Síntomas de carencia de zinc en laurel de cera	52
Figura 14 Síntomas de carencia de boro en laurel de cera	55
Figura 15 Síntomas de carencia de boro en laurel de cera	56
Figura 16 Síntomas de carencia de boro en laurel de cera	57
Figura 17 Síntomas de carencia de cobre en laurel de cera	61
Figura 18 Síntomas de carencia de cobre en laurel de cera	62
Figura 19 Síntomas de carencia de molibdeno en laurel de cera	64
Figura 20 Síntomas de carencia de molibdeno en laurel de cera	65
Figura 21 Consumo de solución nutritiva obtenido al evaluar el	

	Pág.
exceso de aluminio y manganeso en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas laurel de cera	67
Figura 22 Altura de las plantas obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas en laurel de cera	69
Figura 23 Longitud de la raíz obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera	70
Figura 24 Síntomas de exceso de aluminio en laurel de cera	72
Figura 25 Materia seca de la parte aérea obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en plantas de laurel de cera	73
Figura 26 Materia seca de la raíz obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en plantas de laurel de cera	74
Figura 27 Síntomas de exceso de aluminio en laurel de cera	78
Figura 28 Síntomas de exceso de manganeso en laurel de cera	80
Figura 29 Síntomas de exceso de manganeso en laurel de cera	82
Figura 30 Síntomas de exceso de manganeso en laurel de cera	83
Figura 31 Síntomas de exceso de aluminio y manganeso	85

APENDICE

	Pág.
Tabla 1. Consumo de solución nutritiva obtenido al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	98
Tabla 2. Datos promedios de cinco repeticiones de la altura de plantas y longitud de las raíces obtenidos al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	100
Tabla 3. Datos del peso de la materia seca de la parte aérea y raíces obtenidos al final del período de evaluación al estudiar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	101
Tabla 4. Análisis de varianza para el consumo de solución nutritiva, altura de plantas, longitud de la raíz, materia seca de la parte aérea y materia seca de la raíz.	102
Tabla 5. Prueba de Tukey. Comparación del peso de la materia seca de la parte aérea (g/planta) obtenido al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas	103
Tabla 6. Análisis de varianza de la altura de las plantas y la longitud de las raíces sobre las 10 lecturas realizadas durante 127 días, obtenidas	

	Pág.
al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas, con base en el modelo estadístico lineal	104
Tabla 7. Consumo de solución nutritiva obtenido al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera	105
Tabla 8. Datos promedios de cinco repeticiones de la altura de plantas y longitud de las raíces, obtenidos al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera	106
Tabla 9. Datos del peso de la materia seca de la parte aérea y las raíces obtenidos al final del período de evaluación al estudiar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas en laurel de cera,	107
Tabla 10. Análisis de varianza para el consumo de solución nutritiva, altura de plantas, longitud de la raíz, materia seca de la parte aérea y materia seca de la raíz	108
Tabla 11. Prueba de Tukey. Comparación de la longitud de la raíz (cm/planta) obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera	109
Tabla 12. Análisis de varianza de la altura de las plantas y la longitud de las raíces sobre las 10 lecturas, realizadas durante 127 días, obtenidas al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera con base en el modelo estadístico lineal	110

RESUMEN

En el presente estudio se empleó un sistema hidropónico, bajo condiciones de casa de malla, como medio para simular estados carenciales de microelementos (hierro, zinc, boro, cobre y molibdeno) y toxicidades minerales (aluminio y manganeso). El ensayo consistió en suministrar todos los elementos mayores, secundarios y menores, en formulaciones previamente establecidas exceptuando una de los elementos menores, que daba la carencia respectiva. Así con cada uno de los restantes microelementos hasta completar cinco estados carenciales. El trabajo incluyó también la evaluación de la toxicidad por aluminio y manganeso, para lo cual se aplicaron todos los elementos mayores, secundarios y menores y, se adicionó una dosis (50 ppm) para evaluar la toxicidad de estos dos elementos.

Se efectuaron periódicamente (37 evaluaciones) del consumo de solución nutritiva, altura de plantas (cada 14 días), longitud de la raíz (cada 14 días), y materia seca de la parte aérea y materia seca de la raíz a los 127 días (tiempo que duró el ensayo).

Estadísticamente no se presentaron diferencias para el consumo de solución nutritiva, altura de plantas, longitud de la raíz y materia seca de la raíz al evaluar la carencia de hierro, zinc, boro, cobre y molibdeno. La carencia de hierro en la solución nutritiva afectó negativamente el peso de la materia seca de la parte aérea.

La carencia de hierro en la solución nutritiva se manifestó en los tejidos jóvenes los cuales presentan un retículo de nervios verdes sobre un fondo de parénquima clorótico, posteriormente se presentan manchas necróticas intervenales que cubren toda la hoja. Los brotes nuevos son cloróticos y con el tiempo se necrosan. Las raíces no crecen, se

tornan de color amarillo y posteriormente mueren. La carencia de zinc se manifiesta en la extremidad de los brotes con la formación de rosetas. Las raíces presentan escaso desarrollo y proliferación de las mismas.

La carencia de boro se manifiesta en las hojas jóvenes como una clorosis intervenal, tornándose algunas hojas totalmente cloróticas, posteriormente se presentan manchas necróticas entre las nervaduras que cubren indistintamente del borde y/o el ápice hacia la base de las hojas, curvándose los márgenes de las mismas. Se presenta además, muerte de yemas terminales, con puntos de brotación más bajos, los cuales también se necrosan. Las raíces presentan poco desarrollo y muerte de sus puntos de crecimiento.

Los síntomas de carencia de cobre, se manifestaron en las hojas jóvenes las cuales presentan clorosis intervenal la que avanza del ápice a la base de las hojas, permaneciendo las nervaduras verdes. Las raíces aparentemente no se afectaron.

Los síntomas de carencia de molibdeno se presentan como un moteado clorótico intervenal el cual puede afectar toda la hoja. Los brotes nuevos se tornan cloróticos. Algunas hojas presentan márgenes irregulares y curvados. Las raíces presentaron escaso crecimiento y desarrollo.

Se encontró una correlación lineal altamente significativa entre el tiempo de evaluación y la altura de plantas y la longitud de las raíces, para todos los tratamientos evaluados.

El exceso de aluminio y manganeso, en la solución hidropónica, no afectó el consumo de solución nutritiva, la altura de las plantas, la longitud de la raíz y el peso de la materia seca de la parte aérea y las raíces, en laurel de cera.

Los síntomas de exceso de aluminio en plántulas de laurel de cera se manifiestan por manchas de color amarillo rojizo, con un halo de color amarillo en el borde de las hojas afectadas. Los brotes nuevos presentaron clorosis intervenal. Las raíces presentaron un gran crecimiento y desarrollo, manifiesto por un alto volumen y presencia de abundantes

pelos absorbentes, lo que parece indicar que esta especie es tolerante al exceso de aluminio.

Los síntomas de exceso de manganeso se manifiestan con moteado clorótico intervenal y posterior presencia de manchas necróticas. Los brotes nuevos aparecen totalmente cloróticos. Las raíces tienden a tornarse negras.

Se presentó una correlación lineal estadísticamente significativa entre el tiempo de evaluación y el crecimiento de la parte aérea y la longitud de las raíces, cuando la solución nutritiva presentó un exceso de aluminio o manganeso.

Abstract: In the present work, It was used an hydroponics system, under mesh house conditions employed as a mean in order to simulate not only states with deficiencies of microelements (iron, zinc, boron, copper and molybdenum), but also mineral toxicity (aluminum and manganese). The assay was about the supply of all elements; major, secondary, and minor ones through some previous established formula except to one of minor elements which gave the respective deficiency with each remaining microelements was completed the five lacking states. Moreover, the work involved the aluminum and manganese toxicity test; through the application of all major, secondary and minor elements, and it was added a 50-PPM dose to evaluate the toxicity of those elements.

It was made 37 tests in a periodic way from nutritive solution consumption, plant height (14-day test), root length (14-day test) and dried matter from air part, and dried matter from root after 127 days (time duration of assay).

It was not showed statistical differences for the nutritive solution consumption, plant height, root length, and dried matter in order to evaluate the lack of iron, zinc, boron, copper and molybdenum. The iron lack into the nutritive solution affected, in a negative way, the dried matter weight in the air part.

The iron lack into the nutritive solution, it was showed into the young tissues which

displayed a reticulum of green veins on a back of chloritic parenchyma; then, there were intervene necrotic stains which covered all the leaf surface. New buds were chloritic, and after time, they were affected by necrosis. Roots did not grow, they became yellow and died.

The zinc lack was showed in the buds tips with the small rose formation. There was a little development and proliferation of roots.

The boron lack was showed into the young leaves as an intervene chlorosis. Some leaves became totally chloritic; then, it was present necrotic stains among nervations which covered not clearly from edge and/or apex up to leaves base, so leaves edges became to acquire a curve form. It is displayed; besides, terminal bud death, with lower birth points which presented necrosis too. Roots had a little development and its growing points died.

The copper lack symptoms were displayed into young leaves which were affected by intervene necrosis advancing from apex until leaves base while nervations stayed green. Apparently, roots were not damaged. The molybdenum lack symptoms were displayed as an intervene chloritic speckling which can affect all leaf. New buds became chloritic; some leaves showed irregular and curved edges. Roots showed a lack of growing and development.

It was found a highly meaningful linear correlation between test time and plant height and root length for all treatments evaluated.

The excess of aluminum and manganese in the hydroponics solution affected neither the nutritive solution consumption, nor plant height, nor root length, nor dried matter weight from air part and roots in *Myrica pubescens*.

The aluminum excess symptoms in small plants of *Myrica pubescens* were showed by yellowish - redness stains, with a yellow halo in the affected leaves edge. New buds displayed intervene chlorosis. Roots showed a great growing and development

demonstrated by a high volume and by the great number of absorbent hairs; this may be indicated that this species is tolerant to aluminum excess.

It was a statistically meaningful linear correlation between test time and air part growing and roots length, when nutritive solution showed an excess of aluminum or manganese.

INTRODUCCION

El laurel de cera, es una especie forestal que tiene especial importancia en la zona norte del departamento de Nariño, en los municipios de Buesaco, Albán, San Bernardo, La Cruz y San Pablo, donde ha crecido de manera espontánea sin obedecer a ninguna tecnificación. A partir de 1997 como resultado del convenio celebrado con el Programa de Modernización y Diversificación del Ministerio de Agricultura, el PIFIL (Plan de Investigación, Fomento e Industrialización del Laurel de Cera), liderado por la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, ha venido estableciendo viveros en escuelas y predios de agricultores, el material vegetal se utiliza para instalar parcelas experimentales y reforestación de zonas desprotegidas, cerca de las fuentes de agua, con lo cual se tiende a satisfacer las necesidades de la región en cuanto a recursos naturales renovables y obtener también un beneficio económico a través del procesamiento del fruto del laurel.

Pero inevitablemente, los problemas de fertilidad en el suelo aparecerán en estas plantaciones, ya que la experiencia demuestra que, cuando se establecen plantaciones puras, surgen problemas de deficiencias y/o toxicidades minerales en ellos, los cuales afectan de diferente manera a las plantas en la etapa de establecimiento, además, a medida que los sistemas de cultivo se vuelven más intensivos se cambian las prácticas de manejo de los suelos, la accesibilidad de los microelementos se altera de tal forma que se pueden agotar muy fácilmente si no hay un suministro exógeno apropiado y a tiempo.

Existen diferentes métodos para diagnosticar las deficiencias en la nutrición de las plantas, se incluyen los análisis químicos de suelos y de tejidos de las plantas, la experimentación en invernadero como en el campo y el reconocimiento de los síntomas

Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar el título de Especialista en Ecología con énfasis en Gestión Ambiental, bajo la dirección de Hernán Burbano Orjuela, I.A., M.Sc.

visibles de las deficiencias y toxicidades minerales y la forma como lo afectan, que es la metodología desarrollada en esta investigación.

Por la importancia ecológica y económica que presenta el laurel de cera, la poca investigación sobre el comportamiento como cultivo, desarrollo fisiológico, prácticas agronómicas y conocimiento de los requerimientos nutricionales, se planeó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

Evaluar, determinar y describir en el laurel de cera (*Myrica pubescens*), bajo condiciones hidropónicas, los síntomas de carencia de microelementos y las toxicidades de aluminio y manganeso, mediante la técnica del elemento faltante, y proporcionar criterios que faciliten la identificación de síntomas visibles de carencia de boro, cobre, hierro, zinc y molibdeno y toxicidades minerales, de esta especie en el campo.

I. MARCO TEORICO

1.1 GENERALIDADES SOBRE EL LAUREL DE CERA (*Myrica pubescens* H. & B. ex Willd.).

El laurel de cera, es una especie forestal promisorio por las perspectivas agroindustriales y agroforestales que presenta, la cual se caracteriza por un rápido crecimiento, adaptabilidad a diferentes tipos de suelos y climas y capacidad de fijar nitrógeno atmosférico merced a la simbiosis con organismos del género Frankia (Gallardo, 1993; Muñoz, 1994; CONIF, 1995).

Uno de los mayores beneficios se relaciona con los frutos, de los cuales se obtiene una cera que se emplea en la industria como materia prima para la elaboración de panela, velas, jabones y cera para pisos. A nivel medicinal, las hojas, tallos y raíces se usan para tratar enfermedades nerviosas, laringitis y diarrea, entre otras (Muñoz y Luna, 1999; Muñoz y Luna, s.f.).

Es un arbusto o árbol pequeño que en algunos sitios puede alcanzar una altura de 7 m (Muñoz, et al., 1993). Trejos (1960) manifiesta que esta especie puede encontrarse desde los 1600 a los 3000 msnm sobre una gran diversidad de suelos fértiles e incluso estériles, tolerando un amplio rango de pH.

Sus hojas son simples, alternas, sin estípulas, estrechamente elípticas de hasta 15 cm de largo por 4 cm de ancho; base y ápice agudos, borde aserrado, haz glabrescente y envés pubescente. (Trejos, 1960; CONIF, 1995; Muñoz y Luna, s.f.).

La flor es monoica, unisexual, pequeña (aproximadamente de 2 mm), de color rojizo, carente de corola, protegida individualmente por varias bracteadas. Las flores se disponen en amentos axilares sobre ramas diferentes de la misma planta. Los amentos femeninos

tienen un tamaño equivalente al doble o más de los masculinos (Pérez, 1990; Ulloa y Moller, 1995).

Los frutos se producen en racimos pequeños, escamosos y duros. Éstos son pequeños, esféricos y drupáceos de 4 mm de diámetro, cubiertos por gránulos de cera; el color puede variar entre gris verdoso, verde claro, violeta o café amarillento (Trejos, 1960; Muñoz et al., 1993; Ulloa y Moller, 1995; Muñoz y Luna, s.f.).

En la zona norte de Nariño, por lo general, los árboles de laurel empiezan a producir a los tres años después de la siembra, la época principal de producción de frutos está comprendida entre junio y septiembre. En las zonas más altas (1600 a 3200 msnm) puede producir en octubre y en las más bajas, en mayo. Dependiendo de la forma de beneficio que se haga, en especial, cuando se cortan las puntas de las ramas (podas) para obtener los frutos, puede producir hasta los ocho años, obteniéndose la mejor producción cuando el árbol tiene seis años (Muñoz et al., 1993; Muñoz y Luna, s.f.).

Respecto a los síntomas de carencia de elementos nutricionales en laurel de cera, Unigarro, Muñoz, Eraso y Tellez (2000), evaluaron bajo condiciones hidropónicas los síntomas de deficiencia de macroelementos y elementos secundarios, encontrando que éstos eran fácilmente identificables para N, K y Ca; los síntomas de carencia de P, Mg y S, no fueron muy evidentes.

1.2 LOS MICROELEMENTOS

1.2.1 Factores que afectan la disponibilidad de los microelementos para las plantas.

La solubilidad de los microelementos está controlada por numerosos procesos y reacciones del suelo en forma similar a como sucede con los macroelementos. Los procesos del suelo que determinan la disponibilidad de los elementos menores son: reacciones redox, formación de complejos orgánicos, precipitación, adsorción superficial y reacciones biológicas (Guerrero, 1984; García, 1987).

Hierro: Entre los factores que afectan la absorción y utilización del Fe por las plantas

están la concentración de las formas absorbibles en solución; el “factor capacidad”; los factores que afectan la velocidad de movimiento de la forma absorbible hacia la superficie de la raíz, por difusión o por flujo de masa, los factores que afectan la absorción a través de las membranas radicales, los factores que afectan el transporte de las sustancias hasta las regiones donde van a ser utilizadas, y los factores que afectan la formación de compuestos dentro de la planta (Lora, 1978; Ortiz, 1997; López, 1998).

Lucas y Knezek (1983), Guerrero (1984) y Ortiz (1987), manifiestan que se pueden presentar deficiencias de Fe cuando hay concentraciones elevadas de metales pesados (Mn, Cu y Zn), si se incrementa el pH en los suelos (debido posiblemente a la conversión del Fe^{++} a Fe^{+++} · oxidación seguida por la precipitación de $Fe(OH)_3$ y/o cuando se presenta daño en la raíz de las plantas y temperaturas extremas.

También se pueden presentar deficiencias de Fe en suelos con bajo contenido de este elemento, en suelos con $CaCO_3$ libre, en aquellos que presentan HCO_3^- elevado y los que tienen alto contenido de P. Además, al igual que el Mn, el Fe es sensible al potencial redox; de ahí que la solubilidad de estos elementos se incrementa bajo condiciones de inundación y pobre aireación (exceso de CO_2) (Tisdale y Nelson, 1977; Lora, 1978; Ortiz, 1997 y Lucas y Knezek, 1983).

Zinc: La disponibilidad de Zn está asociada con el pH del suelo, ya que al aumentar éste disminuye (García, 1987; INPOFOS, 1997). En los pH mayores de 7 esto parece que ocurre por la formación de zincato de calcio (ZnO_2Ca) que es insoluble. La temperatura del suelo baja, afecta negativamente la disponibilidad del Zn (García, 1987). En la planta disminuye también el Zn cuando la densidad aparente del suelo aumenta, debido a efectos en el mecanismo de respiración y por disminución en la difusión de este elemento de la masa del suelo hacia las raíces de las plantas (Lora, 1978; Lucas y Knezek, 1983; García, 1987; Canchano, 1990).

El Zn tiende a asociarse con los sulfuros. Presenta serios problemas de fijación con los materiales de arcilla. El Zn generalmente se encuentra adsorbido por las arcillas.

Cuando se presenta Mn en los suelos en cantidades suficientes es cuando más se presenta la adsorción de Zn (Fassbender y Bornemisza, 1987; Canchano, 1990). Las

reacciones de adsorción del Zn también pueden ocurrir en muchos tipos de superficies que incluyen minerales de la fracción arcilla, materia orgánica y minerales calcáreos (INPOFOS, 1997). Por otra parte, el Zn^{++} es muy semejante al Mg^{++} en tamaño y carga; por esto, el Zn puede reaccionar con ciertas arcillas para desplazar el Mg^{++} , volviéndose relativamente no asimilable (Lora, 1978).

Malavolta (1980) menciona que se ha encontrado que el Zn en la nutrición de la planta está adversamente afectado por el suministro de N y P, principalmente en aquellas plantas con moderada a alta sensibilidad a deficiencia de Zn. Parece ser que el problema se debe a una inhibición en la translocación del Zn, de la raíz a otras partes de la planta (Lora, 1978).

Boro: Según Eaton (1980), citado por Baquero y Lora (1997) el B total que se encuentra en el suelo se puede dividir en formas orgánicas e inorgánicas. El B inorgánico se encuentra disuelto en la solución del suelo como ácido bórico en boratos solubles o adsorbido sobre la superficie de las arcillas. El B orgánico se encuentra en forma de ésteres de ácido bórico con compuestos hidroxilicos que se originan en los procesos de transformación de la materia orgánica (Fassbender, 1982; Baquero y Lora, 1997).

La disponibilidad del B en los suelos está relacionado con los factores que inducen su fijación. La fijación de B aumenta con el pH de los suelos (Devlin, 1970; Gupta, citado por Baquero y Lora, 1997), siendo mínima a pH cerca de 5 y máxima a pH entre 8 y 9 (Canchano, 1990; Fassbender, 1982; Gómez y Leguizamón, 1975; Guerrero, 1984; Lora, 1978). La característica estructural micácea de las arcillas es también generadora de fijación de B; esta fijación se da en el orden vermiculita más que caolinita y ésta más que montmorillonita (Lora, 1978).

También contribuyen a la fijación de B los óxidos e hidróxidos de Fe y Al; posiblemente esta fijación se deba al intercambio aniónico, absorción de moléculas de ácido bórico y a enlaces de hidrógeno. Los suelos con alto contenido de materia orgánica son altamente fijadores de B; la fijación por humus se lleva a cabo por reacciones de dihidroxicompuestos de la materia orgánica (Lora, 1978).

En suelos con alto contenido de Ca se presentan generalmente deficiencias de B, debido

a que se aumenta la absorción de Ca y por tanto se aumentan los requerimientos de B para mantener una relación apropiada entre estos dos nutrimentos (Lora, 1978); con el K la relación es directa, pero con el P y el N, la relación es inversa (Canchano, 1990).

La humedad es un factor importante en el caso del B, puede presentarse acumulación excesiva de B en los horizontes superficiales de zonas áridas y por el contrario en zonas muy lluviosas se presentan contenidos muy bajos (Baquero y Lora, 1997). La sequía disminuye la mineralización de la materia orgánica y por lo tanto el suministro de B para las plantas (Berger, 1949, citado por Baquero y Lora, 1997; Gómez y Legizamón, 1975; Guerrero, 1984).

El efecto de la textura es menos importante que el pH o la materia orgánica. Los suelos arenosos son generalmente más bajos en boro que los arcillosos debido a la mayor capacidad de retención del nutrimento de estos últimos (Lora, 1978). Los suelos de textura gruesa que son bajos en materia orgánica tienden a ser bajos en B disponible (Lucas y Knezek, 1983).

Cobre: La disponibilidad del Cu disminuye al aumentar el pH (Lora, 1978; Tisdale y Nelson, 1977; Guerrero, 1984); de otra parte, la retención del Cu, la cual aumenta al incrementarse el contenido de materia orgánica, debido a la formación de quelatos orgánicos complejos muy estables, también disminuye la disponibilidad de este elemento (Villota, 1970). Al respecto, Guerrero y Burbano (1978) señalan que la acción acomplejante de la alófana sobre la materia orgánica es causante de una acentuada disminución en la disponibilidad de Cu, Zn y Mn.

En relación con la interacción del Cu con otros elementos se ha encontrado que altos niveles de N, P y Zn pueden inducir deficiencia de Cu (Ortiz, 1997; Lucas y Knezek, 1983). Existe además un antagonismo mutuo entre Cu y Mo; parece que el Cu interfiere con la función del Mo en la reducción enzimática de los nitratos (Lora, 1978).

Molibdeno: Es un elemento que generalmente permanece en la estructura cristalina o cuerpo de las arcillas o acomplejado con la materia orgánica (Canchano, 1990)

Fassbender (1982), Canchano (1990) y Guerrero (1984), mencionan que el Mo aumenta

su solubilidad a medida que aumenta el pH del suelo, debido a que la liberación de Mo es el resultado de un intercambio aniónico entre los iones molibdato e hidróxido. Es fijado por los sesquióxidos, más por el Fe que por el Al, posiblemente por intercambio de iones OH^- . La haloisita fija más Mo que la monthmorillonita y ésta más que la caolinita.

La sequía de los suelos aumenta la deficiencia del Mo; en suelos pantanosos o turbosos la deficiencia de Mo esta relacionada con la retención de Mo por ácidos húmicos insolubles derivados de turba. La adición de P al suelo genera una buena adsorción del Mo. Cuando el suelo presenta altas cantidades de S o este elemento se agrega, el Mo disminuye debido a que los iones MoO_4^- y SO_4^- compiten durante la etapa de absorción por parte de las raíces (Fassbender, 1982).

En general pueden esperarse deficiencias de Mo bajo las siguientes circunstancias: en suelos con cantidades adecuadas de Mo total pero con pH inferior a 6, en los cuales el elemento es absorbido por minerales y coloides; en suelos muy meteorizados; en suelos con alto contenido de alofana; en suelos con bajo contenido de Mo total con pH neutro o alcalino, cultivados intensamente por varios años; en suelos arenosos lavados; en suelos inceptisoles; y en suelos orgánicos ácidos (histosoles) (Fassbender, 1982; Lucas y Knezek, 1983; García, 1987; Ortiz, 1997).

Toxicidad por aluminio y manganeso: Los suelos extremadamente ácidos a fuertemente ácidos (pH 4,0 – 5,5) tienen en la solución una alta actividad de hidrogeniones (H^+) y compuestos de Fe^{++} , Mn^{++} y Al^{+++} , con marcadas posibilidades de toxicidad para los cultivos. En suelos ácidos las plantas, generalmente, presentan un desarrollo restringido y una baja producción ya que se afectan severamente los sistemas radicular y reproductivo. Estas plantas tienen raíces cortas, gruesas y poco ramificadas y una escasa formación de granos y frutos (Muñoz y Molina, 1990).

Las condiciones de oxido-reducción, sobresaturación y compactación, pueden generar reducción del Mn^{++} o de su forma mangánica, acumulándose en forma tóxica para las plantas (Guerrero, 1991).

La solubilidad del Mn aumenta al disminuir el pH del suelo y llega a presentar toxicidad a pH entre 4 a 5 (Fassbender, 1982). Sin embargo, en suelos inundados o compactados, el

exceso de Mn puede limitar el crecimiento de las plantas a pH 6,0 o mayor. La temperatura también aumenta su solubilidad. La mayor liberación del Mn se genera bajo condiciones de alta humedad (Salinas, 1984).

Contrariamente al efecto tóxico del Al en las plantas, el Mn no parece afectar directamente el sistema radicular, pero puede reducir su crecimiento indirectamente al afectar la parte aérea (Salinas, 1984).

El contenido de Al ⁺⁺⁺ que puede causar toxicidad en una especie vegetal está relacionado con su concentración, con el grado de saturación del complejo de intercambio y, con el grado de tolerancia de la especie al Al ⁺⁺⁺. En la solución del suelo concentraciones de 6 - 12 o más ppm de Al ⁺⁺⁺ se consideran potencialmente tóxicas para las plantas (Salinas, 1981; Londoño y Valencia, 1983)

La reactividad del Al en suelos ácidos varía con la forma en la cual ocurre, disminuyendo en orden desde la forma Al³⁺ soluble en agua a monómeros de OH-Al, hasta formas polimerizadas de hidróxidos de Al. La solubilidad del Al es baja dentro del rango de pH entre 5,5 a 7,5 donde es precipitado y permanece relativamente insoluble como Al (OH)₃. Por debajo de pH 5,5 y sobre pH 7,5, las concentraciones aumentan rápidamente. Sin embargo, la solubilidad del Al y la severidad de sus efectos tóxicos sobre las plantas son afectadas por varios factores del suelo, incluyendo pH, mineral de arcilla predominante, concentración de otros cationes y contenido de materia orgánica (Salinas, 1984; García, 1987).

1.2.2 Funciones de los microelementos en las plantas

Hierro: El hierro (Fe) es absorbido por las raíces de las plantas en forma iónica o como sales orgánicas complejas. Aunque el ion férrico puede ser absorbido por las plantas, la forma activa metabólicamente es el ion ferroso, ya que la forma férrica necesita ser reducida en la superficie de las raíces antes de ser transportada dentro del citoplasma (Tisdale y Nelson, 1977; CIAT, 1981; Ortíz, 1987).

Este elemento tiene funciones específicas en la activación de varios sistemas enzimáticos: hidrogenasa, fumárica, catalasa, oxidasa y citocromos (Tisdale y Nelson,

1977; CIAT, 1981; Ortíz, 1987). Las mayores funciones metabólicas del Fe son la formación de complejos y los sistemas reversibles de oxido-reducción. Las hemoproteínas y las proteínas de hierro y azufre son dos grupos bien definidos de sistemas redox que contienen Fe. Dentro de las hemoproteínas se encuentran los citocromos, la citocromo oxidasa, las catalasas, las peroxidases y la leghemoglobina (Clavijo, 1994).

Clavijo (1994), menciona que en las proteínas de Fe y S, el Fe se combina con los grupos tioles de la cisteína o directamente con S-orgánico. El compuesto más importante de este grupo es la ferredoxina que actúa como un transportador de electrones en varios procesos metabólicos.

El Fe cumple un papel fundamental en la biosíntesis de clorofila porque controla la formación del ácido delta aminolevulínico y de la protoclorofilida los cuales son intermediarios importantes en la síntesis del pigmento (Clavijo, 1994) y además es portador de electrones en los procesos bioquímicos (respiración, fotosíntesis, óxido-reducción de nitratos y sulfatos) (CIAT 1981; Price *et al.*, 1983; INPOFOS, 1997).

El Fe puede reemplazar parcialmente al molibdeno como cofactor necesario para el funcionamiento de la reductasa del nitrato. Es importante también para la enzima flavina que reduce el citocromo -c (Tisdale y Nelson, 1977; Ortíz, 1987).

El Fe en las plantas se almacena en el estroma de los cloroplastos como fitoferritina (III) (Clavijo, 1994).

Zinc: El zinc es tomado por las raíces de las plantas en forma de ion Zn^{2+} y puede ser también absorbido bajo forma de un complejo molecular de agentes queláticos tales como el EDTA (Tisdale y Nelson, 1977, Ortíz, 1987). En las plantas, el Zn no es oxidado ni reducido y actúa como componente metálico de enzimas o como cofactor (Clavijo, 1994).

Se conocen más de 30 fermentos que contienen Zn. Este entra en la composición entre otros de la fosfatasa alcalina, malato deshidrogenasa, alcohol deshidrogenasa y glutamato deshidrogenasa. Muchos complejos metalo-fermentativos se activan con Zn.

Es componente de muchas o quizás de todas las deshidrogenasas que requieren la presencia del NAD. La participación del Zn en la composición de los fermentos de la glucólisis y de la respiración, como también de muchos NAD y algunos FAD-dependientes fermentos, da la posibilidad de comprender su rol en los ciclos glucolítico y respiratorio (Yágodin *et al.*, 1986).

La función del Zn en las plantas es la de un metal activador de enzimas: enolasa, aldolasa, decarboxilasa, oxalacética, lecitinasa, cisteína desulfhidrasa, histidina deaminasa, anhidrasa carbónica, dihidropeptidasa y peptidasa glicil glicínica (Tisdale y Nelson, 1977; Ortiz, 1987). El Zn también hace parte de la estructura de la alcohol deshidrogenasa, superóxido dismutasa (SOD) de Cu y Zn, anhidrasa carbónica y RNA polimerasa (Clavijo, 1994).

Clavijo (1994) menciona que el Zn se asocia con el metabolismo de carbohidratos y la síntesis de proteínas porque afecta la actividad de los siguientes enzimas: deshidrogenasas, aldolasas, isomerasa, transfosforilasas y RNA y DNA polimerasas. En el metabolismo de carbohidratos, el Zn regula la acción de la fructosa 1,6 bifosfatasa, la cual está encargada de la distribución de los azúcares entre el cloroplasto y el citoplasma, y la acción de las aldolasas que facilitan la transferencia de fotosintatos de 3 carbonos al citoplasma y el paso de azúcares de 6 carbonos a la glicólisis.

El Zn es constituyente estructural de los ribosomas y su deficiencia afecta la actividad de la Rnasa, ocasionando incrementos en la degradación del RNA y en consecuencia en la formación de proteínas (Clavijo, 1994)

Uno de los papeles atribuido al Zn en la fisiología de la planta está relacionado con la biosíntesis del ácido indolacético (IAA) (Malavolta, *et al.*, 1964, citado por Ortiz, 1998). El modo de acción del Zn en el metabolismo de las auxinas y especialmente del AIA es a través de su participación en la formación del precursor triptofano (Clavijo, 1994).

Cierto papel en la fotosíntesis puede desempeñar el fermento carboanhidrasa que contiene Zn. Su función en las plantas verdes consiste en la captura del anhídrido carbónico que puede evadirse a la atmósfera en el proceso de fotorrespiración. Quizá la carboanhidrasa sea necesaria para la penetración del ácido (o anhídrido) carbónico a

través de la membrana del cloroplasto mediante la fijación de CO_2 ó HCO_3^- , en dependencia de la forma del ácido carbónico (Yágodin et al., 1986).

A costa de cierta estabilización de la respiración con brusco cambio de temperatura, el Zn eleva la resistencia de las plantas al calor y al frío. Con deficiencia de Zn se manifiesta en las plantas alta concentración de P-inorgánico y disminuye el contenido de fósforo en la composición de los nucleótidos y también de los lípidos y ácidos nucleicos (Yágodin et al., 1986).

El rango de la concentración de Zn en las hojas va de 10 a 90 ppm (Canchano, 1990).

Boro: Este elemento es absorbido por las plantas en una o más de sus formas iónicas, tales como: $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ · H_2BO_3^- , HBO_3^{3-} ó BO_3^{3-} . El B por formar complejos orgánicos, no puede desplazarse de un órgano hacia otro y las plantas necesitan un abastecimiento constante del elemento. La importancia fisiológica del B es muy diversa y se explica por la capacidad del ácido bórico de formar complejos con diferentes compuestos orgánicos que contienen en su estructura grupos hidroxílicos. La función más estudiada y mejor comprendida, se relaciona con su papel en el metabolismo y translocación de carbohidratos. Este elemento regula la degradación de la glucosa tanto en la glicólisis como en la vía de las pentosas-fosfato. Igualmente, actúa como transportador al combinarse con el 6-fosfogluconato y otros hidratos de carbono, para formar complejos azúcar-borato, los cuales atraviesan más fácilmente las membranas celulares que los azúcares solos que son moléculas altamente polares y por lo tanto de difícil translocación (Stoller, 1990; Tisdale y Nelson, 1977; Price et al., 1983; Tiffin, 1983; Ortiz, 1987; Canchano, 1990).

La intervención del B en el metabolismo y migración de azúcares, según Stoller (1990); Ortiz, (1987); Tisdale y Nelson, (1977); Devlin, (1970); Yágodin et al (1986) y López (1978) incide finalmente en todos los procesos del desarrollo vegetal que requieren de suficiente y continuo suministro de azúcares como son la germinación del grano de polen, crecimiento del tubo polínico, formación y desarrollo de flores, frutos, semillas, tubérculos y diferenciación de meristemas. Otra intervención metabólica del B está relacionada con los procesos de síntesis y degradación de fenoles, e indirectamente, con la actividad de la polifenol - oxidasa. Por ello, en situaciones de bajo suministro de B a las plantas, hay

acumulación de fenoles con el consecuente incremento de la susceptibilidad a enfermedades por la no circulación de azúcares (que se acumulan en las hojas fotosintéticamente activas y no migran), lo cual constituye un mejor sustrato para los patógenos.

Según Yágodin *et al.* (1986), la regulación de la cantidad de auxinas y fenoles, al parecer, es la función biológica fundamental del B, que no entra en la composición de los fermentos, pero activa la auxinoxidasa y la B-glucosidasa.

El B también interviene en el metabolismo del N, regulando procesos enzimáticos en la síntesis de proteínas y en las vías de incorporación al metabolismo de las formas amoniacales y de otros compuestos nitrogenados solubles. De esta manera, el B incide finalmente en la disponibilidad de las bases nitrogenadas indispensables en la síntesis de ácidos nucleicos (Stoller, 1990; Ortiz, 1987; Tisdale y Nelson, 1977; Devlin, 1970).

También participa en la biosíntesis y metabolismo de sustancias pécticas, lignina y callosa, lo cual involucra al B en los procesos de formación, diferenciación y división de paredes celulares. Este efecto se hace más evidente en los sitios de activa diferenciación y multiplicación celulares, como son los puntos meristemáticos y los frutos y órganos de reserva en formación (Devlin, 1970; Yágodin *et al.*, 1986).

Este elemento en las plantas forma complejos con estructuras polihidroxilicos con configuraciones cis-dioles los cuales al reaccionar con el ácido bórico producen mono y diesteres estables (Price *et al.*, 1983; Clavijo, 1994).

El contenido medio de boro en las plantas es de 0,0001% ó 0,1 mg por 1 kg de masa (Yágodin *et al.*, 1986). Para un desarrollo normal de la planta, debe existir dentro de ella un balance adecuado Ca:B y K:B. Este balance depende de la especie de planta, pero en general, una relación Ca:B adecuada está en el intervalo de 80:1 - 1200:1. La relación K:B es de 25:1 - 250:1 (Lora, 1978).

López (1978), menciona que la concentración del elemento en los meristemas, raíces, frutos y tejidos de reserva es mucho menor que en las hojas. En las hojas inferiores de una planta puede haber boro en tal cantidad como para causarles daño, al mismo tiempo

que las células de los meristemos apicales demuestran síntomas de deficiencia en el mismo elemento

Cobre: El cobre (Cu) es tomado por las plantas en forma de ión cúprico Cu^{2+} , y puede ser absorbido como una sal de un complejo orgánico tal como el EDTA (Tisdale y Nelson, 1977; Ortíz, 1987).

La mayoría de sus funciones como nutriente se basan en su participación en reacciones redox ligado enzimáticamente a oxidasas terminales y reaccionando directamente con oxígeno molecular (Clavijo, 1994).

En la célula vegetal cerca de dos terceras partes del Cu puede encontrarse en estado insoluble, combinado. El 70 % del Cu total que se encuentra en la hoja se concentra en los cloroplastos. La función fisiológica del Cu se predetermina en gran parte en su participación en la composición de las proteínas y fermentos con contenido de Cu que catalizan la oxidación de los difenoles e hidroxilación de los monofenoles: ordodifenol oxidasa, polifenol oxidasa y tirosinasa (Yágodin *et al.*, 1986).

Es un metal activador de varias enzimas entre las cuales están la tirosinasa, lacasa, oxidasa del ácido ascórbico, y butiril Co-A de hidrogenasa. La fenolasa es requerida para la síntesis de lignina, alcaloides y sustancias melanóticas y la lacasa para la biosíntesis de plastoquinona en la membrana tilakoide de los cloroplastos (Tisdale y Nelson, 1977; Ortíz, 1987).

El hecho de que la citocromo oxidasa contenga Cu (así como Fe) establece un papel metabólico esencial para el Cu. Sin embargo, se desconoce cómo cualquier proteína con Cu identificado se vuelve limitante para el crecimiento de las plantas deficientes en Cu (Price *et al.*, 1983; Yágodin *et al.*, 1986). Otra enzima que contiene por lo menos 4 átomos de Cu por molécula es la ascorbato oxidasa, la cual cataliza la oxidación del ácido ascórbico para producir ácido dehidroascórbico en el citoplasma y en paredes celulares (Clavijo, 1994).

Más del 50% del Cu que se encuentra en los cloroplastos está ligado a la plastocianina, la cual es un componente de la cadena transportadora de electrones del fotosistema I. Sin

embargo, una baja tasa fotosintética también puede deberse a la participación de Cu en la superóxido dismutasa (SOD) y en la biosíntesis de plastoquinona, componente de la cadena transportadora de electrones entre los dos sistemas (Clavijo, 1994; Yágodin et al., 1986).

Este elemento cumple determinadas funciones en el metabolismo del N ya que entra en la composición de los fermentos nitrito-reductasa, hiponitrito-reductasa y reductasas del óxido de N. Como resultado de la influencia del Cu sobre la biosíntesis de la leghemoglobina y sobre la actividad de una serie de sistemas fermentativos, este elemento refuerza el proceso de fijación de N molecular de la atmósfera y la asimilación de N del suelo y de los fertilizantes (Yágodin et al., 1986).

En la literatura se mencionan datos acerca del aumento de la resistencia del complejo clorofila-proteína bajo la acción del Cu, así como también sobre la reducción de la destrucción de la clorofila en la oscuridad y, en general, sobre la acción positiva del Cu en el proceso de reverdecimiento en todas las plantas (Yágodin et al., 1986).

A costa de la inactivación de las auxinas con el fermento polifenoloxidasas, que contiene Cu, este último reduce la acción inhibitoria sobre el aumento de altas dosis de estas sustancias de crecimiento. El pigmento negro, melanina, se forma por la oxidación del aminoácido de tirosina con ayuda del fermento tirosinasa, en cuya composición entra el Cu. La ausencia del fermento dado provoca el albinismo. El oscurecimiento de las patatas y manzanas golpeadas, también es provocado por la tirosinasa (Yágodin et al., 1986).

Como se sabe, el etileno retiene la diferenciación de los tejidos e inhibe la división de las células, la síntesis del ADN y el crecimiento de las plantas. Para la biosíntesis del etileno es indispensable el fermento con contenido de Cu. La reducción del contenido de sustancias inhibitorias fenólicas en las plantas conduce al estiramiento de los tallos y al encamado de los mismos. Al parecer, gracias a la acción reguladora sobre el contenido en las plantas de inhibidores de crecimiento de naturaleza fenólica, el Cu eleva la resistencia de las plantas al encamado. El Cu aumenta la resistencia de las plantas a la sequía, a las heladas y al calor (Yágodin et al., 1986).

El contenido medio de Cu en las plantas es de 0,2 mg por 1 kg de masa, y depende de las peculiaridades de las especies vegetales y de las condiciones edáfico-climáticas (Yágodin *et al.*, 1986).

Molibdeno: Este elemento es absorbido por las raíces de las plantas como ión MoO_4^{2-} . El molibdeno interviene en la fijación, asimilación y reducción del nitrógeno, siendo estos procesos esenciales para la síntesis de aminoácidos y proteínas. También interviene en el metabolismo del P, en la acumulación de nitratos y en la actividad de la oxidasa del ácido ascórbico (Tisdale y Nelson, 1977; Price *et al.*, 1983).

Clavijo (1994), manifiesta que el principal papel bioquímico del Mo en las plantas se reduce a participar en la regulación de su intercambio de N, y más concretamente en los procesos de reducción de los nitratos, los nitritos y la hidroxilamina. El transporte de electrones en estos procesos de reducción se efectúa por las enzimas nitrato-reductasa, nitrito-reductasa e hidroxilamino-reductasa con la participación del Mo. En estos procesos la valencia del Mo cambia de pentavalente a sexavalente.

Además, participa en una serie de procesos fisiológicos en las plantas relacionado con la biosíntesis de los ácidos nucleicos, respiración, síntesis de pigmentos y vitaminas, entre otros (Yagodin, *et al.*, 1986). En las células de las plantas el Mo interacciona con el P y favorece la síntesis de los ácidos nucleicos y las proteínas (Devlin, 1970).

Junto con el Co, el Cu y el Mn, el Mo participa como enzima en la elaboración de productos en el proceso de la fotosíntesis, los cuales son necesarios para la fijación biológica de N. Estos productos son la hemoglobina en los nódulos y las diferentes enzimas oxirreductasas. Sin el Mo las plantas pueden nodular pero no fijar N. El Mo y el Fe entran en la composición de las enzimas que se encuentran en los mitocondrios celulares de las bacterias fijadoras de N y en los nódulos de las leguminosas (Azcón, Barea y Olivares, 1988).

Este elemento aparece relacionado con el metabolismo del Cu y sulfatos en las plantas, además hace parte de algunas enzimas oxidadas (Canchano, 1990). Igualmente parece que está implicado en el metabolismo del P y del ácido ascórbico (Azcón, Barea y Olivares, 1988).

Los requerimientos de este elemento son bajos en relación con los otros nutrientes, y sus funciones están ligadas a cambios de valencia como un metal componente de enzimas, de allí que una ausencia de él sea motivo para generar un problema en la planta (Clavijo, 1994). El contenido de Mo en las plantas puede oscilar entre 0,1 y 300 mg en 1 kg de masa seca (Yagodin *et al.*, 1986).

1.2.2.1 Toxicidad por manganeso y aluminio

Manganeso: El manganeso (Mn) es absorbido por las plantas como ión manganeso, Mn^{2+} y en combinación molecular con ciertos complejos orgánicos tales como el EDTA (Tisdale y Nelson, 1977; Price *et al.*, 1983; Clavijo, 1994).

Al igual que los otros metales pesados, el Mn tiene funciones de activación de numerosas enzimas relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos, reacciones de fosforilación y ciclo del ácido cítrico, además con otros metales participa en la activación de enzimas tales como la arginasa, cisteína desulfhidrasa, desóxido denucleasa y fosfatasa. Es un activador específico de las enzimas prolidasa y glutamil transferasa. También interviene en ciertos procesos fotoquímicos tales como la reacción de Hill durante la fotólisis del agua. El fotosistema II contiene una manganoproteína que cataliza las primeras etapas de la liberación de O_2 . Cuando esta reacción no se lleva a cabo, se afecta la fotofosforilación y la reducción no sólo del CO_2 sino de nitrito y sulfato produciéndose una baja en la tasa de fotosíntesis y una desorganización del sistema lamelar del cloroplasto (Tisdale y Nelson, 1977; Price *et al.*, 1983; Clavijo, 1994; Malavolta, *et al.*, 1964, citado por Ortiz, 1998).

El Mn aumenta el contenido de azúcar, el contenido de clorofila y la solidez de su enlace con la proteína, mejora el reflujo de azúcar y refuerza la intensidad de la respiración (Yagodin *et al.*, 1986; Canchano, 1990).

Para la comprensión del papel fisiológico del Mn es importante señalar que él es un constituyente del fermento hidroxilamina-reductasa, generador de la reacción de reducción de la hidroxilamina hasta amoníaco, y del fermento de asimilación, que realiza la reducción del anhídrido carbónico en la fotosíntesis. El Mn juega importante papel en la activación de muchas reacciones, incluyendo las de transformación de los diácidos y

triácidos carbónicos que se forman en el proceso de respiración. Se supone que el Mn entra en la composición del fermento que sintetiza el ácido ascórbico (Yagodin et al., 1986).

El Mn desempeña un papel esencial en el mecanismo de acción del ácido indolacético que se utiliza como activador del crecimiento de las células. A la par con el Ca, el Mn contribuye a la adsorción selectiva de iones del ambiente exterior. En caso de exclusión del Mn del medio nutritivo se eleva la concentración de los elementos principales de nutrición mineral en los tejidos de las plantas y se vulnera la correlación de los elementos en el balance alimentario. Existen datos acerca de la influencia favorable del Mn sobre el transporte del P desde las hojas adultas inferiores hacia las hojas superiores y hacia los órganos reproductivos. El Mn eleva la capacidad de los tejidos a la retención de agua, reduce la transpiración e influye sobre la fructificación de las plantas (Yagodin et al., 1986).

El Mn pertenece a los metales con alto potencial de oxidación-reducción y puede fácilmente participar en las reacciones de oxidación biológica (Yagodin et al., 1986). Hace parte de las metaloproteínas donde actúa como componente estructural, sitio activo o simplemente como un sistema redox (Clavijo, 1994).

El contenido promedio de Mn en las plantas es de 1 mg por 1 kilo de masa. La mayor cantidad de este elemento está localizada en las hojas y en los cloroplastos (Yágodin et al., 1986). Los niveles críticos de deficiencia de Mn en las hojas varían entre 10–20 ug/g (con base en peso seco) en hojas maduras y son consistentes en la mayoría de especies o cultivares independientemente de las condiciones ambientales prevalecientes. En contraste, los niveles de toxicidad varían ampliamente entre especies de plantas y en función de las condiciones ambientales (García, 1998).

Aluminio: Este elemento no es esencial para las plantas, sin embargo el exceso de aluminio bloquea la absorción y translocación de otros nutrientes esenciales tales como P, Ca y Mg y algunos micronutrientes como Fe y B, agravando el problema nutricional causado por la atrofia de las raíces (Burbano, 1988).

Existen numerosos estudios que denotan diferentes grados de tolerancia al Al en algunos

cultivos. Varios investigadores están de acuerdo en que esta tolerancia diferencial de las plantas está ligada a mecanismos internos y externos que les permiten escapar total o parcialmente al efecto “dañino” del exceso de Al^{+++} . (Muñoz y Molina, 1990).

El Al^{+++} que puede causar toxicidad en una especie vegetal está relacionado con su concentración, con el grado de saturación del complejo de intercambio y con el grado de tolerancia de la especie al Al (Muñoz y Molina, 1990).

1.3 EVALUACIÓN DE LOS SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA EN PLANTAS

El diagnóstico de las deficiencias se realiza confrontando los resultados complementarios entre sí, de tres métodos de investigación: análisis de la planta, análisis del suelo y el examen visual de los síntomas exteriores (Ortiz, 1982)

Hay que distinguir dos categorías de carencia: las absolutas o primarias causadas por una pobreza del medio en un elemento para que la planta pueda absorberlo en cantidad suficiente. Bastará con añadir al suelo el elemento que falta para que la carencia desaparezca. Las inducidas, es decir el suelo no carece del elemento en cuestión, sino que la planta no puede absorberlo porque no se encuentra en estado asimilable, sino bloqueado, generalmente a causa de un pH no adecuado o a un antagonismo de iones. Por tanto, la carencia es indirecta. En este caso es preciso suministrarlo, directamente por las hojas o modificar las condiciones desfavorables del medio (Ortiz, 1982).

La experiencia adquirida en la caracterización visual de síntomas de deficiencia (o toxicidades) de nutrimentos, es un factor importante para su diagnóstico. Debe tenerse cuidado en definir problemas con base en los “síntomas típicos”, y por lo tanto sólo es válido en casos muy específicos (Flor, 1985; Malavolta *et al.*, 1989; García, 1998). Otros aspectos importantes a tenerse en cuenta es que a menudo un cultivo puede estar afectado por una deficiencia de un nutriente y no presentar síntomas. En esta condición, denominada "hambre escondida", no se presentan síntomas visibles, pero la planta no produce a todo su potencial (Malavolta *et al.*, 1989; INPOFOS, 1993).

Según Flor (1985) tres categorías de síntomas son importantes tener en cuenta: síntomas necróticos: muerte del protoplasma y los tejidos; son de naturaleza “regresiva”, aquí

figuran el marchitamiento, la quemazón, el vaneamiento, la momificación. Síntomas hiperplásticos: excesiva multiplicación o sobrecrecimiento; son de carácter “progresivo”, aquí figuran el gigantismo, el enrrollamiento, los tumores, la fasciación. Síntomas hipoplásticos: detención de la multiplicación, en él; son de carácter “represivo”, se encuentran la roseta, el aborto, el enanismo.

Por otra parte es necesario considerar que no hay solamente “síntomas visibles”, tales como algunos de los mencionados anteriormente. También hay “síntomas citológicos” (como cloroplastos pequeños), “síntomas químicos” (bajo contenido de clorofila, bajo contenido de almidones), “síntomas metabólicos” (reducción en la intensidad de la síntesis de proteínas) (Flor, 1985).

El patrón de distribución y redistribución de cada nutrimento mineral en la planta hace que los síntomas de deficiencia (desordenes nutricionales) se presenten en sitios específicos de ella; por lo tanto, el síntoma mismo, al igual que su localización, son la base del diagnóstico visual (CIAT, 1981; Howeler, 1981; García, 1998).

Los microelementos de alta movilidad en la planta, como el Mo, son traslocados de las hojas viejas hacia los tejidos jóvenes cuando la planta está en condiciones de deficiencia. Por esta razón, los síntomas de deficiencia de estos elementos aparecen inicialmente y en forma más acentuada en las hojas viejas de la planta (CIAT, 1981).

La deficiencia de microelementos de baja movilidad en la planta, por el contrario, se manifiestan inicialmente en las hojas y tejidos más jóvenes, debido a que estos nutrimentos se acumulan en las hojas viejas y no son traslocados a los puntos de crecimiento, donde son requeridos. Esto es lo que sucede en el caso del B (CIAT, 1981; INPOFOS, 1993).

Otros microelementos tienen un grado de movilidad entre media y baja dentro de la planta. Los síntomas de deficiencia de estos elementos, como el Cu, el Zn y el Fe, se presentan principalmente en las hojas jóvenes, y en menor grado en hojas intermedias de la planta (CIAT, 1981; INPOFOS, 1993).

II. METODOLOGIA

2.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

La investigación se realizó en la casa de malla, de la Universidad de Nariño, Torobajo, a una altitud de 2488 msnm. Según la clasificación de Holdridge (1979) la zona pertenece al bosque seco Montano Bajo (BsMB), con una temperatura y precipitación pluvial anual promedio de 14 °C y 707,6 mm, respectivamente.

2.2 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO

En el vivero de CORPONARIÑO, situado en la finca Lope, se seleccionaron las plántulas de laurel de cera, lo más homogéneas en cuanto a estado fitosanitario y edad. El material se trasladó a las instalaciones de la Universidad donde se procedió a romper el plástico que contenía las plántulas y lavar las raíces, evitando el desprendimiento y pérdida de las mismas.

El traslado de las plántulas a los recipientes definitivos se realizó envolviendo algodón alrededor del cuello de la planta e introduciéndolas en un hueco hecho con anticipación a las tapas de cada uno de los 48 recipientes plásticos, de un litro de capacidad, utilizados en el ensayo (Figura 1).

La provisión de oxígeno a los recipientes se hizo por aireación permanente a través de mangueras y capilares conectados a un compresor. El aire se depuró a través de una trampa de agua colocada en el centro del mesón sobre el que se encontraban los recipientes, tal como se muestra en la Figura 2.



Figura 1. Sistema para el montaje de las plántulas y la aireación en los recipientes



Figura 2. Vista general del ensayo, donde se muestra su ubicación, el montaje de las plántulas en los recipientes, el sistema de aireación empleado y la trampa de agua.

2.3 COMPOSICIÓN Y APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

En los recipientes se colocó solución nutritiva Hoagland y Arnon completa como fase adaptativa, en la cual las plantas permanecieron durante 21 días.

Posteriormente se cambió la solución nutritiva y se procedió a la inducción de síntomas de carencia de Fe, Zn, B, Cu y Mo, para lo cual se suministraron todos los elementos mayores, secundarios y menores, en formulaciones previamente establecidas exceptuando una de los elementos menores, que daba la carencia respectiva; y las toxicidades de Al y Mn, donde se aplicaron todos los elementos mayores, secundarios y menores y se adicionó una dosis de 50 ppm de cada uno de ellos, además se consideró un tratamiento testigo (solución nutritiva completa). La composición de las soluciones nutritivas empleadas se pueden observar en las Tablas 1, 2 y 3, y los tratamientos aplicados en el experimento se detallan en forma resumida en las Tablas 4 y 5.

Las soluciones fueron preparadas con reactivos químicamente puros. Se siguieron las recomendaciones de Bollard, citado por Hewitt (1966) para la preparación de los distintos tratamientos.

La renovación de las soluciones de todos los tratamientos se realizó cada 14 días. El hierro, se adicionó cada tres días y el pH se controló dos veces por semana para mantenerlo a un valor de $5,6 \pm 0,5$ para los recipientes en que se evaluó la carencia de microelementos y $5,0 \pm 0,5$ para las soluciones en que se evaluó la toxicidad de Al y Mn. La estandarización se realizó con soluciones de NaOH o HCl al 0,05 N

2.4 VARIABLES EVALUADAS

2.4.1 Absorción de solución nutritiva

La absorción de solución nutritiva por cada una de las 48 plántulas utilizadas en la investigación, (inducción de deficiencias y toxicidades minerales), se midió con base en la pérdida del volumen original de un litro de la solución nutritiva. Se utilizó agua desionizada para reponer dicho volumen. Las reposiciones se hicieron dos veces por semana, conjuntamente con la estandarización del pH de la solución nutritiva.

TABLA 1

COMPOSICION DE LA SOLUCION NUTRITIVA DE MACROELEMENTOS Y
ELEMENTOS SECUNDARIOS

Producto	Concentración de la solución patrón	ml de sol. patrón/ L de H ₂ O	Concentración final de solución nutritiva ppm
KNO ₃	1 M	6,0	84 NO ₃ ; 234,0 K
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1 M	2,0	56 NO ₃ ; 80,0 Ca
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1 M	1,0	24 Mg; 32,0 SO ₄
KH ₂ PO ₄	1 M	0,5	19 K; 15,5 PO ₄

TABLA 2

COMPOSICION DE LA SOLUCION NUTRITIVA DE MICROELEMENTOS

Producto	Solución patrón g/L H ₂ O	ml de sol. patrón/ L H ₂ O	conc. final del micronutriente (ppm)
H ₃ BO ₃	2,860	1	0,50 B
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,810	1	0,50 Mn
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,220	1	0,05 Zn
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,080	1	0,02 Cu
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,025	1	0,01 Mo
HIERRO			
5 g FeSO ₄ .7H ₂ O/litro (0,05%/v). Concentración de Fe 1.000 ppm.			
Agregar 1 ml de esta solución por litro de solución nutritiva dos veces por semana. (2 ppm de Fe en la solución nutritiva/semana)			

TABLA 3

COMPOSICIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA EL DESARROLLO DE LA
TOXICIDAD DE MANGANESO Y ALUMINIO

TOXICIDAD DE MANGANESO

-
- a. Solución nutritiva en Tabla 1
 - b. Solución nutritiva en Tabla 2
 - c. Solución de manganeso
-

Producto	Solución patrón g/Lt H ₂ O	ml de solución patrón/ Lt H ₂ O	Conc. Final en solución nutritiva (ppm)
MnCl ₂ ·4H ₂ O	3,6	50	50 Mn

TOXICIDAD DE ALUMINIO

-
- a. Solución nutritiva en Tabla 1
 - b. Solución nutritiva en Tabla 2
 - c. Solución de aluminio
-

Producto	Solución patrón g/Lt H ₂ O	ml de solución patrón/ Lt H ₂ O	Conc. Final en solución nutritiva (ppm)
Al(NO ₃) ₂ ·9H ₂ O	313	50	50 Al

TABLA 4

TRATAMIENTOS PARA INDUCIR LA CARENCIA DE MICROELEMENTOS, MEDIANTE
LA TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN CONDICIONES HIDROPÓNICAS

Tratamiento	Explicación
Completo	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, Na (microelementos).
Sin Hierro	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), B, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, Na (microelementos).
Sin Boro	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, Na (microelementos).
Sin Zinc	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), Fe, B, Mn, Cu, Mo, Cl, Na (microelementos).
Sin Cobre	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), Fe, B, Mn, Zn, Mo, Cl, Na (microelementos).
Sin Molibdeno	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), Fe, B, Mn, Zn, Cu, Cl, Na (microelementos).

TABLA 5

TRATAMIENTOS PARA INDUCIR LA TOXICIDAD DE ALUMINIO Y MANGANESO,
MEDIANTE LA TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN CONDICIONES
HIDROPÓNICAS

Tratamiento	Explicación
Completo	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, Na (microelementos).
Más Aluminio	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, Na (microelementos) y Al (50.000 ppm).
Más Manganeso	Se aplicó N, P, K (macroelementos), Ca, Mg, S (elementos secundarios), Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, Na (microelementos) y Mn (50.000 ppm)

2.4.2 Altura de las plantas

Para determinar esta variable, cada 14 días, se midieron las 48 plántulas desde el cuello de la raíz hasta la parte apical del tallo.

2.4.3 Longitud de la raíz

Cada 14 días, se sacaron las 48 plántulas de los recipientes y se procedió a medir la longitud de la raíz.

2.4.4 Peso de la materia seca de la parte aérea y de las raíces

A los 127 días después de haber iniciado con la investigación, se dio por terminada la misma, se sacaron de los recipientes las 48 plantas y en cada una se procedió a separar la parte aérea de las raíces (cortando las plantas en el cuello de la raíz) cada una de las partes se colocaron individualmente en bolsas de papel, previamente marcadas, en una estufa a 70°C durante 72 horas, procediendo luego a pesar la materia seca.

2.4.5 Sintomatología de estados carenciales

La descripción sintomatológica se efectuó periódicamente mediante el empleo de la Tabla Munsell para tejidos vegetales (Figura 3), seguimiento fotográfico de la evolución del síntoma y descripción de los cambios en la anatomía de la planta.

2.5 ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Las variables se sometieron a un análisis de varianza, considerando un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones. Para aquellas variables que presentaron diferencias estadísticas significativas, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey. Además se realizó un análisis de regresión y correlación entre las variables estudiadas (Little y Jackson, 1987; González, 1985).

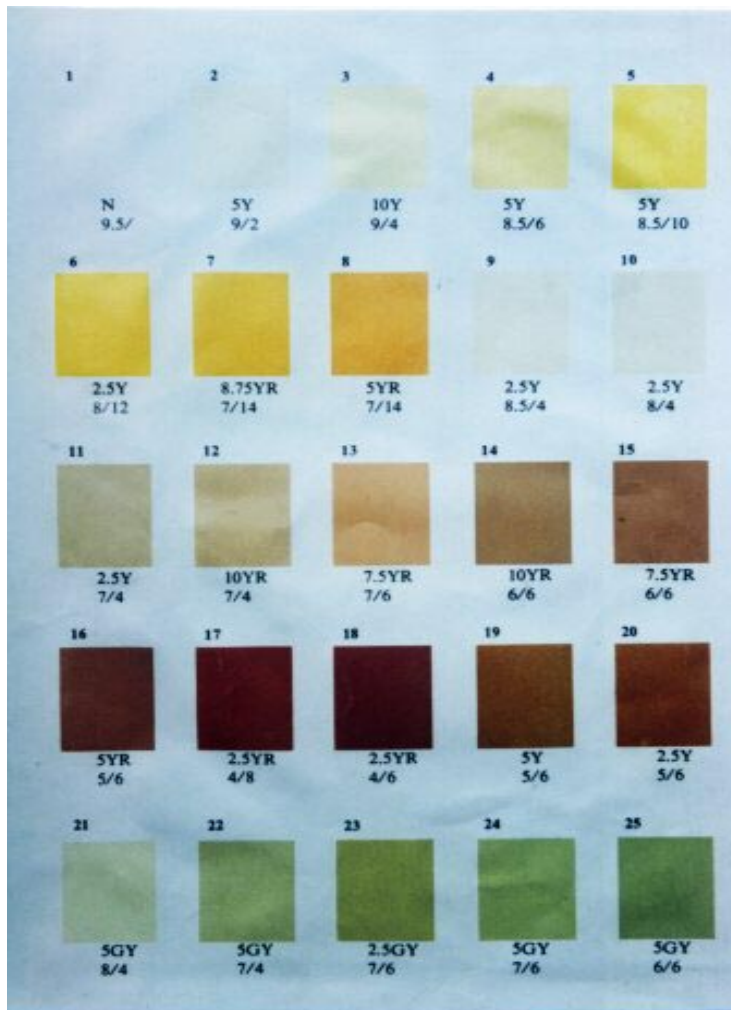


Figura 3. Tabla de colores (basada en Munsell Book of Color, 1966)

III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 SÍNTOMAS DE CARENCIA DE MICROELEMENTOS

3.1.1 Consumo de solución nutritiva

En la Figura 4 y la Tabla 1 del Apéndice, se observa el comportamiento de esta variable a través de las 37 evaluaciones, realizadas durante 127 días. En general, los consumos son bajos en las primeras evaluaciones y se incrementan al transcurrir el tiempo; un comportamiento similar encontraron Unigarro, Muñoz, Eraso y Tellez, (2000), al estudiar la carencia de macroelementos y elementos secundarios en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas.

El consumo acumulado promedio (por planta) de solución nutritiva durante 127 días de evaluación fue el siguiente: 1484 ml para las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva completa; 820,4 ml para las plántulas desarrolladas en la solución sin hierro; 1823,6 ml para las plántulas desarrolladas en la solución carente de zinc; 1354,8 ml para las plantas desarrolladas en la solución carente de boro; 1534,2 para las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de cobre y de 1284,6 ml para las plantas desarrolladas en la solución nutritiva sin molibdeno. Estos consumos son menores si se comparan con los encontrados por Unigarro y otros (2000) al evaluar la deficiencia de macroelementos y elementos secundarios en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas, donde el número de plantas por recipiente fue mayor (6 plantulas/recipiente de 10 lt) y se tuvo un mayor tiempo de permanencia de las plantas en la solución nutritiva (175 días).

El comportamiento variable ("picos") que se presentan a través de las evaluaciones se debe según Tisdale y Nelson (1977); Lora (1994); Lucas y Knezek (1983); INPOFOS

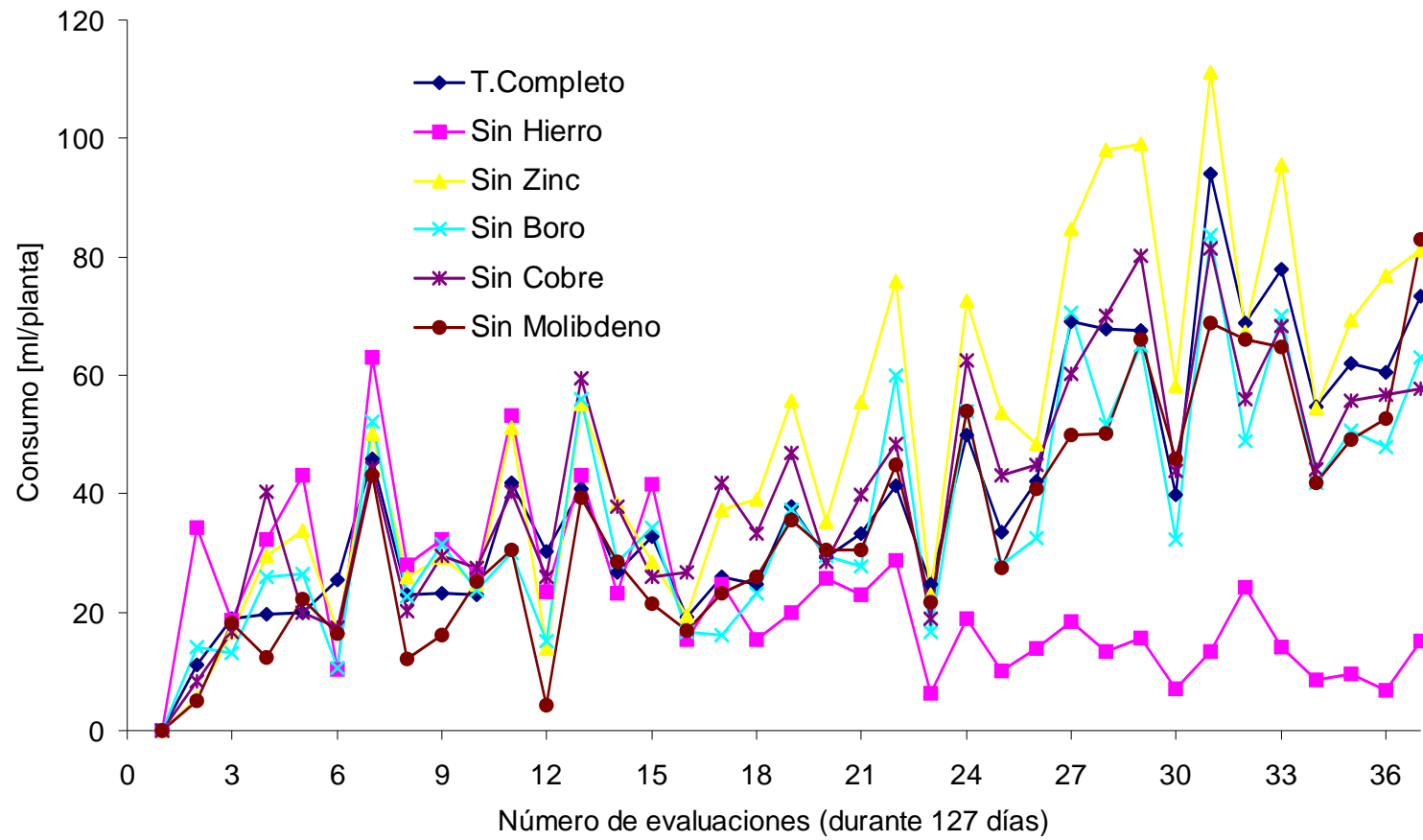


Figura 4. Consumo de solución nutritiva obtenido al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas

(1993); Moore (1983); Malavolta, Vitti y Oliveira (1989) y Unigarro y otros (2000), a que existen diversos factores, externos e internos, los que modifican la velocidad de absorción aumentando o disminuyendo ésta. Entre los factores externos mencionan la humedad relativa, luz, tensión de oxígeno, aireación, pH, temperatura y presencia de aniones y cationes en el medio (interacción); entre los factores internos se hace referencia a la potencialidad genética, crecimiento, estado iónico interno, nivel de carbohidratos, tamaño de las hojas y morfología de la raíz.

Al realizar el análisis de varianza para el consumo de solución nutritiva, acumulado durante 127 días (Tabla 4 del Apéndice), no se presentaron diferencias estadísticas. El resultado encontrado, se debe entre otros factores, a que únicamente en el tratamiento en el que se evaluó la carencia de hierro, las plantas presentaron severa defoliación y necrosis de las hojas, lo que según Unigarro, Muñoz, Eraso y Tellez, (2000) conlleva a una disminución en la tasa de fotosíntesis y respiración e indirectamente, tal como se observa en la Figura 4, a una disminución en la absorción de la solución nutritiva.

3.1.2 Altura de plantas

En la Figura 5 y la Tabla 2 del Apéndice, se observan los datos promedios por planta obtenidos a través de 10 evaluaciones, realizadas cada una de ellas con un intervalo de 14 días, en 127 días de duración del trabajo. En general, se observa un crecimiento (altura) continuo de las plantas a medida que transcurrieron las evaluaciones, excepto para las plantas en las que se evaluó la carencia de hierro, en las que el crecimiento se detuvo a partir de la octava evaluación, lo que indica que la deficiencia de hierro, en laurel de cera, se manifiesta, entre otros síntomas, por una inhibición en el crecimiento de la parte aérea, lo cual según Devlin (1970) se debe a una retención en la síntesis de proteínas y retraso en la división celular, lo que provoca una disminución en el tamaño de las células y especialmente en el ritmo de las divisiones.

En general, durante el período de evaluación, en las plántulas que se desarrollaron en la solución nutritiva completa, la altura de la parte aérea se incrementó, en promedio, 7,86 cm; la altura de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de hierro aumento en 1,14 cm; la altura de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva

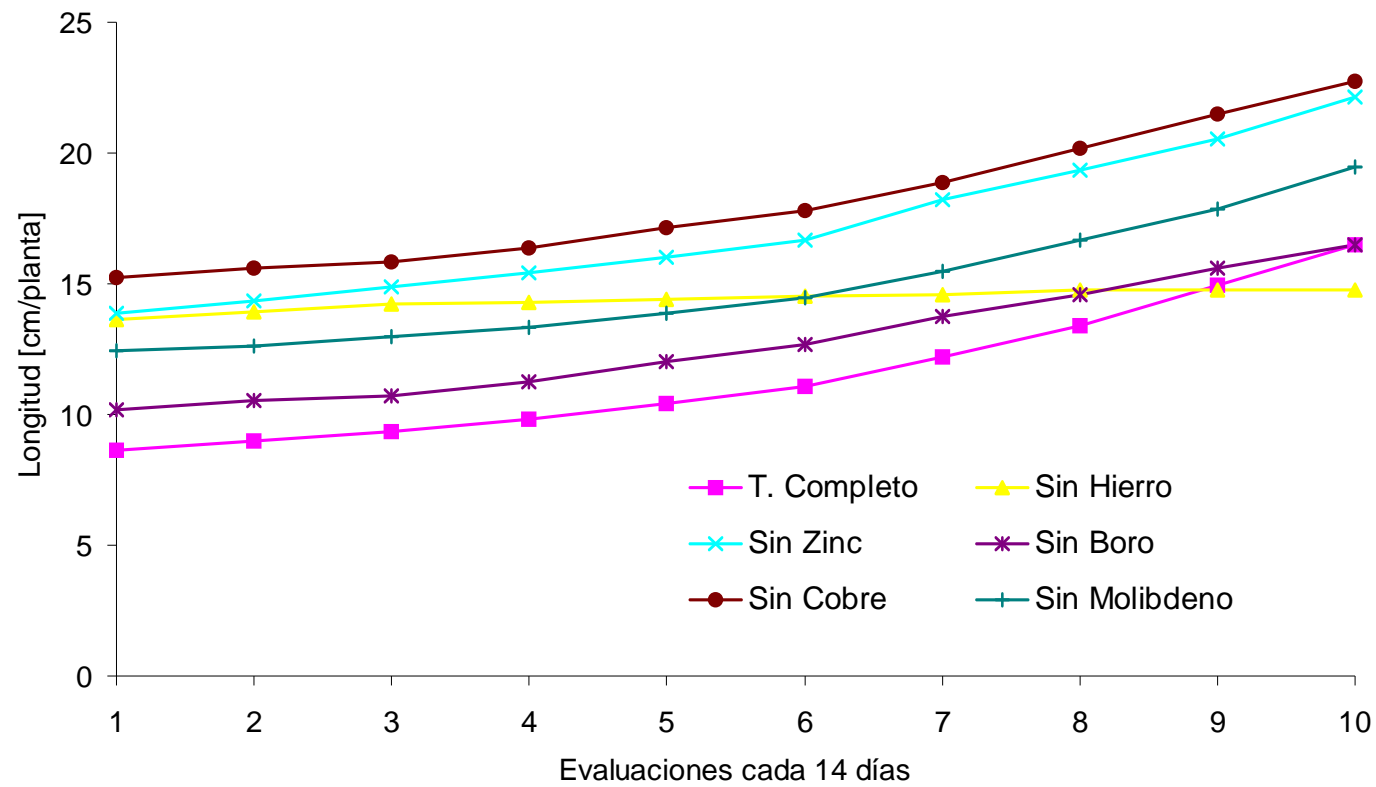


Figura 5. Altura de plantas obtenida al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas

carente de zinc se incrementó en 8,28 cm; la altura de las plántulas desarrolladas en la solución carente de boro se aumentó en 6,30 cm; la altura de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de cobre se incrementó en 7,50 cm y la altura de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva sin molibdeno en 7 cm (Figura 5).

Al realizar el análisis de varianza (Tabla 4 del Apéndice), para la altura de las plantas, obtenida en la última evaluación, no se presentaron diferencias estadísticas, lo que indicaría que en períodos cortos de evaluación (4,5 meses), después del trasplante (ya que en la investigación se seleccionaron plántulas con un tamaño adecuado para ser transplantadas al sitio definitivo), la altura de las plántulas de laurel de cera, no se vio afectada por retardo en el crecimiento (altura) por carencia de microelementos, sin embargo, existen algunos síntomas visuales (marchitamiento, necrosis, defoliación), en la parte aérea, que se mencionan más adelante, que pueden servir como guía para la identificación de síntomas de deficiencia de microelementos.

3.1.3 Longitud de la raíz

En la Figura 6 y Tabla 2 del Apéndice, se observa el comportamiento de esta variable a través de 10 evaluaciones, realizadas durante 127 días de investigación. Los datos indican que al contrario de lo que ocurre con el crecimiento de la parte aérea (altura), en la que el crecimiento es persistente a través del tiempo de evaluación, en la raíz se dió un crecimiento (longitud) rápido en las primeras semanas, disminuyendo éste en las últimas evaluaciones.

Durante el período de evaluación, las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de zinc presentaron un incremento promedio por planta de 7,92 cm; la longitud de la raíz de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de boro en 7,68 cm; la longitud de la raíz en las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de cobre en 7,64 cm; la longitud promedio de la raíz de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de molibdeno en 5,30 cm. Las raíces de las plántulas de laurel de cera, en la solución nutritiva sin hierro, presentaron un ligero incremento (promedio) de 1,98 cm/planta, ya que a partir de la sexta evaluación se detuvo su crecimiento, si lo comparamos con el obtenido en el tratamiento completo, el cual fue de 8,20 cm/planta, lo

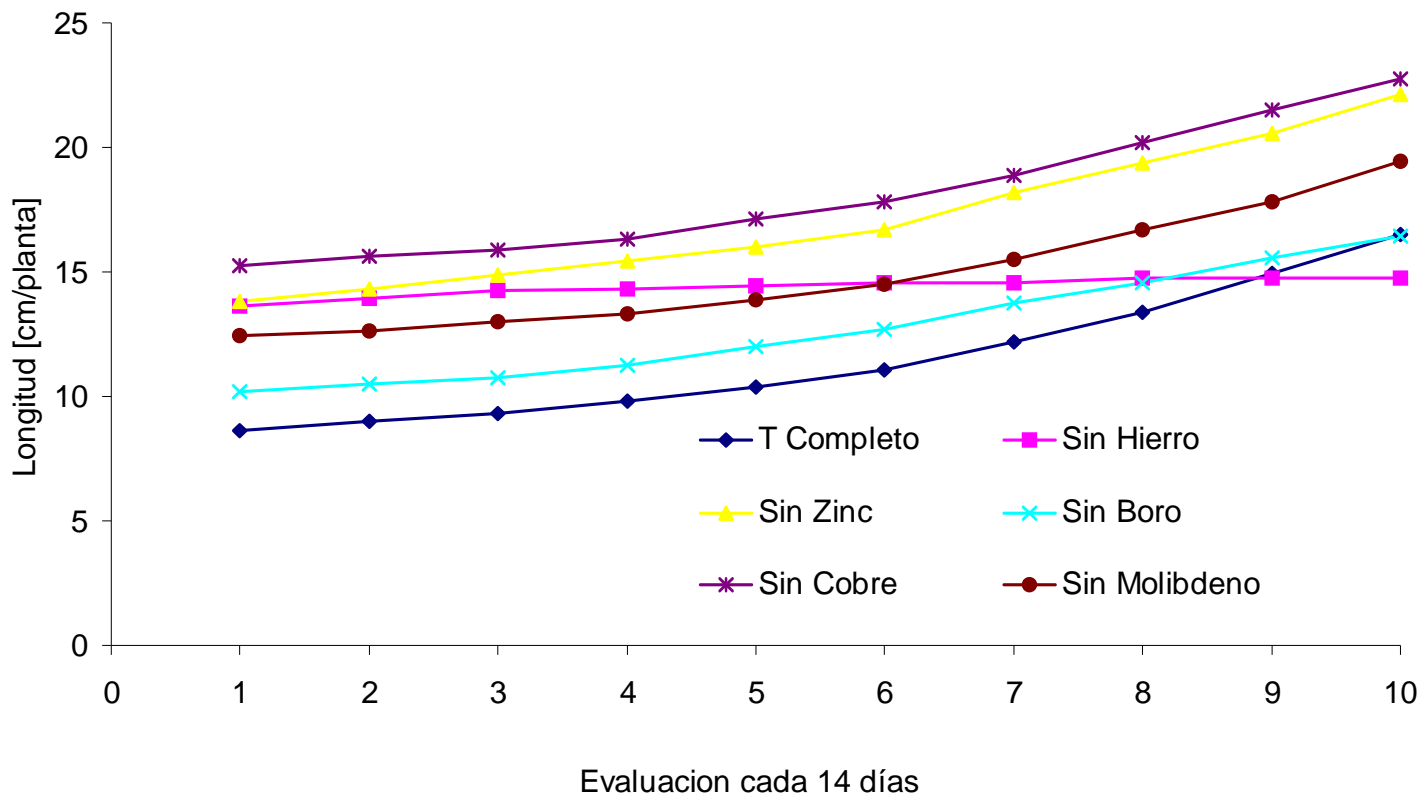


Figura 6. Longitud de la raíz obtenida al evaluar la carencia de microelementos en plantas de laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas

cual parece estar relacionado con la necrosis y defoliación que presentaron las hojas de las plántulas cuando se evaluó la carencia de hierro, lo que indirectamente limitaría el crecimiento (longitudinal) de la raíz.

Al realizar el análisis de varianza (Tabla 4 del Apéndice) para la longitud de la raíz alcanzada a los 127 días, no se presentaron diferencias estadísticas. Lo anterior indica que esta variable en un período corto de evaluación, como el que se tuvo en esta investigación, no puede ser utilizada como "medida" de la disponibilidad de nutrientes, sin embargo, como se menciona más adelante, la forma (visual) que adoptan las raíces (en la solución nutritiva), puede ser un buen elemento de juicio para diagnosticar la deficiencia de microelementos en laurel de cera.

3.1.2 Materia seca de la parte aérea

En la Figura 7 y la Tabla 3 del Apéndice se pueden observar los valores promedios obtenidos a los 127 días después de iniciada la investigación. Al realizar el análisis de varianza (Tabla 4 del Apéndice), se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 5 del Apéndice), se encontraron diferencias estadísticas entre el peso de la materia seca de la parte aérea obtenido por las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de zinc (4,27 g/planta) y el peso obtenido por las plantas desarrolladas en la solución nutritiva carente de hierro (0,39 g/planta); los resultados están asociados con la defoliación, marchitamiento y necrosis obtenida en las hojas de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de hierro.

Esta variable presentó un alto coeficiente de variación (Tabla 4 del Apéndice), de 67,98%, lo que posiblemente esta asociado con la gran variabilidad genética que presentan las plántulas utilizadas en el ensayo, sin embargo, la apariencia general que presentaron las plántulas desarrolladas en las diferentes soluciones evaluadas, permite la identificación de la carencia de los diferentes microelementos evaluados, como se observa más adelante.

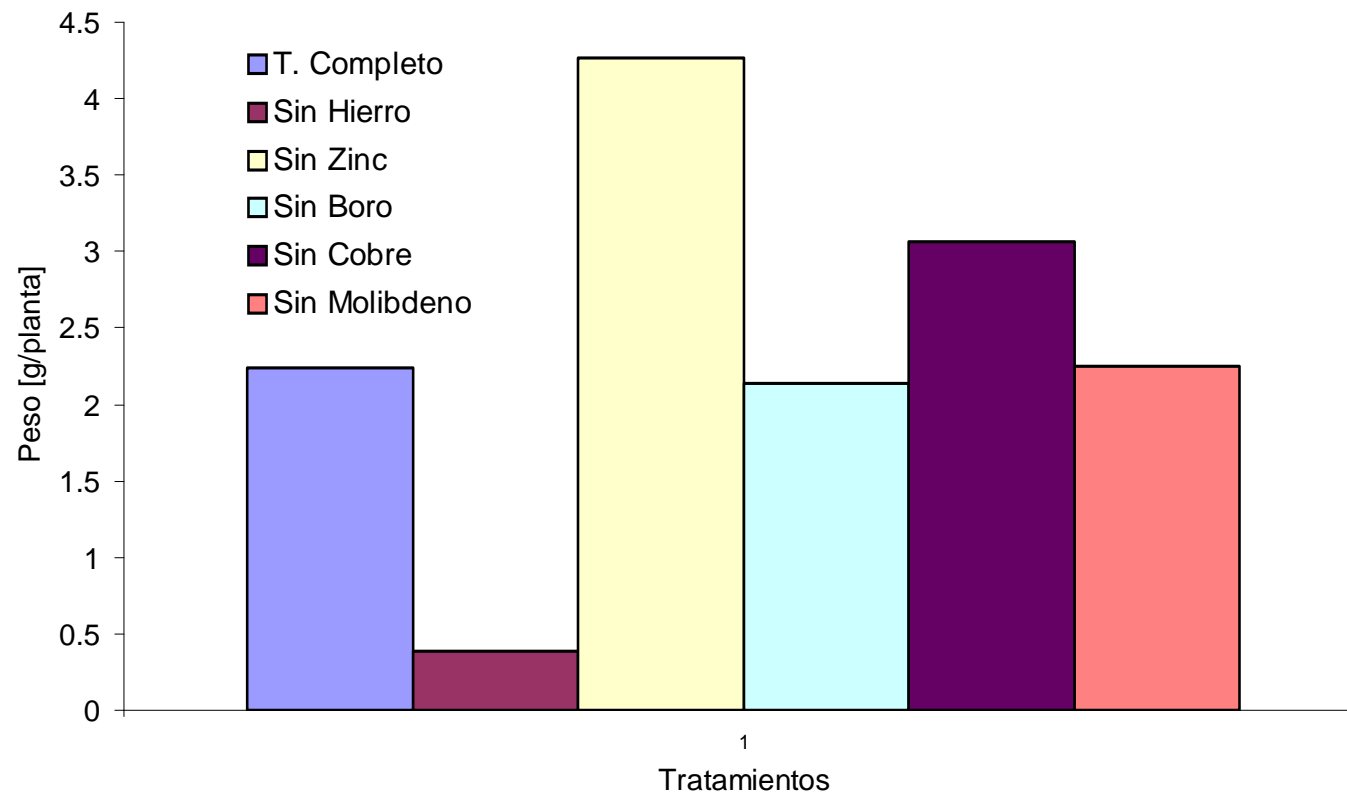


Figura 7. Materia seca de la parte aérea obtenida al evaluar la carencia de microelementos en plantas de laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas

3.1.3 Materia seca de la raíz

En la Figura 8 y la Tabla 3 del Apéndice, se observan los valores promedios obtenidos al final del período de investigación. Al realizar el análisis de varianza (Tabla 4 del Apéndice), no se presentaron diferencias estadísticas. En igual forma que el peso de la materia seca de la parte aérea, el peso seco de la raíz, presentó un alto coeficiente de variación (53,85%), posiblemente, como se mencionó anteriormente, debido a la variabilidad genética del material vegetal utilizado.

Por las razones anteriores, es difícil determinar la carencia de microelementos, evaluando el peso de la materia seca de la raíz; sin embargo, como se mencionó anteriormente, la apariencia visual (morfología), puede ser un buen elemento para su diagnóstico.

3.1.4 Correlación entre las variables estudiadas

Al realizar el análisis de varianza de la correlación lineal para el tiempo (X) y la altura de las plantas (Y), y el tiempo (X) y la longitud de la raíz (Y), esta fue altamente significativa para todos los tratamientos (carencia de microelementos) evaluados (Tabla 6 del Apéndice), lo que indica un alto grado de dependencia a incrementarse la longitud de la parte aérea (altura) y la longitud de la raíz a medida que transcurre el tiempo, resultados similares encontraron Unigarro y otros (2000) al evaluar los síntomas de deficiencia de macroelementos y elementos secundarios en esta misma especie.

En la Tabla 6 y 7 se observan las ecuaciones de regresión lineal obtenidas al relacionar el tiempo (evaluaciones) con la altura y la longitud de la raíz. Se observa que la mayor tasa de crecimiento (0,91 cm/14 días), en la parte aérea (altura), se obtuvo en las plántulas desarrolladas en la solución carente de zinc; de manera similar, la menor tasa de crecimiento (0,12 cm/14 días) se observó en las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de hierro (Tabla 6).

En un tiempo de 175 días de evaluación, Unigarro, Muñoz, Eraso y Tellez, (2000) encontraron menores tasas de crecimiento (altura) de la parte aérea, con tasas de crecimiento que fluctuaron entre 0,02 cm/15 días y 0,08 cm/15 días, para las plantas

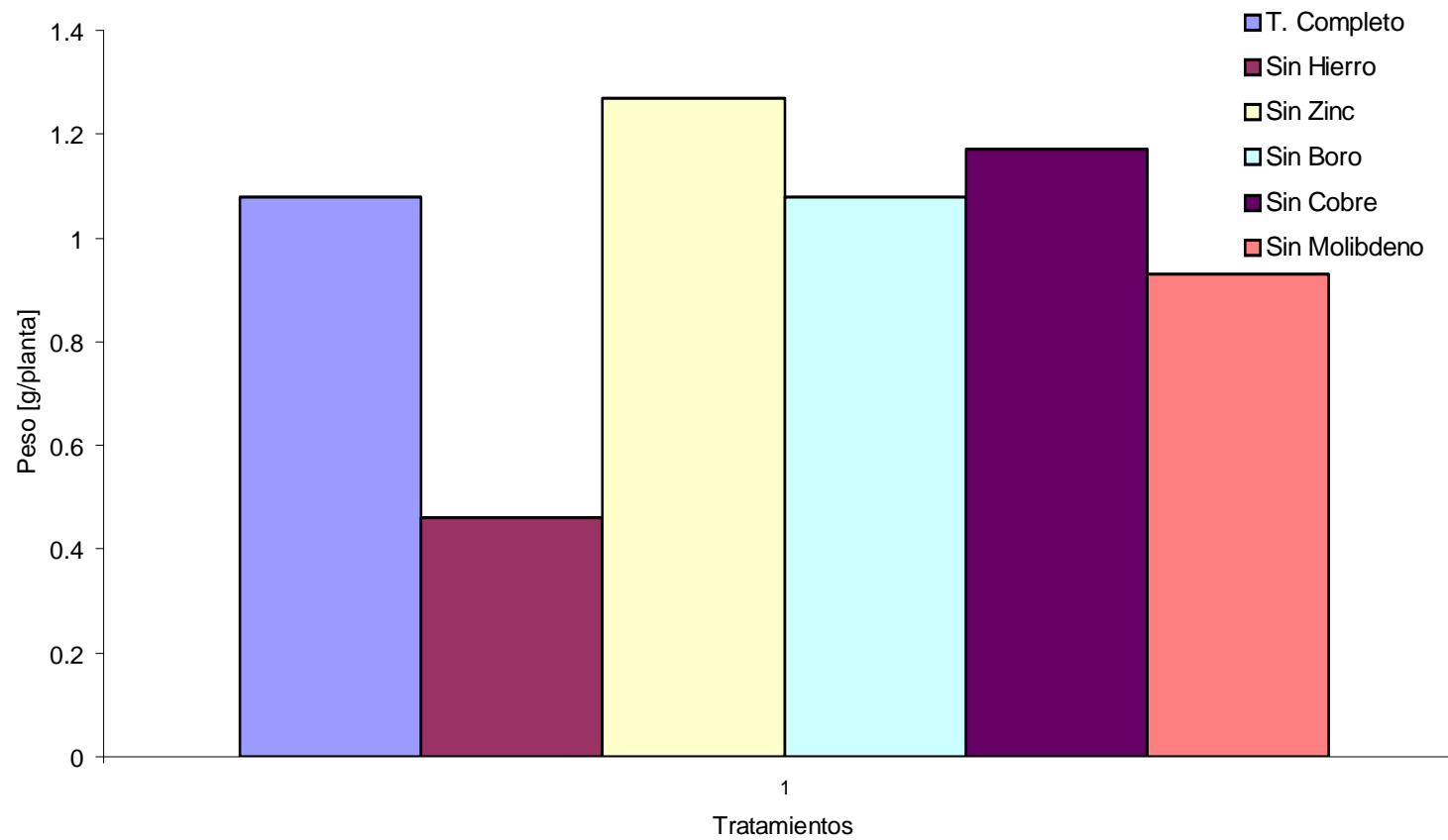


Figura 8. Materia seca de la raíz obtenido al evaluar la carencia de microelementos en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas

TABLA 6

RELACION ENTRE EL TIEMPO (DE EVALUACION) Y LA ALTURA DE PLANTAS
OBTENIDAS AL ESTUDIAR LA CARENCIA DE MICROELEMENTOS EN LAUREL DE
CERA, BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS

TRATAMIENTO	ECUACION DE REGRESION LINEAL	CORRELACION	R ²
C	$Y = 6,86 + 0,85 (X)$	0,96 **	93,05
- Fe	$Y = 13,74 + 0,12 (X)$	0,94 **	89,47
- Zn	$Y = 12,16 + 0,91 (X)$	0,98 **	95,64
- B	$Y = 8,79 + 0,72 (X)$	0,98 **	96,89
- Cu	$Y = 13,51 + 0,84 (X)$	0,97 **	94,55
- Mo	$Y = 10,74 + 0,76 (X)$	0,96 **	92,24

** Altamente significativa

- C: Solución nutritiva completa
- - Fe: Solución nutritiva sin hierro
- - Zn: Solución nutritiva sin zinc
- B; Solución nutritiva sin boro
- Cu: Solución nutritiva sin cobre
- Mo; Solución nutritiva sin molibdeno

TABLA 7

RELACION ENTRE EL TIEMPO (DE EVALUACION) Y LA LONGITUD DE LA RAIZ OBTENIDA AL ESTUDIAR LA CARENCIA DE MICROELEMENTOS EN LAUREL DE CERA, BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS

TRATAMIENTO	ECUACION DE REGRESION LINEAL	CORRELACION	R ²
C	$Y = 7,31 + 1,04 (X)$	0,95 **	90,26
- Fe	$Y = 8,44 + 0,20 (X)$	0,88 **	76,87
- Zn	$Y = 5,79 + 0,99 (X)$	0,96 **	93,18
- B	$Y = 6,23 + 1,00 (X)$	0,96 **	92,53
- Cu	$Y = 5,76 + 0,95 (X)$	0,96 **	92,25
- Mo	$Y = 8,38 + 0,62 (X)$	0,98 **	96,10

** Altamente significativa

- C: Solución nutritiva completa
- - Fe: Solución nutritiva sin hierro
- - Zn: Solución nutritiva sin zinc
- B; Solución nutritiva sin boro
- Cu: Solución nutritiva sin cobre
- Mo; Solución nutritiva sin molibdeno

desarrolladas en la solución nutritiva sin nitrógeno y aquellas desarrolladas en la solución nutritiva sin magnesio, respectivamente, cuando se evaluó la carencia de macronutrientes y nutrientes secundarios en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas. Agudelo y Viteri (1993), manifiestan que el laurel se caracteriza por tener un crecimiento lento (1,28 cm/mes), y una elevada capacidad de rebrote.

El crecimiento (longitud) de la raíz fluctuó entre 0,20 cm/14 días y 1,04 cm/14 días, para las raíces de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva sin hierro y las raíces de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva completa, respectivamente (Tabla 7).

Unigarro y otros (2000), encontraron que el crecimiento de la raíz fluctuó entre 0,003 cm/15 días encontrado en las raíces de las plantas desarrolladas en la solución nutritiva carente de nitrógeno y las mayores tasas de crecimiento para las raíces de las plantas desarrolladas en la solución nutritiva carente de fósforo (0,026 cm/15 días), lo que indica que en el presente estudio se encontraron tasas de crecimiento mayores (Tabla 7).

3.1.5 Síntomas de carencia de microelementos

3.1.5.1 Síntomas de carencia de hierro

Los síntomas de carencia de hierro bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera, se manifiestan por un reducido consumo de solución nutritiva, además, las plantas presentan un escaso crecimiento de la parte aérea y radicular (presentándose con el tiempo, detención del mismo), siendo en todos los casos el incremento inferior al obtenido por las plántulas en los otros tratamientos considerados, aunque estadísticamente no se presentaron diferencias.

Por el crecimiento restringido de la parte aérea, la escasa presencia de hojas (por defoliación) y la presencia de áreas necróticas (hacia el final de las evaluaciones), se presenta un peso reducido en la materia seca de la parte aérea y radicular, si se compara con los valores obtenidos por las plántulas en los demás tratamientos considerados.

Tal como lo manifiestan CIAT (1981) y Price *et al.*, (1983), este elemento tiene poca

movilidad en la planta, por lo que los síntomas de deficiencia de Fe, se observaron más claramente en los tejidos jóvenes. En el tercio superior del tallo las hojas más viejas presentan inicialmente una coloración verde 5 G 2/6 (aparentemente normales), debido a la relativa inmovilidad del hierro en la planta; las hojas más jóvenes presentan un retículo de nervios verdes sobre un fondo de parénquima clorótico. Al progresar la carencia se presentan manchas necróticas intervenales de color amarillo rojizo 7,5 YR 7/6 las cuales evolucionan a rojo 7,5 R 4/6. Las hojas nuevas presentan una coloración amarilla 5 Y 8,5/6 uniforme en la lámina foliar, posteriormente el color evoluciona a 10 Y 9/4, debido a que el hierro puede inhibir la formación de los cloroplastos a través de la inhibición en la síntesis de proteínas; posteriormente las hojas se necrosan iniciándose ésta en forma uniforme desde el ápice hacia la base del limbo (Figura 9).

Los brotes nuevos son cloróticos y posteriormente tienden a necrosarse (Figura 9).

En el tercio inferior y medio del tallo, la carencia de hierro se manifiesta por detención en el crecimiento de las hojas, éstas se tornan inicialmente de color verde amarillento 10 GY 3/2 y posteriormente toman una coloración amarillo rojizo 2,5 YR 4/6 el que evoluciona a rojo 2,5 R 2/4 en el borde del limbo, y posteriormente se presenta defoliación total. Las hojas nuevas, no crecen, se tornan color rojo 5R 2/4 y se caen.

En las plántulas, la carencia de hierro se manifiesta por una defoliación severa que empieza por las hojas más viejas, no hay presencia de ramas laterales y se presenta muerte o latencia de las yemas laterales y terminales (Figura 10).

Las raíces de las plantas desarrolladas en la solución nutritiva sin hierro, crecen muy poco, en las primeras semanas de evaluación, posteriormente se detiene su crecimiento, éstas se tornan de color amarillo 2,5 Y 8/12 y otras se necrosan. Los nuevos brotes no progresan y se necrosan (Figura 11).

Los síntomas de carencia de Fe observados, en las plántulas de laurel de cera, son similares a los descritos por Malavolta, Vitti y Oliveira (1989) quienes mencionan que éstos se presentan como una clorosis de las hojas nuevas, seguida de blanqueamiento.



Hojas nuevas y brotes cloróticos



Presencia de manchas necróticas intervenales

Figura 9. Síntomas de carencia de hierro en laurel de cera



Defoliación y necrosis de las hojas

Figura 10. Síntomas de carencia de hierro en laurel de cera



Desarrollo restringido de las raíces



Comparación del aspecto de las raíces

Figura 11. Síntomas de carencia de hierro en laurel de cera

Además, manifiestan que se puede presentar disminución del crecimiento, menor contenido de clorofila, elevada producción de pigmentos verdes y amarillos, alta relación K/Ca, y alto contenido de ácido cítrico.

Calderón (1991) y Ortiz (1982), manifiestan que la clorosis entre las nervaduras por deficiencia de Fe es parecida a la causada por deficiencia de Mg con la diferencia de estar situada en las hojas más jóvenes, sin embargo, estos síntomas no corresponden con los descritos por Unigarro, Muñoz, Eraso y Tellez (2000), en laurel de cera, quienes afirman que la carencia de Mg se manifiesta por la presencia de hojas de gran tamaño, las cuales presentan manchas cloróticas o de coloraciones vivas entre las nervaduras y en los bordes de las hojas.

En otros cultivos, como en arroz, la deficiencia de Fe se manifiesta en las hojas nuevas con una fuerte clorosis intervenal. A medida que la deficiencia continúa el reticulado verde se reduce a una línea fina y finalmente desaparece, tornándose las hojas totalmente amarillas (Morales, 1998), estos síntomas son similares a los encontrados en el presente estudio y diferentes a los encontrados en café, donde la deficiencia de Fe se presenta siempre en las hojas nuevas, las cuales toman un color verde pálido, menos las nervaduras, que conservan el color verde normal. Aunque el color verde pálido es más pronunciado en las hojas nuevas, en general la planta presenta una coloración verde poco intensa (Valencia, 1995) y en banano donde los síntomas de deficiencia de Fe aparecen en las hojas jóvenes las que presentan una clorosis general siendo los espacios intervenales los más afectados.

El crecimiento se retarda y las hojas llegan a ser lanceoladas y en forma de "roseta" (Stover, 1972, citado por López y Espinosa, 1995).

3.1.5.2 Síntomas de carencia de zinc

La carencia de zinc en la solución nutritiva se manifiesta, en laurel de cera, por un elevado consumo de solución nutritiva, incremento en la parte aérea (altura), al igual que el peso seco de la parte aérea y de la raíz, si se comparan los datos con los obtenidos en los otros tratamientos considerados, sin que entre estos se presenten diferencias

estadísticas.

En el ápice del tallo, la superficie del limbo es tres a cuatro veces más pequeña que la de una hoja normal. Los entrenudos resultan a su vez muy cortos en la extremidad de los brotes, mientras que la base de estos últimos se deshoja. Resulta de ello la formación de rosetas de hojas pequeñas y densas en la extremidad de los brotes (Figura 12), lo cual se debe a que con deficiencia de Zn se inhibe la división de las células, que conduce a cambios morfológicos de las hojas, se perturba la dilatación de las células y la diferenciación de los tejidos, se hipertrofian las células meristemáticas, se oprime la dilatación longitudinal de las células y disminuyen las dimensiones de los cloroplastos (Devlin, 1970; Yágodin, et al., 1986).

Las hojas jóvenes presentaron clorosis (5 Y 8,5/10), debido al papel que juega este elemento en la síntesis de ácidos nucleicos y en especial de ARN, por lo que su deficiencia provoca una disminución en la síntesis de proteínas, una reducción en el número de cloroplastos y por tanto una disminución en el contenido de clorofila (Devlin, 1970; Price et al., 1983; Yágodin, et al., 1986) (Figura 12).

Las raíces de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva carente de zinc, presentaron escaso desarrollo y proliferación de las mismas (Figura 13).

Los síntomas observados por deficiencia de Zn, en laurel de cera, son similares a los descritos por Malavolta, Vitti y Oliveira (1989), quienes mencionan que estos se caracterizan por disminución del tamaño de los entrenudos; las hojas nuevas son pequeñas, estrechas y alargadas, además mencionan que a nivel interno se presenta acumulación de amidas (glutamina y asparagina) y nitrógeno alfa amínico, y se presenta mayor actividad de RNA (Price et al., 1983).

Según López (1978), los síntomas de deficiencia de Zn de las plantas de gran desarrollo son análogos a los de la falta de ácido indol acético. Las yemas muestran poca actividad y el crecimiento se retarda. Debido al extremo acercamiento de los entrenudos aparece una roseta de pequeñas hojas distorsionadas y cloróticas en la rama. Ortiz (1982), también menciona que el síntoma de deficiencia de Zn más característico es el



Formación de "rosetas" en la extremidad de los brotes

Figura 12. Síntomas de carencia de zinc en laurel de cera



Proliferación de raíces



Comparación del crecimiento de las raíces

Figura13. Síntomas de carencia de zinc en laurel de cera

crecimiento reducido en donde las hojas terminales son más pequeñas y las yemas son de escaso vigor, todos estos síntomas son similares a los encontrados en el presente estudio.

Tal como lo manifiesta Yágodin *et al* .(1986), los síntomas descritos estarían asociados con la acumulación de azúcares reductores, disminución en el contenido de sacarosa y dealmidón, aumento en la acumulación de ácidos orgánicos, reducción en el contenido de auxina y alteración en la síntesis de la proteína por deficiencia de Zn. También sucede la acumulación de los compuestos solubles no proteicos de nitrógeno: amidas y aminoácidos.

Los síntomas descritos por Ramírez (1982), citado por Ortiz (1998), por deficiencia de Zn, de plantas raquílicas, achaparradas, con hojas pequeñas, amarillas o verde claro, donde las hojas inferiores pueden volverse de color castaño y caer, y los descritos por Ortiz (1982), en maíz y sorgo donde el síntoma ha sido llamado botón blanco, los que se presentan como una amplia banda de tejidos blanqueados a cada lado del centro de la hoja, iniciándose en la base de la hoja de maíz, pero el centro y los márgenes de la hoja permanecen verdes, no corresponden a los encontrados en el presente estudio.

En otros cultivos como el café, la deficiencia de Zn se manifiesta por poco crecimiento de las hojas y en forma alargada; los bordes se encrespan; los entrenudos son cortos, siendo generalmente los síntomas de deficiencia más visibles en la punta de las ramas (Valencia, 1998). En los chupones de zoca, las hojas presentan una forma acanalada con bordes amarillos (Valencia, 1995). En arroz las plantas son raquílicas aunque el macollamiento puede ser normal. La deficiencia de Zn se presenta en las hojas más viejas donde aparecen manchas longitudinales que se tornan de color cobrizo. En las hojas más nuevas aparece una clorosis verde-blanquecina y se presenta acortamiento de los entrenudos (Morales, 1998). En Banano los síntomas visuales de la deficiencia de Zn se manifiestan como rayas cloróticas-blanquecinas a lo largo de las venas de las hojas nuevas, de menos de 1 cm de grosor, las cuales se alternan con rayas color verde oscuro (López y Solís, 1992, citados por López y Espinosa, 1995). Conforme se acentúa la severidad de la deficiencia, las hojas nuevas se hacen más angostas y presentan una coloración púrpura en el envés, debido a la acumulación de pigmentos antocianínicos

(López y Espinosa, 1995).

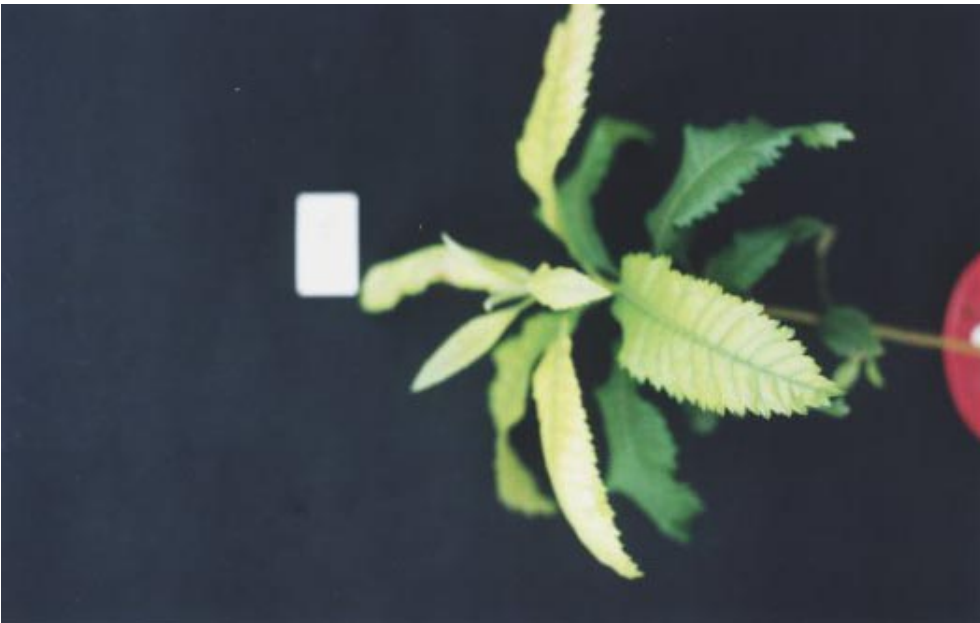
Según Lora (1978), los síntomas de deficiencia de Zn aparecen primero en las hojas jóvenes. Los síntomas incluyen el bronceamiento del arroz, hojas pequeñas en árboles frutales, puntos café amarillentos en las hojas de las leguminosas y hojas pequeñas, puntiagudas y amarillentas en cítricos. En frijol las plantas crecen lentamente y presentan clorosis en las hojas nuevas. En algodón provoca un síntoma llamado hoja pequeña. En caña de azúcar, produce un efecto de rayado debido a la pérdida de clorofila a lo largo de las venas aunque la región intervenal también palidece progresivamente cuando aumenta la deficiencia

3.1.5.3 Síntomas de carencia de boro

En el tercio superior del tallo, las hojas más viejas presentan una coloración verde 5 G 2/6; las más jóvenes presentan clorosis entre las nervaduras; tornándose algunas totalmente cloróticas (5 Y 8,5/10), posteriormente se presentan manchas necróticas amarillo rojizo (10 YR 6/6) entre las nervaduras las que se tornan en manchas más grandes de color rojo 7,5 R 4/6 que tienden a cubrir indistintamente del borde y/o el ápice hacia la base del limbo, curvándose los márgenes de las hojas (Figura 14)

Se presenta además, muerte de las yemas terminales, con puntos de brotación más bajo, los cuales también se necrosan y mueren. Las hojas nuevas son cloróticas (10 Y 9/5) (Figura 15).

Las raíces presentan poco desarrollo y muerte de sus puntos de crecimiento (Figura 16). Estos síntomas según Gupta (1979) se presentan porque la deficiencia de B afecta la división celular, tanto a nivel de brotes, como de las raicillas manifestándose en un atrofiamiento de los tejidos más jóvenes. Por otra parte, Norton (1965), citado por López y Espinosa (1995) menciona que la falta de B provoca un pobre desarrollo del sistema radical, con muy poca presencia de pelos absorbentes y el sistema radical termina necrosándose completamente, cuando la deficiencia es severa, situación que se presentó en el presente estudio







Necrosis y escaso desarrollo de raíces



Comparación del crecimiento de las raíces

Figura 16. Síntomas de carencia de boro en laurel de cera

Según Gómez y Leguizamón (1975); Price *et al.*, (1983) y CIAT (1981), por ser el B un componente principal en el metabolismo del ácido ribonucleico; la deficiencia de este micronutriente afecta los tejidos en crecimiento de los tallos y de las raíces, restringiendo su elongación, situación observada en el presente estudio. Además, manifiestan que puede presentarse retraso en la floración y una deformación de las hojas y de los botones florales, debido a la baja movilidad del elemento dentro de la planta.

Según Valencia (1998), la deficiencia de B se manifiesta en las hojas viejas por un amarillamiento que se inicia en la punta y avanza hasta la mitad o un poco más. Se forma un tejido corchoso sobre las nervaduras. Las hojas se deforman y pueden aparecer torcidas, arrugadas o con bordes irregulares. Aparecen puntos de color café en las hojas tiernas. La yema terminal de las ramas muere. Esto hace que la planta produzca nuevos brotes y que aparezcan ramas en forma de abanico; estos síntomas son parecidos a los encontrados en el presente trabajo.

Ramírez (1982), citado por Ortiz (1998), manifiesta que los síntomas de deficiencia de B se presentan localizados en las hojas jóvenes, las cuales son pequeñas y deformadas. Los puntos terminales mueren y se presentan cambios en la base de las nuevas hojas; las hojas cercanas al punto de crecimiento se vuelven amarillas y algunas veces toman color rojizo. Los entrenudos se acortan formando una roseta y hay aborto de flores. Calderón (1991), por otra parte menciona que los síntomas varían según las especies. A menudo suelen morir los tallos y la zona meristemática apical de las raíces; los vértices de las raíces a menudo se vuelven descoloridos y se hinchan; los tejidos internos suelen desintegrarse (o decolorarse); las hojas muestran síntomas variados, incluyendo engrosamiento, brillantez, rizado, marchitez y moteado clorótico.

En arroz, la deficiencia de B se manifiesta por un crecimiento reducido de las plantas y en casos severos de deficiencia las hojas nuevas se tornan blanquecinas, transparentes y mueren, pero se siguen produciendo nuevas macollas (Morales, 1998). En café, la deficiencia de B se presenta generalmente en épocas muy secas. Las hojas viejas presentan un amarillamiento que se inicia en la punta y avanza hasta la mitad, o un poco más; se forma un tejido corchoso sobre las nervaduras; las hojas se deforman y pueden aparecer torcidas, arrugadas o con bordes irregulares; aparecen puntos de color café en

las hojas tiernas; la yema terminal del tallo ortotrópico y/o las ramas muere esto hace que la planta produzca nuevos brotes y que aparezcan ramas en forma de abanico (Valencia, 1995), estos síntomas, en general, no corresponden a lo encontrado en laurel de cera.

Los síntomas deficiencia de B en banano se caracterizan por la presencia de rayas cloróticas perpendiculares a la vena central de las hojas nuevas, debido a que éste es un nutrimento inmóvil dentro de la planta. En los estados iniciales de la deficiencia se presentan rayas cloróticas cortas paralelas a la vena central. Conforme la severidad de la deficiencia aumenta, estos síntomas se generalizan en toda la hoja y puede ocurrir malformación de la hoja debido al desarrollo incompleto de la lámina o ausencia total de ésta. Si la deficiencia es extrema, la planta puede morir al no existir formación de hojas nuevas. Cuando la deficiencia es severa los síntomas pueden confundirse con una deficiencia de calcio. La diferencia es que en el caso del calcio se presenta un engrosamiento más pronunciado de las nervaduras secundarias (López y Espinosa, 1995), estos síntomas no corresponden a los encontrados en el presente estudio.

Los síntomas de deficiencia descritos anteriormente están relacionados, tal como lo manifiestan Canchano (1990); Ortiz (1982) y Yágodin *et al.*, (1986) con la vulneración de la síntesis, la transformación y traslado de los carbohidratos, la formación de los órganos reproductivos, la fecundación y la fructificación. Por consiguiente, la deficiencia de B en la planta se manifiesta por la muerte del ápice del tallo, entrenudos cortos, formación de roseta, detención en el desarrollo floral, desintegración de tejidos vasculares y destrucción del tejido más blando

De acuerdo con Shkólnik citado por Yágodin *et al.*, (1986) en las plantas dicotiledóneas con insuficiencia de B suceden las siguientes violaciones de los procesos biológicos: al principio se acumulan fenoles, los inhibidores fenólicos de auxinoxidasa aumentan la acumulación de auxinas, se vulnera el metabolismo nucleico y la biosíntesis de proteínas. Después comienza el quebrantamiento de la estructura de las paredes celulares y el proceso de división de las células. A continuación sucede el oscurecimiento de los tejidos a consecuencia del aumento, bajo la influencia de los fenoles, de la penetrabilidad del tonoplasto de las vacuolas y la penetración de polifenoles en el citoplasma.

3.1.5.4 Síntomas de carencia de cobre

En las plántulas de laurel de cera, la carencia de cobre en la solución nutritiva, se manifestó en las hojas del tercio superior del tallo como una clorosis intervenal (5 Y 8,5/6), la cual avanza desde el ápice hacia la base del limbo en forma homogénea. Los brotes terminales también son cloróticos, permaneciendo las nervaduras de color verde amarillento (7,5 GY 4/4) (Figura 17). Los síntomas están asociados a las funciones que cumple el cobre en el metabolismo del nitrógeno ya que entra en la composición de los fermentos nitrito-reductasa, hiponitrito reductasa y reductasas del óxido de nitrógeno (Yágodin *et al.*, 1986).

Las raíces, no se vieron afectadas (aparentemente) por la carencia de cobre en la solución nutritiva, si comparamos su forma y volumen con la que se presentó en las raíces de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva completa (Figura 18).

Según Calderón (1991) la deficiencia de Cu es rara en forma natural. Las hojas más jóvenes se vuelven comúnmente verde oscuro y se enrollan, frecuentemente aparece un moteado necrótico. Malavolta, Vitti y Oliveira (1989) mencionan que la deficiencia de Cu se manifiesta al principio por la presencia de hojas inicialmente verde oscuras, tornándose posteriormente cloróticas, algunas hojas se curvan. Se puede presentar también muerte descendente y la presencia de gemas múltiples. Además, manifiestan que se aumenta la concentración de nitrógeno alfa amínico y se produce menor absorción de oxígeno, síntomas que no fueron apreciados en la presente investigación.

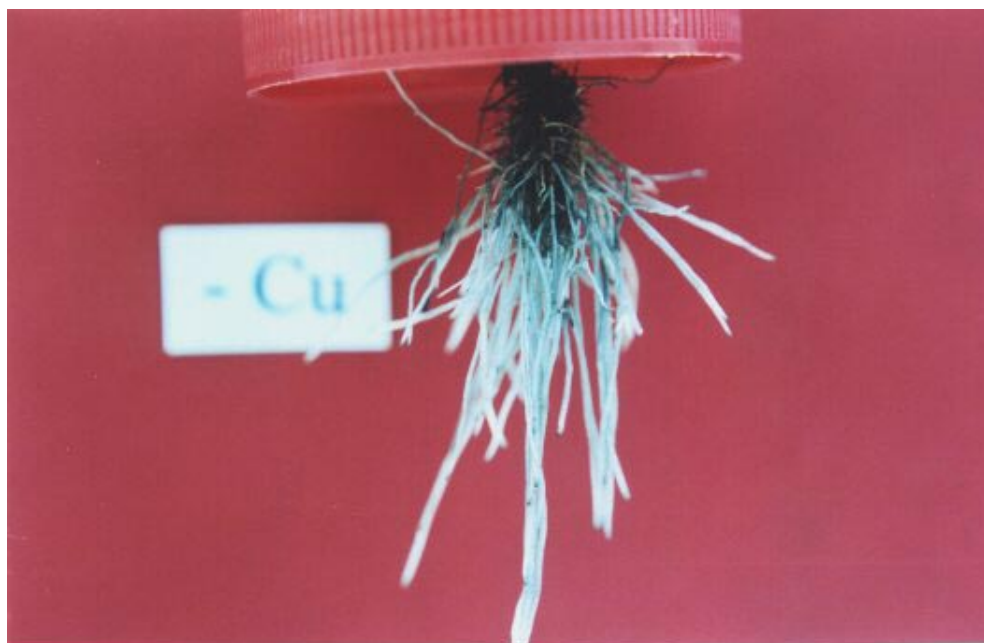
Yágodin *et al.*, (1986) manifiestan que la insuficiencia de Cu en las plantas se refleja negativamente en la actividad de los fermentos que contienen Cu, provoca la retención del crecimiento, la clorosis, la pérdida de turgor, la marchitez de las plantas, el retraso de la floración y la pérdida de la cosecha. Por otra parte, Ramírez (1982), citado por Ortiz (1998) menciona que los síntomas de deficiencia de Cu se presentan con excesiva caída de hojas, marchitez en los extremos de las ramas nuevas y caída de las flores, síntomas que no fueron observados en el presente estudio, en plántulas de laurel de cera.

En otros cultivos como hortalizas, las hojas pierden turgencia, presentan una coloración



Clorosis intervenal

Figura 17. Síntomas de carencia de cobre en laurel de cera



Apariencia normal de las raíces



Comparación del crecimiento radicular

Figura 18. Síntomas de carencia de cobre en laurel de cera

verde azulada, se vuelven cloróticas, se enrollan y no aparece la producción de flores (Lora, 1978). En cítricos, el fruto es irregular, con manchas pardo rojizas en la piel y los nuevos crecimientos se reducen considerablemente. En arroz, la deficiencia de Cu se presenta en las hojas jóvenes las cuales se ponen verde azuladas, se desarrolla una clorosis que se inicia en las puntas de las hojas más nuevas y continúa a lo largo de la nervadura principal, por ambos lados. Las hojas nuevas se enrollan haciéndolas aparecer como una aguja (Morales, 1998), estos síntomas no corresponden a los encontrados en el presente estudio.

La carencia de Cu en banano causa una clorosis generalizada, con alineamiento de hojas en “roseta” y se produce la curvatura de la vena central dando a la hoja la apariencia de “sombrija” (López y Espinosa, 1995), estos síntomas no se observaron en el presente estudio.

3.1.5.5 Síntomas de carencia de molibdeno

Las hojas del tercio superior del tallo presentan inicialmente un moteado clorótico intervenal, el cual llega a cubrir todo el limbo; cuando la deficiencia es severa el amarillamiento afecta también los nuevos brotes. Algunas hojas presentan márgenes irregulares, descoloridas y curvadas (Figura 19). Estos síntomas se manifiestan ya que el molibdeno en las plantas entra en la composición del fermento nitrato-reductasa y es un componente indispensable en la cadena de reducción de nitratos, participando en la reducción de nitratos hasta nitritos (Devlin, 1970; Rojas y Róvalo, 1984).

Las raíces de las plantas presentaron escaso crecimiento y desarrollo con presencia de puntos de crecimiento muertos (Figura 20).

Según Malavolta, Vitti y Oliveira (1989), los síntomas de deficiencia de Mo se manifiestan como una clorosis marcada general; se presenta manchas amarillo-esmeralda o naranja brillantes en las hojas más viejas y después necrosis, además se puede presentar marchitamiento de las márgenes y encurvamiento del limbo. Internamente se produce un alto contenido de nitratos. Calderón (1991), manifiesta que la deficiencia de Mo a menudo se presenta con una clorosis entre las nervaduras, primero en las hojas más viejas y





Presencia de puntos muertos en las raíces



Comparación del crecimiento radicular

Figura 20. Síntomas de carencia de molibdeno en laurel de cera

después de forma progresiva en las más jóvenes (semejante a la deficiencia de nitrógeno). A veces, las hojas se ahuecan y aparecen quemaduras en sus bordes, algunos de estos síntomas, como se describió anteriormente, son similares a los encontrados en el presente trabajo.

En repollos y afines la deficiencia de Mo, produce hojas estrechas, amarillentas y con márgenes irregulares. En coliflor la deficiencia es conocida como cola de látigo. En maíz, se produce muerte de las puntas de las hojas más viejas que procede a lo largo de las márgenes, desarrollándose una necrosis entre las venas y muerte de las hojas (Lora,

3.2 SÍNTOMAS DE TOXICIDAD DE ALUMINIO Y MANGANESO

3.2.1 Consumo de solución nutritiva

En la Figura 21 y la Tabla 7 del Apéndice, se observa el comportamiento de esta variable a través de 37 evaluaciones, realizadas durante 127 días que duró la investigación. En general, el comportamiento es muy variable con "picos" muy marcados, dependiendo tal como lo manifiestan Tisdale y Nelson (1977); Lora (1994); Lucas y Knezek (1983); INPOFOS (1993); Moore (1983); Malavolta, Vitti y Oliveira (1989) y Unigarro, Muñoz, Eraso y Tellez, (2000) de factores externos e internos que influyen directamente o indirectamente en la absorción de la solución nutritiva. Se presentaron consumos similares hasta la 25 evaluación, posteriormente se incrementó la absorción de solución nutritiva por las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva completa, siguiéndole en importancia el consumo encontrado en el tratamiento con exceso de aluminio en la solución nutritiva, siendo menor el consumo obtenido por las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva con exceso de manganeso.

Al realizar el análisis de varianza para los datos acumulados durante 127 días, para esta variable, no se presentaron diferencias estadísticas (Tabla 10 del Apéndice). Los resultados indican que el consumo de solución nutritiva no se vio afectado significativamente por el exceso de aluminio y/o manganeso en la solución nutritiva.

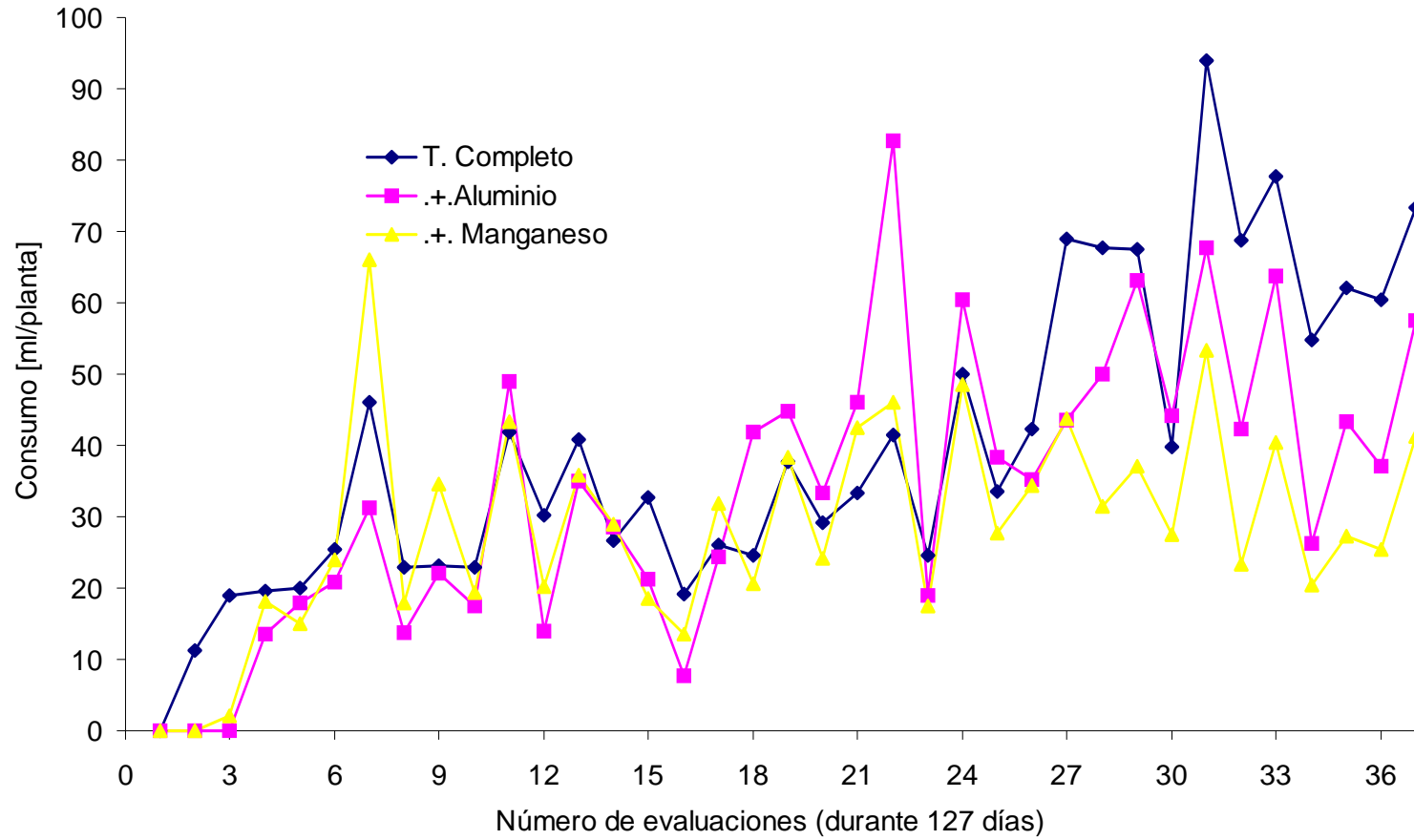


Figura 21. Consumo de solución nutritiva obtenido al evaluar el exceso de aluminio y manganeso en laurel de cera, bajo condiciones hidropónicas

3.2.2 Altura de plantas

En la Figura 22 y la Tabla 8 del Apéndice se observan los datos promedio para esta variable, durante el tiempo de evaluación. En general, para las 10 evaluaciones, se obtuvo un incremento promedio para las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva completa de 7,86 cm/planta; para las plántulas desarrolladas en la solución con exceso de aluminio fue de 6,22 y para las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva con exceso de manganeso de 4,54 cm/planta.

Al realizar el análisis de varianza (Tabla 10 del Apéndice), para los valores obtenidos en la última evaluación, no se encontraron diferencias estadísticas, lo que indica que en períodos tempranos de crecimiento el exceso de aluminio y manganeso, no afecta significativamente el crecimiento (altura) de las plántulas de laurel de cera. Sin embargo, como se menciona más adelante existen síntomas en la parte aérea (principalmente en las hojas), que permiten identificar los síntomas del exceso de aluminio y manganeso en esta especie.

3.2.3 Longitud de la raíz

Los datos observados se encuentran en la Figura 23 y la Tabla 8 del Apéndice. Al realizar el análisis de varianza (Tabla 10 del Apéndice), se presentaron diferencias estadísticas significativas. Al realizar la prueba de comparación de promedios de Tukey (Tabla 11 del Apéndice), los valores promedios de 24,32 cm/planta en las raíces de las plántulas desarrolladas en la solución nutritiva con exceso de aluminio, no presentaron diferencias estadísticas significativas con la longitud de raíces alcanzada por las plantas desarrolladas en la solución nutritiva completa, la cual tuvo en promedio una longitud de 16,22 cm/planta y la obtenida por las raíces de las plántulas desarrolladas en la solución con exceso de manganeso (16,90 cm/planta).

La literatura menciona que la toxicidad por aluminio se manifiesta en las raíces de las plantas como una reducción en su crecimiento, sin embargo, el laurel de cera parece ser una especie tolerante a este elemento ya que el crecimiento (al menos durante el tiempo de evaluación), no se vio afectado, al contrario, se presentaron raíces largas, con

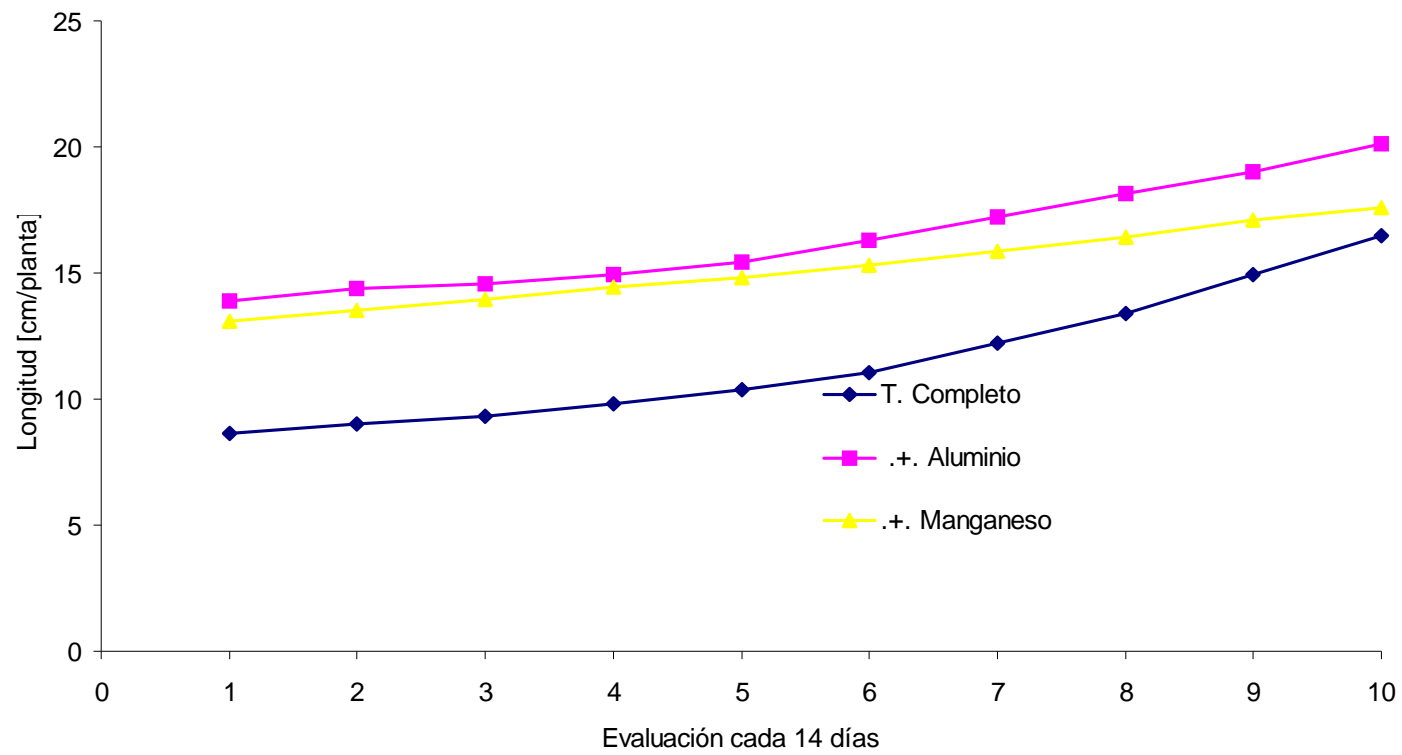


Figura 22. Altura de las plantas obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera.

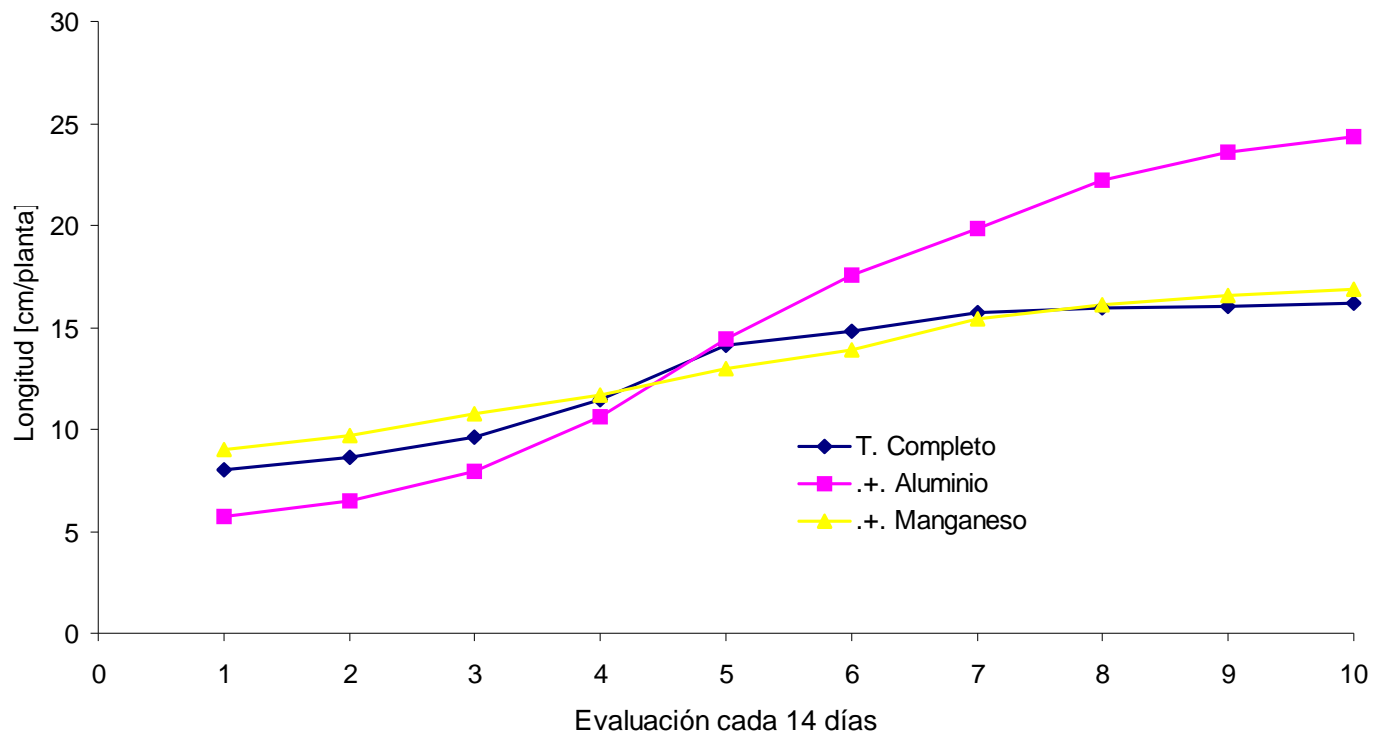


Figura 23. Longitud de la raíz obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en laurel de cera.

abundantes raicillas y pelos absorbentes (Figura 24).

Los resultados estarían indicando una alta variabilidad en la tolerancia diferencial al exceso de aluminio y manganeso por el laurel de cera, que se debería a una adaptación como resultado de una selección involuntaria en suelos ácidos.

3.2.4 Materia seca de la parte aérea

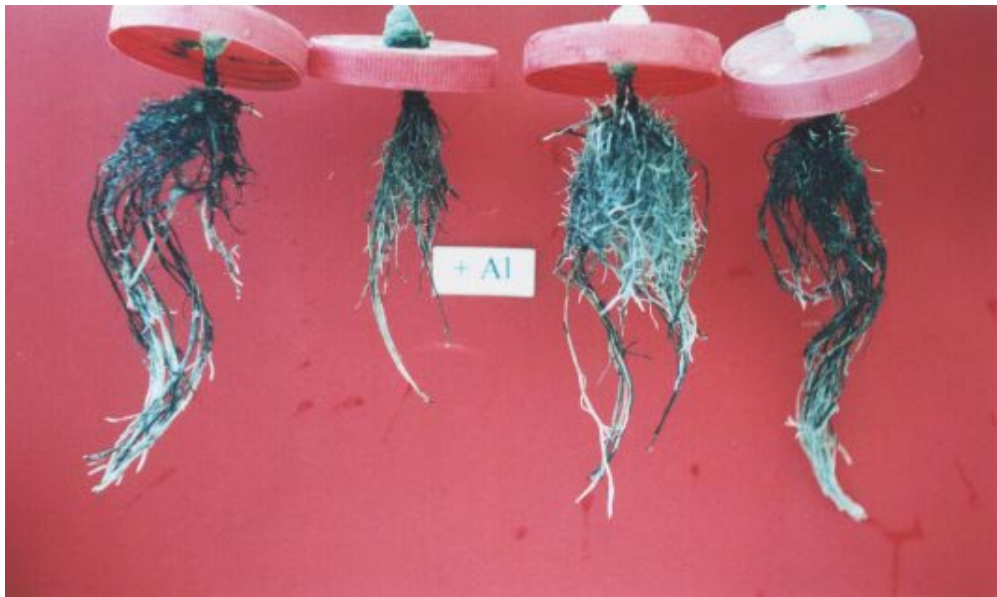
Los valores promedio por planta, obtenidos al final del período de evaluación, se presentan en la Figura 25 y la Tabla 9 del Apéndice. Al realizar el análisis de varianza (Tabla 10 del Apéndice), no se presentaron diferencias estadísticas; sin embargo, se obtuvo un alto coeficiente de variación (77,62%).

Los valores más altos del peso de la materia seca de la parte aérea se encontraron en las plantas desarrolladas en la solución nutritiva completa (2,24 g/planta) y el menor en la solución con exceso de manganeso (1,30 g/planta), debido posiblemente al corto período de evaluación, no se presentaron diferencias más marcadas, pero como se menciona más adelante, los síntomas visuales que causa en la parte aérea el exceso de aluminio y de manganeso, son claramente identificables.

3.2.5 Materia seca de la raíz

Los datos obtenidos al final del período de evaluación se observan en la Figura 26 y la Tabla 9 del Apéndice. Al realizar el análisis de varianza (Tabla 10 del Apéndice), no se presentaron diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos.

Los mayores valores promedios del peso de la materia seca de la raíz (al igual que el peso de la materia seca de la parte aérea), se obtuvieron en las plantas desarrolladas en la solución nutritiva completa (1,08 g/planta), seguida del obtenido en la solución con exceso de aluminio (1,07 g/planta) y por último la de manganeso (0,67 g/planta), lo que indica que no existe en períodos tempranos de evaluación un efecto marcado del exceso de aluminio y manganeso en el desarrollo de la parte radicular del laurel de cera, o que esta planta presenta, como se menciona anteriormente, mecanismos de tolerancia al



Aspecto general de las raíces



Comparación del crecimiento radicular

Figura 24. Síntomas de exceso de aluminio en laurel de cera

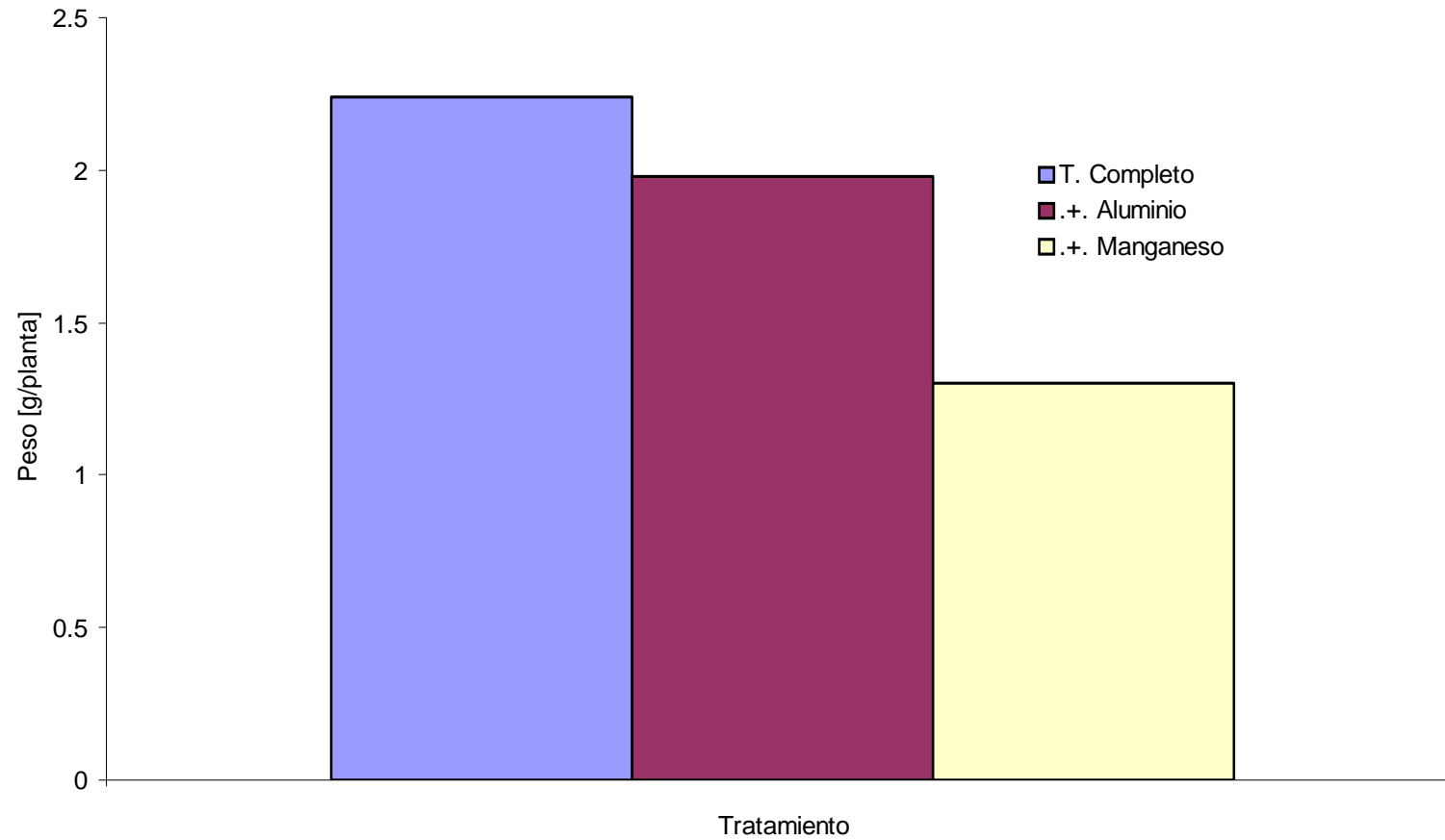


Figura 25. Materia seca de la parte aérea obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en plantas de laurel de cera.

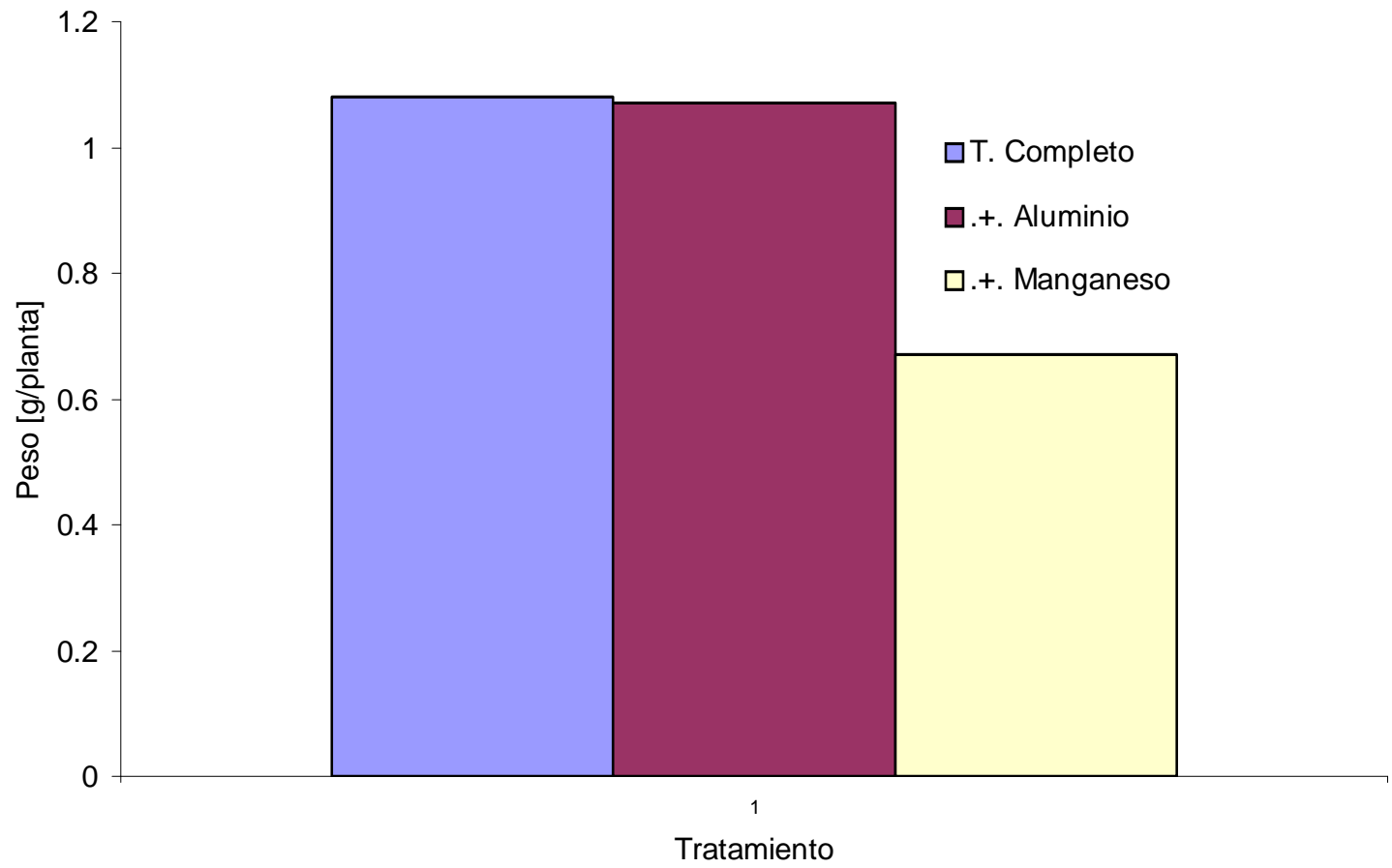


Figura 26. Materia seca de la raíz obtenida al evaluar el exceso de aluminio y manganeso bajo condiciones hidropónicas, en plantas de laurel de cera.

exceso de aluminio y manganeso.

3.2.6 Correlación entre las variables estudiadas

Al realizar el análisis de varianza de la correlación lineal para el tiempo (evaluaciones) (X) con la altura de las plantas (Y) y la longitud de las raíces (Y), esta fue altamente significativa para los tres tratamientos evaluados (Tabla 12 del Apéndice).

En la Tabla 8 y 9, se observan las ecuaciones de regresión lineal obtenidas al correlacionar el tiempo, la altura y la longitud de las raíces. Se observa que las mayores tasas de crecimiento de la parte aérea (altura) se obtuvieron en las plantas desarrolladas en la solución nutritiva completa (0,85 cm/14 días), seguida del obtenido en la solución con exceso de aluminio (0,69 cm/14 días) y el obtenido en la solución con exceso de manganeso (0,50 cm/14 días).

Las raíces de las plantas desarrolladas en la solución nutritiva con exceso de aluminio, presentaron un crecimiento longitudinal de 2,36 cm/14 días, el cual supera los valores obtenidos para la solución nutritiva completa (1,04 cm/14 días) y la que presentaba exceso de manganeso (0,96 cm/14 días); si se comparan estos valores con los obtenidos en la parte aérea, se puede observar que existe un mayor crecimiento (longitudinal) del sistema radicular en comparación con la parte aérea (altura).

3.2.7 Síntomas de toxicidad de aluminio y manganeso

3.2.7.1 Síntomas de exceso de aluminio

En el tercio superior, las hojas más viejas presentan en el borde de las mismas manchas de color amarillo rojizo 2,5 YR 4/8 con un halo de color amarillo 5 Y 8,5/10, con persistencia del tono verde 5 G 2/6 en la parte no afectada (Figura 27).

En las hojas del tercio inferior de las plántulas se presentó inicialmente una tonalidad amarillo rojizo ,5 YR 4/8 a manera de manchas en las márgenes de las hojas, que degenera al final en una necrosis que avanza del ápice a la base y posteriormente se

TABLA 8

RELACION ENTRE EL TIEMPO (DE EVALUACION) Y LA ALTURA DE PLANTAS
OBTENIDA AL ESTUDIAR EL EXCESO DE ALUMINIO Y MANGANESO BAJO
CONDICIONES HIDROPONICAS, EN LAUREL DE CERA

TRATAMIENTO	ECUACION DE REGRESION LINEAL	CORRELACION	R ²
C	$Y = 6,86 + 0,85 (X)$	0,96 **	93,05
+ Al	$Y = 12,61 + 0,69 (X)$	0,98 **	95,70
+ Mn	$Y = 12,45 + 0,50 (X)$	0,99 **	99,42

** Altamente significativas

- C: Solución nutritiva completa

+ Al: Solución nutritiva completa con 50.000 ppm de aluminio

+ Mn: Solución nutritiva completa con 50.000 ppm de manganeso

TABLA 9

RELACION ENTRE EL TIEMPO (DE EVALUACION) Y LA LONGITUD DE LA RAIZ
OBTENIDA AL ESTUDIAR EL EXCESO DE ALUMINIO Y MANGANESO BAJO
CONDICIONES HIDROPONICAS, EN LAUREL DE CERA

TRATAMIENTO	ECUACION DE REGRESION LINEAL	CORRELACION	R ²
C	$Y = 7,31 + 1,04 (X)$	0,95 **	90,26
+ Al	$Y = 2,28 + 2,36 (X)$	0,99 **	97,77
+ Mn	$Y = 8,04 + 0,96 (X)$	0,99 **	98,34

** Altamente significativas

- C: Solución nutritiva completa

+ Al: Solución nutritiva completa con 50.000 ppm de aluminio

+ Mn: Solución nutritiva completa con 50.000 ppm de manganeso



Manchas amarillo-rojizo en el borde de las hojas



Necrosis marginal en las hojas

Figura 27. Síntomas de exceso de aluminio en laurel de cera

presenta caída de las hojas.

Los nuevos brotes presentan clorosis intervenal con una tonalidad verde amarillento 5GY 8/4 (Figura 27).

Las raíces, en general, presentan un mayor volumen, con abundante presencia de pelos absorbentes, tal como se observa en la Figura 24, lo cual parece indicar que esta especie es tolerante al exceso de aluminio ya que según Malavolta, Vitti y Oliveira (1989); Marín y Lora (1978) y Salinas (1991), el exceso de Al se manifiesta por una disminución en el crecimiento de las raíces; éstas se tornan engrosadas y poco ramificadas; Burbano (1988), menciona además que las raíces secundarias se atrofian y toman la apariencia de nódulos, situación que no fue perceptible en las raíces de las plántulas de laurel de cera evaluadas.

Malavolta, Vitti y Oliveira (1989), mencionan que las hojas de las plantas afectadas por exceso de aluminio pueden mostrar deficiencia de fósforo, potasio, calcio y magnesio,

situación que no se dio en la presente investigación si comparamos los síntomas encontrados con los descritos por Unigarro y otros (2000) para la deficiencia de macroelementos y elementos secundarios en laurel de cera. Internamente, Malavolta, Vitti y Oliveira (1989) mencionan que se presenta deformación de la pared celular. En las raíces se presentan células radicales con dos núcleos. Se presenta además incremento en la actividad de la oxidación del ácido indol acético y acumulación de fósforo inorgánico.

3.2.7.2 Síntomas de exceso de manganeso

Se presentó defoliación del tercio inferior. Las hojas del tercio superior presentaron inicialmente moteado clorótico difuso interreticular verde amarillento 5 GY 7/6 en toda la superficie foliar con evolución a una tonalidad amarilla 5 Y 8,5/6, con nerviación verde amarillenta 7,5 GY 4/4. Posteriormente en las márgenes de las hojas se presenta una tonalidad amarillo rojiza 7,5 YR 7/6 el cual evoluciona a 2,5 YR 4/8 y que avanza del ápice a la base. Los brotes nuevos aparecen completamente cloróticos (en forma similar a la deficiencia de hierro) (Figura 28).



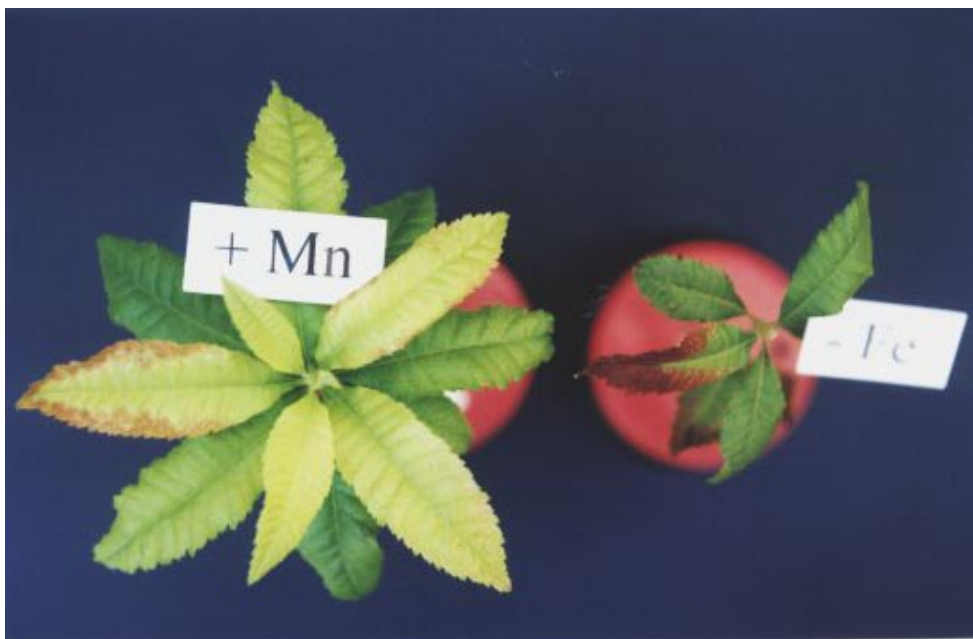
Marín y Lora (1978) y García (1998), mencionan que el Mn puede inducir síntomas de deficiencia de otros nutrimentos como calcio, hierro y magnesio. Esto es debido a que el exceso de Mn impide la traslocación de calcio a la parte aérea; en el hierro se debe a inhibición de la absorción de éste y a competencia entre ambos iones a nivel celular y la deficiencia de magnesio es inducida por competencia y/o bloqueo en los sitios de unión a la raíz durante la absorción y en algunas reacciones metabólicas. Los síntomas encontrados en la presente investigación, corresponderían únicamente a los descritos en las primeras evaluaciones, para carencia de hierro en la solución nutritiva (Figura 29), no así para los descritos por Unigarro y otros (2000) para la deficiencia de calcio y magnesio en laurel de cera.

García (1998), manifiesta que no parece haber efectos de los niveles tóxicos de Mn sobre sistemas radicales aunque sí se han reportado ennegrecimiento de raíces cuando se han hecho crecer plantas en soluciones nutritivas altas en Mn, aparentemente debido a acumulación de óxido de Mn, situación ésta que fue evidente en este trabajo, tal como se observa en la Figura 30.

Según García (1998), el efecto típico de fitotoxicidad de Mn es una disminución exponencial en el crecimiento al incrementar la concentración de Mn por encima del nivel crítico, situación que no se pudo apreciar en el presente trabajo ya que estadísticamente no se presentaron diferencias con los valores encontrados en las diferentes variables estudiadas con relación al tratamiento completo.

Calderón (1991), manifiesta que algunas veces aparecen clorosis, existiendo una distribución irregular de la clorofila y provocándose una deficiencia de hierro en algunos cultivos. Malavota, Vitti y Oliveira (1989) mencionan que el exceso de Mn se presenta al principio como una deficiencia de hierro inducida, posteriormente se presentan manchas necróticas a lo largo del tejido conductor. Las plantas se tornan deformadas y quebradizas, situación similar a la encontrada en las plántulas de laurel de cera.

En otros cultivos, como la soya, la toxicidad por Mn, se manifiesta como un enrollamiento de las hojas con los bordes inclinados hacia abajo en forma de copa.



Comparación de los síntomas de carencia de hierro y exceso de manganeso

Figura 29. Síntomas de exceso de manganeso en laurel de cera



Las hojas nuevas son las primeras afectadas, es decir que los síntomas aparecen cerca de la parte superior de la planta. Un contenido elevado de Mn conduce a una clorosis de hierro (Scott y Aldrich, 1975; Malavolta, *et al.*, 1964, citados por Ortiz, 1998).

Salinas (1984), manifiesta que un exceso de Mn produce síntomas más definidos que el Al en la parte aérea, y el grado de toxicidad está relacionado a su acumulación en la parte aérea y no en las raíces. La toxicidad de Mn está caracterizada por una clorosis marginal y una distorsión de las hojas jóvenes asociada con acumulación localizada de Mn en el tejido foliar. Una toxicidad severa de Mn hace que el sistema radicular se torne café pero, usualmente, sólo después que el follaje ha sido afectado, esto se pudo observar en las plantulas de laurel de cera evaluadas tal como se observa en la Figura 31.

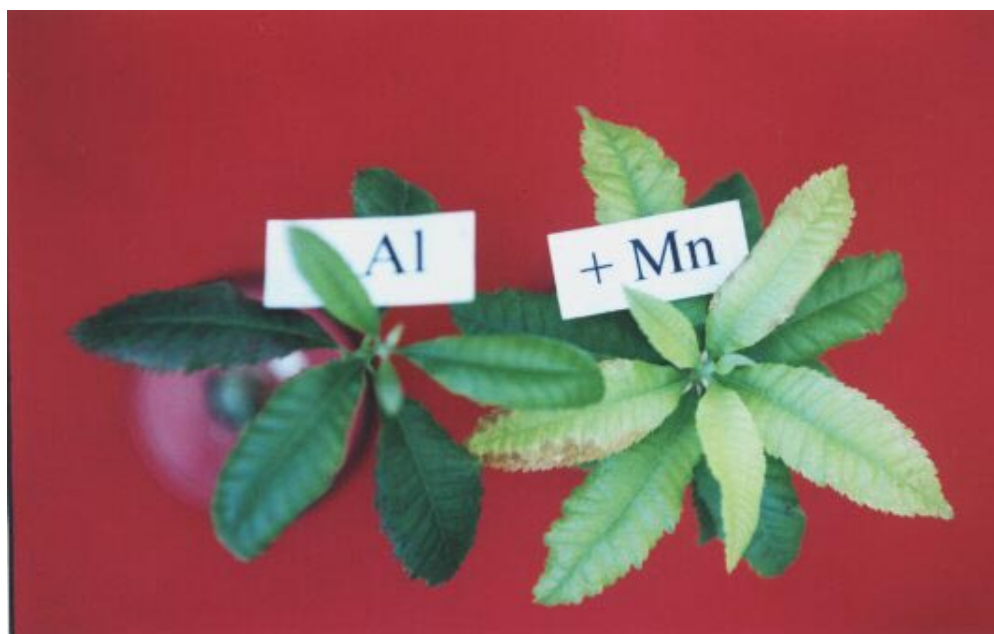


Figura 31. Síntomas de exceso de aluminio y manganeso

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- 4.1.1 En períodos cortos de evaluación (127 días), bajo condiciones hidropónicas, el consumo de solución nutritiva, la altura de las plantas, la longitud de la raíz y el peso de la materia seca de la raíz, no se manifiestan como síntomas de carencia de hierro, zinc, boro, cobre y molibdeno ya que estadísticamente, no presentaron diferencias con el tratamiento completo.
- 4.1.2 El peso de la materia seca de la parte aérea es afectado negativamente cuando en la solución nutritiva falta hierro.
- 4.1.3 La carencia de hierro en laurel de cera se manifiesta en los tejidos jóvenes los cuales presentan un retículo de nervios verdes sobre un fondo de parénquima clorótico, posteriormente se presentan manchas necróticas intervenales que cubren toda la hoja. Los brotes nuevos son cloróticos y con el tiempo se necrosan. Las raíces no crecen, se tornan de color amarillo y posteriormente mueren
- 4.1.4 La carencia de zinc se manifiesta en la extremidad de los brotes con la formación de rosetas. Las raíces presentan escaso desarrollo y proliferación de las mismas.
- 4.1.5 La carencia de boro se manifiesta en las hojas jóvenes como una clorosis intervenal, tornándose algunas hojas totalmente cloróticas, posteriormente se presentan manchas necróticas entre las nervaduras que cubren indistintamente del borde y/o el ápice hacia la base de las hojas, curvándose los márgenes de las mismas. Se presenta además, muerte de yemas terminales, con puntos de brotación más bajos, los cuales también se necrosan. Las raíces presentan poco

desarrollo y muerte de sus puntos de crecimiento.

- 4.1.6 Los síntomas de carencia de cobre, se manifiestan en las hojas jóvenes las cuales presentan clorosis intervenal la que avanza del ápice a la base de las hojas, permaneciendo las nervaduras verdes. Las raíces aparentemente no se afectaron.
- 4.1.7 Los síntomas de carencia de molibdeno se presentan como un moteado clorótico intervenal el cual puede afectar toda la hoja. Los brotes nuevos se tornan cloróticos. Algunas hojas presentan márgenes irregulares y curvados. Las raíces presentaron escaso crecimiento y desarrollo.
- 4.1.8 Se encontró una correlación lineal altamente significativa entre el tiempo de evaluación y la altura de plantas y la longitud de las raíces, para todos los tratamientos evaluados.
- 4.1.9 El exceso de aluminio y manganeso, en la solución hidropónica, no afectó el consumo de solución nutritiva, la altura de las plantas, la longitud de la raíz y el peso de la materia seca de la parte aérea y las raíces, en laurel de cera.
- 4.1.10 Los síntomas de exceso de aluminio en plántulas de laurel de cera se manifiestan por manchas de color amarillo rojizo, con un halo de color amarillo en el borde de las hojas afectadas. Los brotes nuevos presentaron clorosis intervenal. Las raíces presentaron un gran crecimiento y desarrollo, manifiesto por un alto volumen y presencia de abundantes pelos absorbentes, lo que parece indicar que esta especie es tolerante al exceso de aluminio.
- 4.1.11 Los síntomas de exceso de manganeso se manifiestan con moteado clorótico intervenal y posterior presencia de manchas necróticas. Los brotes nuevos aparecen totalmente cloróticos. Las raíces tienden a tornarse negras.
- 4.1.12 Se presentó una correlación lineal estadísticamente significativa entre el tiempo de evaluación y el crecimiento de la parte aérea y la longitud de las raíces, cuando la

solución nutritiva presentó un exceso de aluminio o manganeso.

4.2 Recomendaciones

- 4.2.1 Determinar a nivel de invernadero, utilizando suelo como sustrato, los síntomas de carencia y toxicidad de microelementos (hierro, zinc, boro, cobre, molibdeno, manganeso)
- 4.2.2 Identificar problemas nutricionales (de macroelementos, elementos secundarios y microelementos) a nivel de campo e invernadero y cuantificar su corrección por medio del establecimiento de niveles críticos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, C. y VITERI, S. Potencial ecológico y silvícola de especies fijadoras de nitrógeno naturalmente asociadas con pinares en Honduras. En: Memoria Convención Centroamericana de semillas forestales. Siguatepeque, Honduras, 1993. pp. 139 -151.

AZCON, Concepción., BAREA, José. y OLIVARES, José. Simbiosis *Rhizobium* leguminosa. En: Biología vegetal. Libros de Investigación y Ciencia, Barcelona, Prensa Científica, 1988. pp. 56 - 65.

BAQUERO, Cesar. y LORA, Rodrigo. Disponibilidad de boro en suelos del centro de investigación Caribia. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 27: 137 - 142. 1997.

BURBANO, Hernán. Diagnóstico de la acidez del suelo y criterios para la recomendación de cal. En: Curso sobre diagnóstico - fertilidad e interpretación de análisis de suelos. Hernán Burbano O. y Miguel Viveros Z. ed. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, SCCS, 1988. pp. 32 - 78.

CALDERON, Felipe. Concepción moderna de la nutrición vegetal. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 2ª-. Ed. SCCS, Santafé de Bogotá D.C., Colombia, 1991. pp.305 – 323.

CANCHANO, Eliécer. Respuesta del sorgo de grano a diferentes micronutrientes en suelos afectados por sales y sodio. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 20 (2): 85 - 91. 1990.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. CIAT. Síntomas de deficiencia de micronutrientes y de toxicidades minerales en pastos tropicales; guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo

tema. Cali, CIAT, 1981. 28 p. (Serie 04SP-02.02).

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. CIAT. Síntomas de deficiencias de macronutrientes y nutrientes secundarios en Pastos tropicales; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, Colombia. CIAT, 1981. 28 p.

CLAVIJO, Jairo. Metabolismo de los nutrientes en las plantas. En: Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Francisco Silva M. ed. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia, SCCS, 1994. pp. 13 - 28.

CONIF. Establecimiento de un centro de desarrollo y crecimiento de material vegetal. Informe final. CONIF – DAMA, Santafé de Bogotá, Colombia, 1995. 72 p.

DEVLIN, Robert. Fisiología vegetal. Trad. por Xavier Limona. Barcelona, Omega, 1970. 614 p.

FASSBENDER, Hans. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA, 1982. 398 p.

FASSBENDER, Hans. Y BORNEMISZA, E. Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA, 1987. pp. 381 - 397.

FLOR, Carlos. El diagnóstico de problema en frijol. En frijol: investigación y producción. Marceliano López, Fernando Fernández y Artuan Schoontroven ed. Cali, CIAT, 1985. pp. 385 – 400.

GALLARDO, Max. Laurel de cera (*Myrica cerifera*). Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, 1993. 34 p. Mecanografiado.

GARCIA, Alvaro. Efectos tóxicos de los micronutrientes y de otros elementos. En: actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Francisco Silva M ed. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia, SCCS, 1998. pp. 13-30.

GARCIA, Alvaro. Factores que afectan la disponibilidad de los elementos menores. En Seminario - Taller sobre suelos Valle, Cauca, Nariño. ICA, Regional No. 5. Programa de suelos, 1987. pp. 67 - 75.

GUERRERO, Ramiro. La acidez del suelo - su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 2ª-. Ed. SCCS, Santafé de Bogotá D.C., Colombia, 1991. pp.141 - 163.

GUERRERO, Ricardo. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. En: Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Francisco Silva M ed. 2ª. ed. Bogotá, D.E., Colombia, SCCS, 1984. pp. 141 -200.

GUERRERO, Ricardo y BURBANO, Hernán. Estado de los micronutrientes en suelos derivados de cenizas volcánicas. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 9(2): 171 - 183. 1978.

GOMEZ , Alvaro y LEGUIZAMON, Jairo. Importancia del boro para las plantas. Chinchiná, Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de café, 1975 . pp. 69 - 72. Boletín técnico No. 43

GONZALEZ, Germán. Métodos estadísticos y principios de diseño experimental. 2ª. Ed. Editorial Universitaria. Universidad Central del Ecuador, Quito, 1985. 371 p.

HEWITT, E. Sand and water cultural methods used in the study of plant nutrition. 2nd. Ed. Bucks, England, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1966. 547 p.

HOLDRIDGE, R. Ecología basada en zonas de vida. IICA, Turrialba, Costa Rica, 1979. 216 p.

HOWELER, R. Nutrición mineral y fertilización de la yuca. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, 1981. 55p

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO. INPOFOS. Manual internacional de fertilidad de suelos. INPOFOS, Quito, Ecuador, 1997. P.irr.

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO. INPOFOS. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Quito, Ecuador, 1993. 55 p.

LITTLE, Thomas. y JACKSON, Hills. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México, Trillas, 1987. 270 p.

LONDOÑO, De A. y VALENCIA, Germán. Toxicidad de aluminio en plantas de café. Revista Cenicafé (Colombia) 34: 61 - 98. 1983.

LOPEZ, Yamel. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Francisco Silva M. ed. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia, SCCS, 1998. pp 1 –12.

LOPEZ, Gerardo. Funciones de algunos micronutrientes en las plantas. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 9 (2): 141 - 147. 1978.

LOPEZ, Antonio. y ESPINOSA, José. Manual de nutrición y fertilización del banano. Instituto de la Potasa y el fósforo, INPOFOS, Quito, Ecuador, 1995. 82 p.

LORA, Rodrigo. Los micronutrientes y su importancia en la agricultura. En: Los suelos y su fertilidad. Bogotá, Colombia, Centro Experimental Tibaitatá, 1978. pp. 164 - 213. Compendio No. 23

LORA, Rodrigo. Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. En Fertilidad de suelos diagnóstico y control. Francisco Silva M. ed. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia, SCCS, 1994. pp. 29 - 56.

LUCAS,O. y KNEZEK, D. Condiciones climáticas y de suelos que promueven la deficiencia de micronutrientes en las plantas. En Micronutrientes en la Agricultura. Mortvedt, Giordano y Lindsay ed. Trad. Por Cristina Vaqueiro G. México, AGT Editor, 1983. pp. 291 - 312.

MALAVOLTA, Euripides. Elementos de nutricao mineral de plantas. Sao Paulo,

Agronomica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, Euripides. Micronutrientes en la fertilización de la caña de azúcar. En: Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Francisco Silva M. ed. SCCS, Santafé de Bogotá, Colombia, 1998. pp. 172 – 187.

MALAVOLTA, Euripides., VITTI, Godofredo. y OLIVEIRA, Sebastiao. Avaliacao do estado nutricional das plantas: principios e aplicacoes. Piracicaba: Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MARIN, Gildardo. y LORA, Rodrigo. Acidez y encalado de los suelos. En Los suelos y su fertilidad. Bogotá, Colombia, Centro Experimental Tibaitatá, 1978. pp. 5 - 37. Compendio No. 23

MORALES, Edgar. Requerimientos y fertilización con micronutrientes en el cultivo del arroz. En: Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Francisco Silva M Ed. SCCS, Santafé de Bogotá, Colombia, 1998. pp. 120 – 127.

MOORE, P. Mecanismos de captación de micronutrientes por las plantas. En Micronutrientes en la Agricultura. Mortvedt, Giordano y Lindsay ed. Trad. Por Cristina Vaqueiro G. México, AGT Editor, 1983. pp. 187 - 209.

MUÑOZ, Jairo. Estudio agronómico del laurel de cera (*Myrica pubescens* HBK) en la zona norte del departamento de Nariño. Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Colombia, 1994. 95 p. Mecanografiado.

MUÑOZ, Jairo. y LUNA, Cristina. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación del laurel de cera *Myrica pubescens* H. & B. ex Willdenow. Santafé de Bogotá, Convenio Andrés Bello, 1999. 36 p.

MUÑOZ Jairo. y LUNA, Cristina. Cera de Laurel. Pasto, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, PIFIL, PRONATTA, s.f. 16 p.

MUÑOZ, R. y MOLINA, L. Tolerancia de variedades de maíz y frijol al aluminio en solución nutritiva. Suelos Ecuatoriales (Colombia) 20 (2): 125 - 129. 1990.

MUÑOZ, Jairo., MUÑOZ, Manuela., GALLARDO, Max y RODRIGUEZ, Jesús. Análisis de la producción del laurel (*Myrica pubescens* HBK) y de la comercialización de la cera en algunos municipios del departamento de Nariño. Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Colombia, 1993. 96 p. Mecanografiado.

ORTIZ, Gloria. Los elementos menores y su aplicación. ASIAVA (Colombia): 2: 6 - 7. 1982

ORTIZ, Gloria. Elementos menores y fertilización foliar. Papel de los diferentes nutrimentos en la planta. En: Seminario - Taller sobre suelos. Valle, Cauca, Nariño. ICA, Regional No. 5., 1987. pp. 88 - 106.

ORTIZ, Gloria. Fertilización de la soya (*Glycine max* L. Merr) con micronutrimentos en suelos del Valle del Cauca. En Actualidad y futuro de los micronutrimentos en la agricultura. Francisco Silva M Ed. SCCS, Santafé de Bogotá, Colombia, 1998. pp. 157 – 171.

ORTIZ, Gloria. Factores que afectan la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas. En: Seminario Fertilidad del suelo y su potencial productivo. CORPOICA, Palmira, 1997. pp. 1 - 11.

PEREZ, Arvelaez. Plantas útiles de Colombia. Medellín, Victor Hugo, 1990. 500 p.

PRICE, C., CLARK, E. y FUNKHOUSER, A. Funciones de los micronutrientes en las plantas. En: Micronutrientes en la Agricultura. Mortvedt, Giordano y Lindsay ed. Trad. Por Cristina Vaqueiro G. México, AGT Editor, 1983. pp. 253 - 265.

ROJAS, Manuel y ROVALO, Magdalena. Fisiología vegetal aplicada. 3a. Ed. México, McGraw Hill, 1984. Pp. 132 - 141.

SALINAS, José. Tolerancia diferencial de las plantas a la toxicidad de aluminio y bajos contenidos de fósforo aprovechable en suelos ácidos. En: Curso de actualización en suelos, con énfasis en las condiciones de Nariño. Pasto (Colombia), SCCS, 1981. pp. 1-25

SALINAS, José. Adaptación de plantas a toxicidades de aluminio y manganeso en suelos ácidos. En: Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Francisco Silva M. Ed. 2ª. Ed. Bogotá, D.E., SCCS, 1984. pp. 387 - 418.

STOLLER DE COLOMBIA. El boro en las plantas. Stoller con usted 25: 5 - 7. 1990

TIFFIN, L. Translocación de micronutrientes en plantas. En: Micronutrientes en la Agricultura. Mortvedt, Giordano y Lindsay ed. Trad. Por Cristina Vaqueiro G. México, AGT Editor, 1983. Pp. 217 - 247.

TISDALE, Samuel. y NELSON, Werner. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. Por Jorge Balasch y Carmen Peña. Barcelona, España, Montaner y Simon, S.A., 1977. 760 p.

TREJOS, A. Estudio sobre El palomero, torcaz, roble, encinillo o palomito (*Myrica* sp.). Ministerio de Agricultura y Cría, Dirección de recursos naturales renovables. División de ejecución de programas. Caracas, Venezuela, 1960. 80 p.

ULLOA, C. V. y MOLLER, P. J. Arboles y arbustos de los andes del Ecuador. 2ª. ed Quito, Ecuador, Abya - Yala, 1995. 329 p.

UNIGARRO, Alberto., MUÑOZ, Jairo., TELLEZ, Jenny y ERASO, Lila. Síntomas de deficiencia de macronutrientes y nutrientes secundarios en aliso (*Alnus jorullensis* HBK) y laurel de cera (*Myrica pubescens* Humb. & Bomp. ex Will). Universidad de Nariño, Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales, Pasto, Colombia, 2000. 166 p. Mecanografiado.

VALENCIA, Germán. Nutrición y fertilización del cultivo del café. En: Fertilización de

cultivos en clima medio. Ricardo Guerrero R. Ed. 2ª ed. Monomeros Colombo-Venezolanos S.A., Barranquilla, Colombia, 1995. pp. 47 – 89

VALENCIA, Germán. Actualidad y futuro de los micronutrientes en la caficultura colombiana. En: Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Francisco Silva M Ed. SCCS, Santafé de Bogotá, Colombia, 1998. pp. 145 – 156.

VILLOTA, Manuel. Determinación de boro, cobalto, cobre y molibdeno en los suelos del valle de Sibundoy, Intendencia del Putumayo. Tesis Ing. Agr. Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, Pasto, Colombia, 1970. pp. 5-6, 12-13.

YAGODIN, B., PETERBURGSKI, A., ASAROV, J., DIOMIN, V., PLESHKOV, B y RESHETNIKOVA. Agroquímica. Trad del ruso por Ramiro Rincón Z. Editorial Mir, Moscú, URSS, 1986. pp. 7 - 70

YAMIL, Luis.; MEDINA, Gonzalo.; BUITRAGO, Luis. y SALAZAR, Faunier. Respuesta morfofisiológica del frijol (*Phaseolus vulgaris* var. Diacol Calima) a la aplicación edáfica de varias fuentes de B. Suelos Ecuatoriales (Colombia): 28: 48-55. 1998.

APENDICE

TABLA 1

CONSUMO DE SOLUCION NUTRITIVA OBTENIDO AL EVALUAR LA CARENCIA DE MICROELEMENTOS EN LAUREL DE CERA, BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS *

Promedio de cinco repeticiones

Tratamiento	Evaluaciones										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
- C	0,0	11,2	19,0	19,6	20,0	25,4	46,0	23,0	23,2	23,0	41,8
- - Fe	0,0	34,4	18,6	32,2	43,0	10,4	63,0	28,0	32,2	26,4	53,2
- - Zn	0,0	5,6	16,6	29,4	33,8	17,0	50,2	26,0	29,2	24,6	51,2
- - B	0,0	14,0	13,2	26,0	26,4	10,6	52,2	22,6	31,4	23,6	30,0
- - Cu	0,0	8,2	16,6	40,4	20,0	17,4	44,4	20,2	29,4	27,6	40,4
- - Mo	0,0	5,0	18,2	12,4	22,2	16,4	43,0	12,2	16,2	25,2	30,4

Continuación...

Tratamiento	Evaluaciones											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
- C	30,2	40,8	26,6	32,8	19,2	26,0	24,6	37,8	29,2	33,4	41,4	
- - Fe	23,4	43,0	23,2	41,6	15,4	24,6	15,4	19,8	25,8	23,0	28,8	
- - Zn	13,8	55,2	38,2	28,6	19,4	37,2	39,2	55,8	35,4	55,4	76,0	
- - B	15,2	56,0	28,4	34,2	16,6	16,2	23,2	37,2	29,6	27,8	60,0	
- - Cu	26,0	59,4	37,8	26,0	26,8	41,8	33,4	47,0	28,6	39,8	48,4	
- - Mo	4,2	39,4	28,4	21,4	17,0	23,2	26,0	35,6	30,6	30,4	45,0	

Continuación...

Tratamiento	Evaluaciones											
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
- C	24,6	50,0	33,6	42,2	69,0	67,8	67,6	39,8	94,0	68,8	77,8	
- - Fe	6,2	18,8	10,0	13,8	18,4	13,4	15,6	7,0	13,4	24,2	14,0	
- - Zn	23,0	72,6	53,6	48,4	84,8	98,0	99,0	58,2	111,2	67,4	95,6	
- - B	16,6	54,0	28,0	32,6	70,6	51,8	65,0	32,2	83,6	48,8	70,2	
- - Cu	18,8	62,4	43,2	44,8	60,2	70,2	80,2	43,8	81,4	56,0	68,2	
- - Mo	21,8	54,0	27,4	40,8	49,8	50,2	66,0	46,0	68,8	66,0	64,8	

(*) Datos obtenidos en 127 días de evaluación del ensayo, realizando dos lecturas por semana.

TABLA 1

Continuación...

CONSUMO DE SOLUCION NUTRITIVA OBTENIDO AL EVALUAR LA CARENCIA
DE MICROELEMENTOS EN LAUREL DE CERA, BAJO CONDICIONES
HIDROPONICAS *

Promedio de cinco repeticiones

Tratamiento	Evaluaciones			
	34	35	36	37
- C	54,8	62,0	60,4	73,4
- - Fe	8,6	9,6	6,8	15,2
- - Zn	54,4	69,4	77,0	81,2
- - B	41,8	50,6	48,0	63,0
- - Cu	44,0	55,6	56,6	57,8
- - Mo	41,8	49,2	52,6	83,0

(*)Datos obtenidos en 127 días de evaluación del ensayo, realizando dos lecturas por semana.

C. Solución nutritiva completa

-Fe: Solución nutritiva sin hierro

-Zn: Solución nutritiva sin zinc

- B: Solución nutritiva sin boro

-Cu: Solución nutritiva sin cobre

-Mo: Solución nutritiva sin molibdeno

TABLA 2

DATOS PROMEDIOS DE CINCO REPETICIONES DE LA ALTURA DE PLANTAS Y LONGITUD DE LAS RAICES OBTENIDOS AL EVALUAR LA CARENCIA DE MICROELEMENTOS EN LAUREL DE CERA, BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS *

TRAT.	VARIABLE	EVALUACIONES									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 °
C	ALTURA	8,62	9,00	9,32	9,84	10,40	11,08	12,20	13,40	14,94	16,48
- Fe	(cm/planta)	13,64	13,94	14,22	14,30	14,42	14,54	14,58	14,78	14,78	14,78
- Zn		13,84	14,32	14,88	15,44	16,02	16,68	18,20	19,36	20,56	22,12
- B		10,16	10,52	10,72	11,26	12,02	12,66	13,74	14,58	15,58	16,46
- Cu		15,26	15,60	15,86	16,34	17,14	17,80	18,88	20,16	21,48	22,76
- Mo		12,44	12,62	12,98	13,32	13,86	14,48	15,48	16,68	17,84	19,44
C	LONGITUD	8,02	8,66	9,60	11,48	14,12	14,82	15,74	15,98	16,06	16,22
- Fe	DE LA	8,12	8,52	9,38	9,60	9,68	10,00	10,00	10,02	10,02	10,10
- Zn	RAIZ	6,42	6,80	8,62	9,84	11,72	12,78	13,50	14,22	14,34	14,34
- B	(cm/planta)	7,18	7,46	8,44	10,16	12,22	13,32	14,30	14,58	14,86	14,86
- Cu		6,24	6,44	8,78	9,92	11,44	12,08	13,36	13,72	13,88	13,88
- Mo		8,72	9,02	10,48	11,04	12,06	12,38	12,88	13,34	13,92	14,02

C: Solución nutritiva completa

-Fe: Solución nutritiva sin hierro

-Zn: Solución nutritiva sin zinc

-B : Solución nutritiva sin boro

-Cu: Solución nutritiva sin cobre

-Mo: Solución nutritiva sin molibdeno

(*) Datos obtenidos cada 15 días, durante 127 días

TABLA 3

DATOS DEL PESO DE LA MATERIA SECA DE LA PARTE AEREA Y RAICES
OBTENIDOS AL FINAL DEL PERIODO DE EVALUACION AL ESTUDIAR LA
CARENCIA DE MICROELEMENTOS EN LAUREL DE CERA, BAJO CONDICIONES
HIDROPONICAS *

TRATAMIENTO	VARIABLE	Repeticiones				
		1	2	3	4	5 °
Sol. nutritiva Completa	MATERIA SECA	0,43	1,44	1,62	2,07	5,63
Solución sin hierro	DE LA PARTE	0,69	0,53	0,15	0,15	0,43
Solución sin zinc	AEREA	4,51	2,63	2,17	8,80	3,23
Solución sin boro	(g/planta)	0,45	1,77	2,86	1,74	3,87
Solución sin cobre		0,75	4,70	4,22	3,46	2,16
Solución sin molibdeno		3,08	1,44	2,09	2,63	2,01
Sol. nutritiva Completa	MATERIA SECA	0,35	1,29	0,66	0,78	2,33
Solución sin hierro	DE LA RAIZ	0,69	0,76	0,13	0,13	0,59
Solución sin zinc	(g/planta)	1,09	1,03	0,94	2,23	1,08
Solución sin boro		0,21	0,84	1,59	0,77	1,97
Solución sin cobre		0,59	1,69	1,39	1,43	0,77
Solución sin molibdeno		1,23	0,73	0,78	0,96	0,94

(*) Datos obtenidos a los 127 días.

TABLA 4

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL CONSUMO DE SOLUCION NUTRITIVA, ALTURA DE PLANTAS, LONGITUD DE LA RAIZ, MATERIA SECA DE LA PARTE AEREA Y MATERIA SECA DE LA RAIZ

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS					F Tab.	
		CONSUMO DE SOL. NUTRITIVA+ (ml)	ALTURA++ (cm/planta)	LONG. DE RAIZ++ (cm/planta)	MATERIA SECA AEREA++ RAIZ++ (g/planta) (g/planta)		5%	1 %
Tratamientos	5	554185,20 NS	54,04 NS	20,95 NS	8,08 *	0,41 NS	2,62	3,90
Error	24	428875,72	38,05	15,76	2,60	0,29		
Total	29							
Coefficiente de variación		47,33	33,04	28,56	67,98	53,85		
Error experimental		21,17	14,78	12,77	30,40	24,01		

+ Datos acumulados durante 127 días

++ Datos obtenidos en la última evaluación, a los 127 días

NS Diferencias estadísticas no significativas

* Diferencias estadísticas significativas

TABLA 5

PRUEBA DE TUKEY

COMPARACION DEL PESO DE LA MATERIA SECA DE LA PARTE AEREA
(g/planta) OBTENIDO AL EVALUAR LA CARENCIA DE MICROELEMENTOS EN
LAUREL DE CERA, BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS

Datos obtenidos en la última evaluación, a los 127 días

	Promedio de Tratamientos	TRATAMIENTOS					
		-Fe	-B	C	- Mo	-Cu	- Zn
		0,39	2,14	2,24	2,25	3,06	4,27
- Zn	4,27	3,88 *	2,13 NS	2,03 NS	2,02 NS	1,21 NS	0,00
- Cu	3,06	2,67 NS	0,92 NS	0,82 NS	0,81 NS	0,00	
- Mo	2,25	1,86 NS	0,11 NS	0,01 NS	0,00		
C	2,24	1,85 NS	0,10 NS	0,00			
- B	2,14	1,75 NS	0,00				
- Fe	0,39	0,00					

N.S. Diferencias estadísticas no significativas

* Diferencias estadísticas significativas

Tukey 5% 3,17

1% 3,90

TABLA 6

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ALTURA DE LAS PLANTAS Y LA LONGITUD DE LAS RAÍCES SOBRE LAS 10 LECTURAS, REALIZADAS DURANTE 127 DÍAS, OBTENIDAS AL EVALUAR LA CARENCIA DE MICROELEMENTOS EN LAUREL DE CERA, BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS, CON BASE EN EL MODELO ESTADÍSTICO LINEAL.

EVALUACIONES (Tiempo) Vs. ALTURA (cm/planta)

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS TRATAMIENTOS °.						F Tab.	
		C	-Fe	- Zn	- B	- Cu	- Mo	5 %	1 %
Regresión	1	59,70 **	1,19 **	68,04**	43,02**	58,14**	47,55**	5,32	11,26
Residual	8	0,56	0,02	0,35	0,21	0,41	0,49		
Total	9								

EVALUACIONES (Tiempo) Vs. LONGITUD DE RAÍCES (cm/planta)

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS TRATAMIENTOS °.						F Tab.	
		C	-Fe	- Zn	- B	- Cu	- Mo	5 %	1 %
Regresión	1	88,91 **	3,30 **	81,23**	82,57**	74,34**	51,07**	5,32	11,26
Residual	8	1,15	0,13	0,79	0,84	0,76	2,27		
Total	9								

** Altamente significativas

C : Solución nutritiva completa

- -Fe: Solución nutritiva sin hierro

- -Zn: Solución nutritiva sin zinc

-B: Solución nutritiva sin boro

-Cu: Solución nutritiva sin cobre

- Mn: Solución nutritiva sin manganeso

TABLA 7

CONSUMO DE SOLUCION NUTRITIVA OBTENIDO AL EVALUAR EL EXCESO DE ALUMINIO Y MANGANESO BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS, EN LAUREL DE CERA*

Promedio de cinco repeticiones

Tratamiento	Evaluaciones										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
- C	0,0	11,2	19,0	19,6	20,0	25,4	46,0	23,0	23,2	23,0	41,8
- + Al	0,0	0,0	0,0	13,6	18,0	20,8	31,2	13,8	22,0	17,4	49,0
- + Mn	0,0	0,0	2,0	18,2	15,0	24,0	66,0	18,0	34,6	19,4	43,4

Continuación...

Tratamiento	Evaluaciones										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
- C	30,2	40,8	26,6	32,8	19,2	26,0	24,6	37,8	29,2	33,4	41,4
- + Al	14,0	35,0	28,6	21,2	7,8	24,4	41,8	44,8	33,4	46,0	82,8
- + Mn	20,2	35,8	29,0	18,6	13,6	31,8	20,6	38,4	24,2	42,4	46,0

Continuación...

Tratamiento	Evaluaciones										
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
- C	24,6	50,0	33,6	42,2	69,0	67,8	67,6	39,8	94,0	68,8	77,8
- + Al	19,0	60,4	38,4	35,2	43,6	50,0	63,2	44,2	67,8	42,2	63,8
- + Mn	17,6	48,6	27,8	34,4	43,8	31,4	37,0	27,6	53,4	23,4	40,4

Continuación

Tratamiento	Evaluaciones			
	34	35	36	37
- C	54,8	62,0	60,4	73,4
- + Al	26,2	43,4	37,0	57,6
- + Mn	20,4	27,2	25,4	41,2

(*)Datos obtenidos en 127 días de evaluación del ensayo, realizando dos lecturas por semana.

TABLA 8

DATOS PROMEDIOS DE CINCO REPETICIONES DE LA ALTURA DE PLANTAS Y LONGITUD DE LAS RAICES, OBTENIDOS AL EVALUAR EL EXCESO DE ALUMINIO Y MANGANESO BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS, EN LAUREL DE CERA*

TRAT.	VARIABLE	EVALUACIONES									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 °
C	ALTURA	8,62	9,00	9,32	9,84	10,40	11,08	12,20	13,40	14,94	16,48
+ Al	(cm/planta)	13,90	14,40	14,58	14,92	15,46	16,30	17,22	18,16	19,04	20,12
+ Mn		13,06	13,54	13,98	14,46	14,82	15,28	15,88	16,42	17,12	17,60
C	LONGITUD DE	8,02	8,66	9,60	11,48	14,12	14,82	15,74	15,98	16,06	16,22
+ Al	LA RAIZ	5,70	6,48	7,96	10,60	14,42	17,54	19,82	22,20	23,62	24,32
+ Mn	(cm/planta)	9,02	9,68	10,76	11,70	13,00	13,88	15,40	16,10	16,60	16,90

C: Solución nutritiva completa

+ Al Solución nutritiva con 50.000 ppm de aluminio

+ Mn Solución nutritiva con 50.000 ppm de manganeso

(*) Observaciones realizadas cada 15 días, durante 127 días de evaluación.

TABLA 9

DATOS DEL PESO DE LA MATERIA SECA DE LA PARTE AEREA Y LAS RAICES OBTENIDOS AL FINAL DEL PERIODO DE EVALUACION AL ESTUDIAR EL EXCESO DE ALUMINIO Y MANGANESO BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS, EN LAUREL DE CERA*

TRATAMIENTO	VARIABLE	Repeticiones				
		1	2	3	4	5 °
Sol. nutritiva completa	MATERIA SECA DE	0,43	1,44	1,62	2,07	5,63
Solución con aluminio	LA PARTE AEREA	0,60	0,64	4,03	2,57	2,07
Solución con manganeso	(g/planta)	0,81	1,25	1,38	1,35	1,71
Sol. nutritiva completa	MATERIA SECA	0,35	1,29	0,66	0,78	2,33
Solución con aluminio	DE LA RAIZ	0,49	0,36	1,78	1,53	1,21
Solución con manganeso	(g/planta)	0,48	0,45	0,58	0,68	1,17

(*) Datos obtenidos a los 127 días.

TABLA 10

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL CONSUMO DE SOLUCION NUTRITIVA, ALTURA DE PLANTAS, LONGITUD DE LA RAIZ, MATERIA SECA DE LA PARTE AEREA Y MATERIA SECA DE LA RAIZ,

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS					F Tab.	
		CONSUMO DE SOL. NUTRITIVA+ (ml)	ALTURA++ (cm)	LONG. DE RAIZ++ (cm)	MATERIA SECA AEREA++ RAIZ++ (g) (g)		5 %	1%
Tratamientos	2	224237,87 NS	17,38 NS	100,94 *	1,18 NS	0,28 NS	3,88	6,93
Error	12	341176,99	42,65	24,55	2,04	0,36		
Total	14							
Coefficiente de variación		46,08	36,14	25,87	77,62	63,83		
Error experimental		20,60	16,16	11,57	49,75	28,54		

+ Datos acumulados durante 127 días

++ Datos obtenidos en la última evaluación, a los 127 días

NS Diferencias estadísticas no significativas

* Diferencias estadísticas significativas

TABLA 11

PRUEBA DE TUKEY

COMPARACION DE LA LONGITUD DE LA RAIZ (cm/planta) OBTENIDA AL
EVALUAR EL EXCESO DE ALUMINIO Y MANGANESO BAJO CONDICIONES
HIDROPONICAS, EN LAUREL DE CERA

Datos obtenidos a los 127 días de evaluación

	Promedio de Tratamientos	+ Al 24,32	TRATAMIENTOS	
			+ Mn 16,90	C 16,22
C	16,22	8,10 NS	0,68 NS	0,00
+ Mn	16,90	7,42 NS	0.00	
+ Al	24,32	0.00		
NS Diferencias estadísticas no significativas			Tukey 5%	8,35
			1%	11,16

TABLA 12

ANALISIS DE VARIANZA DE LA ALTURA DE LAS PLANTAS Y LA LONGITUD DE LAS RAICES SOBRE LAS 10 LECTURAS, REALIZADAS DURANTE 127 DIAS, OBTENIDAS AL EVALUAR EL EXCESO DE ALUMINIO Y MANGANESO BAJO CONDICIONES HIDROPONICAS, EN LAUREL DE CERA, CON BASE EN EL MODELO ESTADISTICO LINEAL.

EVALUACIONES (Tiempo) Vs. ALTURA (cm/planta)

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS TRATAMIENTOS °.			F Tab. °.	
		C	+ Al	+ Mn	5 %	1 %
Regresión	1	59,70 **	39,36**	20,71**	5,32	11,26
Residual	8	0,56	0,23	0,03		
Total	9					

EVALUACIONES (Tiempo) Vs. LONGITUD DE RAÍCES (cm/planta)

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS TRATAMIENTOS °.			F Tab. °.	
		C	+ Al	+ Mn	5 %	1 %
Regresión	1	88,91 **	459,66**	75,86**	5,32	11,26
Residual	8	1,15	1,33	0,14		
Total	9					

** Altamente significativas

C: Solución nutritiva completa

+Al: Solución nutritiva completa con 50.000 ppm de aluminio

+Mn: Solución nutritiva completa con 50.000 ppm de manganeso

