

SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE ALGUNOS ELEMENTOS EN LA
NARANJILLA (Solanum quitoense Lam.) Y SU INFLUENCIA
EN LA MORFOLOGIA Y ANATOMIA

Para la Sala de Autores Nariñenses.

Gerardo López - Jurado

Tesis de Grado de *Magister Scientiae*

Gerardo López Jurado
//



Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Departamento de Fitotecnia y Suelos
Turrialba, Costa Rica
Enero, 1970

SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE ALGUNOS ELEMENTOS EN LA
NARANJILLA (Solanum quitoëense Lam.) Y SU
INFLUENCIA EN LA MORFOLOGIA Y ANATOMIA

Tesis

Sometida al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA: _____ Consejero

Ludwig Müller, Ph.D.

_____ Comité

José E. Fargas, Ph.D.

_____ Comité

Edilberto Camacho, M.S.

_____ Comité

H. J. van der Slooten, M.S.

Enero, 1970

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Doctor Luis Miller, Director de la Escuela para Graduados y Consejero Principal, por el patrocinio del presente trabajo y por las facilidades brindadas.

Al Doctor José E. Vargas por sus valiosas sugerencias, consejos y asistencia durante el desarrollo del trabajo.

A los Ingenieros Eusebio Cordero y E. J. Calderín por haber sido miembros del Comité Asesor y por la revisión de la tesis.

Al Doctor Carlos Garzón, actual Director de la Escuela para Graduados de Medellín, Colombia, por sus gestiones para la realización de los estudios.

A la Compañía Joseph Campbell por el patrocinio de sus estudios en esta Escuela de Postgrado.

Al Instituto Tecnológico Agrícola de Medellín por la concesión de un subsidio para el desarrollo de los estudios.

A sus profesores, compañeros y amigos.

A mis Padres
A mi esposa Margoth
A mi hijo Andrés

UNIVERSIDAD DE MARIQUETIA

34558

Handwritten signatures and notes at the bottom of the page, including a name that appears to be 'Eusebio Cordero' and a date '1964'.

T
533.77
L864

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Doctor Ludwig Müller, Decano de la Escuela para Graduados y Consejero Principal, por el asesoramiento del presente trabajo y por las enseñanzas recibidas.

Al Doctor José E. Fargas por sus valiosos consejos, constante ayuda y acertadas sugerencias.

A los Ingenieros Edilberto Camacho y H. J. van der Slooten como miembros del Comité Consejero y por la revisión de la tesis.

Al Doctor Carlos Garcés, actual Decano de la Escuela para Graduados de Tibaitatá, Colombia, por sus gestiones para la realización de los estudios.

A la Compañía Joseph Campbell por el patrocinio de sus estudios en esta Escuela de Postgrado.

Al Instituto Tecnológico Agrícola de la Universidad de Nariño que le concedió licencia en comisión, por el tiempo de duración de sus estudios.

A sus profesores, compañeros y amigos.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
BIBLIOTECA Y DOCUMENTACION
34566

No.....	Ej..... 7
Valor. \$ 4.500=	Vol.....
Fecha. 25-V-87	Don. x
Fac. Sala de cuentas	Cenje.....
Librería. autor	Comp.....

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Pasto, Colombia, el 15 de agosto de 1943.

Realizó sus estudios secundarios en el Liceo de Bachillerato de la Universidad de Nariño, de su ciudad natal, en donde obtuvo el título de Bachiller en Filosofía y Letras.

Ingresó al Instituto Tecnológico Agrícola de la Universidad de Nariño en 1962, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1967.

Asistió al Primer Seminario para profesores de Botánica de los países Bolivarianos, celebrado en Bogotá, Colombia, en abril de 1967; en junio del mismo año participó en el Curso Internacional de Fisiología Vegetal realizado en Lima, Perú.

Desde la terminación de sus estudios desempeña el cargo de docente en el mismo Instituto donde realizó sus estudios de Agronomía.

Sus estudios de postgrado los realizó en el Departamento de Fitotecnia y Suelos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica, del 23 de septiembre de 1968 al 20 de enero de 1970.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	3
Origen y dispersión	3
Ecología	3
Primeras menciones de la naranjilla	3
Nombres vulgares	4
Clasificación botánica	5
Variedades	5
Número cromosomal	6
Ciclo vegetativo y fructificación	6
Propagación y problemas fitosanitarios	7
Estudios fisiológicos	8
Deficiencias de elementos esenciales	9
1. Su manifestación	9
2. Su efecto sobre la anatomía	21
MATERIALES Y METODOS	27
Material vegetal usado	27
Soluciones nutritivas	28
Diseño experimental	32
Estudios morfológicos	34
Estudios anatómicos	34
Preparaciones permanentes	35
RESULTADOS Y DISCUSION	37
Estudios morfológicos-anatómicos	37
1. Descripción morfológica	37
2. Descripción anatómica	44
a. Raíz primaria	44
b. Tallo	46
c. Pecíolo	49
d. Hoja	52
3. Descripción de los síntomas de deficiencia de elementos esenciales	54
a. Deficiencia de nitrógeno	54
b. Deficiencia de fósforo	55

	<u>Página</u>
c. Deficiencia de potasio	57
d. Deficiencia de calcio	59
e. Deficiencia de magnesio	60
f. Deficiencia de azufre	62
g. Deficiencia de hierro	62
h. Deficiencia de boro	64
i. Deficiencia de zinc	64
j. Deficiencia de manganeso	66
4. Cambios anatómicos producidos en la raíz, tallo, pecíolo y hoja por la deficiencia de elementos esenciales	67
a. Tratamiento menos nitrógeno	67
b. Tratamiento menos fósforo	69
c. Tratamiento menos potasio	71
d. Tratamiento menos calcio	72
e. Tratamiento menos magnesio	74
f. Tratamiento menos azufre	76
g. Tratamiento menos hierro	77
h. Tratamiento menos boro	79
i. Tratamiento menos zinc	81
j. Tratamiento menos manganeso	82
CONCLUSIONES	85
RESUMEN	86
SUMMARY	89
LITERATURA CITADA	91

LISTA DE CUADROS

Cuadro N ^o		<u>Página</u>
1	Composición química de las soluciones nutritivas en ppm	29
2	Disposición de las unidades experimentales en las mesas del invernadero	33

LISTA DE FIGURAS

Figura N ^o		<u>Página</u>
1	Parte general de la planta de naranjilla (<u>Solanum quitoense</u> Lam.) a los 10 meses de edad	38
2	Organos reproductivos de la naranjilla (<u>Solanum quitoense</u> Lam.) A: Flores B: Frutos	43
3.	Corte transversal de una raíz primaria de naranjilla (<u>Solanum quitoense</u> Lam.)	45
4.	Sector de tallo de naranjilla (<u>Solanum quitoense</u> Lam.), en sección transversal	48
5.	Sector de pecíolo de una hoja de naranjilla (<u>Solanum quitoense</u> Lam.), en un corte transversal	50
6	Corte transversal de un trozo de hoja de naranjilla (<u>Solanum quitoense</u> Lam.), incluyendo el nervio principal	53
7	Comparación entre el testigo y el tratamiento menos nitrógeno	56
8	Planta de naranjilla deficiente en fósforo ...	58
9	Comparación entre una planta deficiente en potasio y una testigo	58
10	Planta de naranjilla deficiente en calcio ...	61
11	Deficiencia de magnesio	61

Figura N ^o		<u>Página</u>
12	Deficiencia de azufre	63
13	Planta de naranjilla deficiente en hierro	63
14	Comparación entre la planta de naranjilla deficiente en zinc y una planta testigo	65
15	Planta de naranjilla deficiente en manganeso .	65

INTRODUCCION

La naranjilla (Solanum quitoense Lam.) es una planta frutal de cultivo comercial relativamente reciente, sobre la que existen muy pocos estudios.

El jugo de la naranjilla, de excelente sabor, es una fuente importante de elementos nutritivos. Es rico en sales minerales de fósforo, potasio, calcio y magnesio (67). Además contiene ácidos cítrico, málico y tartárico, aceites esenciales, azúcares, vitaminas y proteínas. Dada la gran aceptación que tiene en los países productores y también en los Estados Unidos de Norteamérica, el jugo se puede enlatar y exportar; esto hace que el cultivo de la naranjilla cuente con un estimulante porvenir económico.

Según Gattoni (23), la naranjilla es muy poco conocida en la fruticultura y su explotación ha logrado muy poca atención, a pesar de su amplia distribución en la zona tropical del continente Americano. Quizá esto se deba en parte a que la naranjilla no se adapta fácilmente a cualquier clima o a cualquier terreno, ya que es muy sensible a excesos de lluvia o de sol.

El presente estudio se llevó a cabo con el propósito de ampliar el conocimiento de varios aspectos de esta planta. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

1. Hacer una descripción morfológica completa de la planta en estudio.
2. Describir la anatomía de la raíz, tallo, pecíolo y hoja de las plantas de naranjilla cultivadas en soluciones nutritivas completas.

3. Hacer crecer plantas de esta solanácea en soluciones nutritivas deficientes en ciertos elementos esenciales, a fin de obtener síntomas típicos de deficiencia y describirlos.
4. Examinar y describir las diferencias en la anatomía de la raíz, tallo, pecíolo y hoja de las plantas con síntomas de deficiencias, en comparación con las cultivadas en solución completa.

REVISION DE LITERATURA

Origen y dispersión

El principal centro de origen de la naranjilla es el área comprendida entre Popayán (Colombia) y Loja (Ecuador) (30, 65).

Hodge (30) manifiesta que es posible que el cultivo de esta planta se haya desarrollado en el Ecuador desde mucho tiempo antes de la conquista española; pero a diferencia de otras plantas andinas, que merecieron mucha consideración, la naranjilla nunca fue citada por los cronistas.

Fuera del Ecuador la naranjilla se siembra comercialmente en Colombia y Perú, y en los últimos años su cultivo se ha extendido a Centro América, principalmente Costa Rica, Panamá y Guatemala (42, 73). El principal centro de cultivo en Colombia está situado en la región de Pasto-Cali y llega hacia el norte hasta Medellín (30).

Ecología

La naranjilla prospera bien entre 1.200 m y 2.100 m sobre el nivel del mar (40, 57); pero la zona de cultivo económico, según Romero-Castañeda (69), está entre 1.200 m y 1.800 m. Los límites geográficos parecen estar entre 2° N y 5° S de latitud y 79° y 82° O de longitud (5, 49).

Primeras menciones de la naranjilla

El primer nombre con que se designó a una planta solanácea de

frutos comestibles cuya descripción corresponde a Solanum quitoense Lam. fue "puscolulo", que significa fruto agrio y acidulado (66).

Al tratar de las naranjillas o lulos cultivados, Schultes y Cuatrecasas (74) señalan que Ruiz y Pavón encontraron naranjilla en el Perú en 1.777 y la describieron bajo el sinónimo de Solanum angulatum Ruiz et Pav.

El francés Eduardo André, vio naranjilla en el mercado de Pasto, Colombia, en 1876 y la identificó como Solanum galeatum André, pero no hizo una descripción de la planta (66).

Nombres vulgares

La naranjilla recibe una serie de nombres comunes. En Colombia se la conoce como "lulo de Castilla", "naranjilla", "toronja" (11), "lulo" (66). Pulgar Vidal (67) propuso el nombre de "cocona", que, según su raíz coco, significa comida. "Lulum", término que se usa en Nariño para reconocer a la naranjilla, proviene de la voz quechua lulu que significa demostración de afecto (49, 66, 67). Según Gattoni (23) es posible que "lulum" sea el nombre autóctono de la fruta y el mismo autor (24) ha sugerido el nombre de "chiripiguaba", por cuanto el sabor parece al de una mezcla de chirimoya, piña y guayaba.

En el Ecuador se la llama "naranjilla" y "tomatilla" (5); en el Perú, "naranjilla de Quito" (64), "naranjitas del Perú" (8), "naranjitas de Quito" (23) y "cocona" (67); en Panamá se la conoce como "lulum" (23).

En otros idiomas recibe los siguientes nombres: "little orange" (inglés); "Gele de Terong" (holandés); "Orangen von Quito" (alemán); "morelle de Quito" (francés) (57,64).

Clasificación botánica

La naranjilla tiene la siguiente clasificación botánica:

Clase: Dicotyledoneae

Subclase: Metachlamydeae

Orden: Tubiflorae

Suborden: Solanineae

Familia: Solanaceae

Especie: Solanum quitoense Lam. var. Septentrionale Schul.
& Cuatr. (74).

Sinónimos: S. quitense H. B. K. (60)

S. quitensis Hook & Arn. (5)

S. angulatum Ruiz et Pav. (74)

S. galeatum André (66)

Variedades

En el Ecuador (60) se distinguen dos variedades: una cuyo fruto tiene un exocarpo fino, de olor agradable y de sabor agridulce; la otra tiene exocarpo más grueso, es más fragantes y de sabor más dulce.

Schultes, Cuatrecasas y Romero-Castañeda (74, 75) reconocen también dos variedades: la típica que no tiene agujones y se encuentra

en el sur de Colombia, Ecuador y Perú, y la variedad septentrionale con aguijones en las ramas, pecíolos y nervaduras principales, en el centro y norte de Colombia. Según León (43) la variedad septentrionale puede ser el tipo más primitivo.

Número cromosomal

Las solanáceas son un grupo poliploide con un número básico o haploide de 12 cromosomas (49); la naranjilla tiene este mismo número básico: el número somático $2n$, es 24; este número se estableció tanto en las anteras jóvenes como en puntas de raíz (49, 71, 81).

Ciclo vegetativo y fructificación

Para alcanzar el tamaño de transplante, las plantitas de naranjilla deben permanecer en el semillero de 2 a 3 meses; luego se siembran a mayor distancia en el campo. La floración se inicia de 5 a 8 meses después del transplante, y la fructificación comienza entre los 10 a 12 meses después de haber sembrado las semillas. Estas fases varían en tiempo de acuerdo con las condiciones ecológicas donde se realice el cultivo (24, 67).

Debido a que las flores se producen continuamente sobre los nuevos brotes, hay frutos maduros todo el tiempo; por esta razón la cosecha de la fruta se efectúa a través de todo el año (30).

Una planta de naranjilla puede producir durante 3 a 4 años, pero para fines comerciales se calculan 3 años de buena producción (24). Ledin (41) indica que existe la posibilidad de prolongar la

vida de la planta haciendo una poda de las ramas grandes durante el segundo año de crecimiento. De este modo se producen nuevas ramas en la parte más baja de la planta, con lo que se consigue una renovación de la plantación.

Por cuanto las plantas crecen rápidamente y la fructificación es abundante, Ochse y colaboradores (64) sostienen que se debe fertilizar a intervalos frecuentes, como también proporcionar suficiente agua a las plantas durante períodos de sequía con el objeto de evitar una disminución del rendimiento.

Propagación y problemas fitosanitarios

La naranjilla se propaga generalmente por semilla. También se puede propagarla vegetativamente; en el Ecuador no aconsejan este último método debido a la poca durabilidad de las plantas (59), aunque según Dupaigne (12) las plantas propagadas asexualmente florecen más pronto que las provenientes de semilla.

Debido al serio problema que presentan los nemátodos en este cultivo (21), se ha efectuado una serie de experiencias para buscar resistencia a este mal. Ledin (41) expresó que un método para combatir los nemátodos consiste en injertar la planta en un patrón de una especie de Solanum resistente. En Florida, según Ochse y colaboradores (64), la naranjilla se propaga por injerto sobre otras especies del género Solanum, resistentes a los nemátodos, tales como S. macroanthum Dun., S. verbascifolium L., S. torvum Swartz., S. hirsutissimum Standley, S. marginatum L. f., y S. mammosum L.

Ledin (41) menciona como patrones S. macranthum Dun., S. verbascifolium L., S. hirsutissimum Standley y Cyphomandra betacea Sendt.; este investigador obtuvo los mejores resultados con C. betacea, conocida vulgarmente como "tomate de árbol".

Vivar (81) en Turrialba, Costa Rica, trabajando con especies relacionadas con la naranjilla que presentan características favorables para un programa de mejoramiento tales como S. Topiro H. B., S. tequilense Gray, S. hirtum Vahl. y S. hirsutissimum Standley, encontró que la especie más íntimamente relacionada con la naranjilla fue el S. hirtum Vahl.

Estudios fisiológicos

Se ha efectuado una serie de ensayos para propagar el cultivo de la naranjilla en sitios que normalmente no poseen las condiciones y características del hábitat natural de la planta.

McCann (49) en Beltsville, Maryland, informa sobre algunas experiencias realizadas en invernadero para ver cómo reacciona la planta al fotoperíodo. Encontró que la naranjilla puede florecer alrededor de 2 meses más temprano de lo que normalmente tarda para florecer suministrando 12 horas de luz al día, que es el número de horas de que dispone en su hábitat nativo durante todo el año.

Otro aspecto estudiado por McCann (49) se refiere a la abscisión de flores. Bajo las condiciones de invernadero, en donde se hizo el experimento, la flor y el pedicelo tendían a caerse de las inflorescencias. Para controlar esta caída McCann ensayó una serie

de sustancias reguladoras de crecimiento, las cuales aplicó a la flor y al pedicelo. De todas las sustancias estudiadas encontró que una emulsión de 1:1.000 de naftalenacetamida, fumigada directamente sobre las flores, inhibía la abscisión. En Turrialba, Costa Rica, Vivar (81) encontró que la abscisión de los botones florales fue menor en la sombra.

Serrano y Naundorf (76) en Palmira, Colombia, ensayaron el enraizamiento de brotes laterales a manera de estacas. Los trataron con el 3-indol butirato de potasio y los colocaron en cajas de las que se utilizan corrientemente para la propagación vegetativa. Encontraron que con 2 mg de 3-indol butirato de potasio por cada gramo de talco, cerca de un 90 por ciento de brotes laterales de naranjilla enraizaron a los 24 días.

Deficiencias de elementos esenciales

En vista de que no existen trabajos sobre los síntomas de deficiencia de elementos minerales en la naranjilla, se decidió hacer referencia a las características que muestran otras solanáceas, tales como el tomate (Lycopersicum esculentum Mill.), tabaco (Nicotiana Tabacum L.) y papa (Solanum tuberosum L.), que son plantas de la misma familia.

1. Su manifestación

a. Deficiencia de nitrógeno

Varios autores han descrito los síntomas visibles de la

deficiencia de nitrógeno en solanáceas. Jones (35) indicó que en general una deficiencia de nitrógeno está acompañada por una pérdida uniforme del color verde en el follaje, el cual es escaso; el crecimiento de retoños es débil y las nuevas hojas son pequeñas, de color verde claro a amarillo.

McMurtrey (53), trabajando con tabaco en soluciones nutritivas, encontró que cuando se lo priva de nitrógeno, las hojas pierden su color verde normal en pocos días. Posteriormente las más bajas se vuelven amarillas y se secan rápidamente; en cambio, las hojas más jóvenes tienden a retener su color verde normal.

Fisher (19) y Purvis et al (68) señalan como síntoma de deficiencia de nitrógeno en tomate un amarillamiento de la planta entera; las hojas más bajas lentamente mueren y se caen y las venas toman un color rosado o púrpura.

En el caso de la papa, Hougland (31) cita como manifestación de esta deficiencia un crecimiento erecto con las hojas de color verde claro; las más viejas se tornan amarillas y caen.

b. Deficiencia de fósforo

Según Nightingale (63) los efectos de la deficiencia de fósforo se hacen evidentes en un tiempo comparativamente corto.

Bingham (2) menciona como síntoma común de la deficiencia de fósforo una coloración verde oscura del follaje con venas y pecíolos púrpuras.

Fisher (19) encontró que las plantas de tomate presentaban un

color verde azul oscuro o púrpura después de permanecer de siete a diez días en solución nutritiva sin fósforo. Las hojas más bajas gradualmente se tornaban negras, el tallo era delgado y cubierto con manchitas circulares muy pequeñas y de color azul oscuro. Wallace (82) y MacGillivray (50) señalan que las hojas del tomate carentes de fósforo son pequeñas, azul verdosas, con tintes púrpuras claros; ocurre una caída temprana de las hojas más viejas.

McMurtrey (53) menciona que en el tabaco la deficiencia de fósforo se manifiesta en el follaje con un color verde oscuro anormal, el cual se hace aparente después de que la planta ha estado de dos a tres semanas en la solución carente de fósforo; posteriormente las hojas más bajas se amarillan y se secan rápidamente, tomando un color verde parduzco o casi negro; las hojas son muy angostas en proporción a su longitud.

Houglund (31) y Wallace (82) citan como síntoma de deficiencia de fósforo en papa un enrollamiento de las hojas, hacia la haz, con los márgenes "chamuscados"; las hojas más viejas caen repentinamente.

c. Deficiencia de potasio

Ulrich y Ohki (79) dicen que los primeros síntomas de deficiencia de potasio generalmente aparecen en las hojas bajas, como "hojas chamuscadas". En las hojas jóvenes la deficiencia se manifiesta como una clorosis intervenal cerca de los márgenes; esta clorosis pasa de verde claro a marrón y finalmente, al secarse toma la

apariencia de "chamuscado".

Fisher (19) observó que las plantas de tomate que estaban creciendo en soluciones nutritivas carentes de potasio mostraban los síntomas de la deficiencia como manchas amarillentas a marrones cerca del margen de las hojas; estas manchas gradualmente se extendían a toda la hoja, la cual posteriormente se amarillaba y moría. Los márgenes de las hojas se enrollaban hacia abajo o hacia adelante (82). Purvis y Carolus (68) y Nightingale (61) señalaron como síntomas de esta deficiencia un color amarillento o verde grisáceo de las hojas inferiores a lo largo de los márgenes y en los ápices; después se presentó una necrosis, tal como ocurre en el caso del tabaco (53). Las áreas muertas se volvían pardas y daban a la parte más baja de la planta una apariencia bronceada.

Según Hougland (31) y Wallace (82), la deficiencia de potasio produce en la papa una coloración verde azulada de las hojas, tal como se presenta en el tomate. Las hojas más viejas se seguidamente aparece una necrosis de color pardo que comienza en los ápices y márgenes.

Anderson (1) y McMurtrey (51, 53) citaron como síntomas en el tabaco un moteado amarillento típico en las hojas basales, que comenzaba en los ápices y márgenes. A la clorosis seguía inmediatamente la necrosis; las áreas muertas caían, dando a la hoja una apariencia andrajosa. Las hojas eran de color verde azulado, tal como ocurre en papa y tomate, con excepción de las áreas necróticas, las cuales tomaban un color pardusco.

d. Deficiencia de calcio

Los síntomas de la deficiencia de calcio se han investigado ampliamente y descrito para muchas solanáceas. Chapman (6) señaló como síntoma general una deformación de las hojas jóvenes; las que eran pequeñas y con los márgenes de forma irregular; frecuentemente mostraban un moteado y necrosis; se presentaba y también una muerte descendente en el tallo.

Nightingale (62, 63) afirmó que en las plantas de tomate deficientes en calcio las hojas más viejas a menudo permanecían verdes, aún después de la muerte de la yema terminal, y las hojas medias superiores sufrían amarillamiento. Las hojas jóvenes, además de una clorosis, mostraban necrosis y caían (19, 36). Según Fisher (19) también se presentaba una pérdida de turgencia; las plantas tornaban débiles y flojas y las yemas terminales morían pronto. Cuando había producción de nuevas hojas, éstas morían en un tiempo relativamente corto. En trabajos realizados por McMurtrey (101, 135, 138) se cita como síntoma un encurvamiento de las hojas jóvenes hacia el envés, seguido por la muerte de estas hojas en sus ápices y márgenes. En general, la planta era de color verde oscuro anormal y las hojas se sentían un poco gruesas al tacto. En los estados avanzados todo el crecimiento terminal se detenía y algunas manchas cloróticas y una necrosis aparecían en las hojas más viejas.

e. Deficiencia de magnesio

Embletom (17) dice que en forma general los síntomas de

deficiencia de magnesio aparecen primeramente en las hojas más viejas y progresivamente pueden afectar a las más jóvenes. Estos resultados concuerdan con los observados por Garner (22) y Cooper y colaboradores (9), que manifiestan que la deficiencia de magnesio, al igual que las de nitrógeno, fósforo y potasio, afecta particularmente la parte más vieja de la planta. Hay una pérdida de color verde en las áreas intervenales, seguida por clorosis o desarrollo de colores brillantes; corrientemente ocurre una defoliación prematura.

McMurtrey (53), trabajando con tabaco en soluciones nutritivas, encontró una clorosis entre las venas en las hojas más viejas de la planta, pero no en los ápices y márgenes, como en el caso de la deficiente de potasio; al principio las hojas eran de color verde claro pero más tarde el tejido foliar era casi blanco entre las venas principales, las cuales retenían su color verde normal. El color amarillo se incrementaba en intensidad a medida que la distancia desde las nervaduras era mayor (68). En estados avanzados de deficiencia los ápices y los márgenes presentaban un encurvamiento de las hojas hacia el envés. Las venas principales sufrían un arrugamiento tal que las hojas no se podían sostener y colgaban. En todos los casos observados las yemas permanecieron normales. Bajo condiciones de campo, la principal característica de deficiencia de magnesio en tabaco, según Garner (22), fue una pérdida de color verde en las hojas inferiores, hasta tornarse blanquecinas.

Fisher (19) encontró como síntomas de deficiencia de magnesio en tomate cultivado en soluciones nutritivas, un moteado de las hojas

de color verde claro y amarillo, que comenzó en los márgenes y gradualmente se extendió hacia adentro entre las venas, hasta que quedó afectada toda la hoja; las venas permanecieron de color verde normal. Cromwell (10) señaló que en condiciones de campo el nervio principal y los secundarios, juntamente con una faja de tejido adyacente igual que los márgenes de las hojas, permanecieron verdes, mientras las áreas intervenales eran de color amarillo brillante. En casos extremos los márgenes de las hojas perdían su color verde, pero no así las venas. La clorosis aparecía primeramente en forma de áreas intervenales verde-amarillentas y progresó rápidamente a las hojas más jóvenes. Después de la clorosis había marchitamiento y defoliación (82) primeramente de las hojas más viejas.

Houglund (31) y Wallace (82) describieron como síntomas de deficiencia de magnesio en papa una clorosis central, intervenal o marginal en las hojas más viejas, seguida por necrosis; en sus estados finales las hojas se tornaban quebradizas.

f. Deficiencia de azufre

Según Eaton (13) cuando hay deficiencia de azufre las hojas pueden volverse uniformemente amarillas.

McMurtrey (53) encontró que en tabaco la deficiencia se manifiesta primero en las hojas más jóvenes de la planta, las que exhiben un color verde claro, con las nervaduras más claras que las áreas intervenales; en cambio las hojas más viejas retienen su color verde normal.

Nightingale (62) informó que en el tomate las hojas y los tallos adultos eran de color verde amarillento, teñidos de azul púrpura; las hojas más jóvenes y el ápice caulinar eran de color verde más oscuro. Eaton (14) comprobó que las plantas de tomate eran muy sensibles a la carencia de azufre y los síntomas se desarrollaban rápidamente: hojas de color verde claro, pequeñas y de textura coriácea; las hojas más jóvenes desarrollaban tintes morados, siendo esto un indicio del comienzo de la deficiencia. Fisher (19) manifestó que cuando había deficiencia de azufre las hojas del tomate eran gruesas y firmes; la planta entera tomaba un color verde pálido y las venas se tornaban púrpuras en su parte inferior, pero sin manchas necróticas.

g. Deficiencia de hierro

En plantas verdes el síntoma más universal de la deficiencia de hierro, es la clorosis intervenal típica (53). Wallihan (83) señaló que en los casos de una clorosis leve, la coloración pálida de la hoja no permite distinguir fácilmente la deficiencia de hierro de la de nitrógeno y de otros elementos.

En hojas con clorosis más severa el color verde desaparece de las venas más finas. Posteriormente también desaparece de las principales hasta que, en casos extremos, la hoja queda desprovista completamente del color verde. Las hojas con grandes áreas necróticas se pueden caer y en muchos casos hay una defoliación completa.

Wallace (82) encontró que en el tabaco las hojas más bajas de la planta eran de color verde normal; las hojas más jóvenes algunas

veces llegaban a ser completamente blancas, con las nervaduras verdes.

Según el mismo autor (82) en el tomate la deficiencia se presenta en las hojas terminales en forma de una clorosis intervenal de color blanco-amarillento, que comienza como moteado, más intensa cerca de la base de las hojas mientras que cerca del ápice es más bien verde amarillento.

h. Deficiencia de boro

Bradford (3) indica que aunque los síntomas de deficiencia de boro varían de una especie de planta a otra, en general, hay un crecimiento terminal en forma de roseta, con muerte descendente en el tallo, decoloración y estímulo del desarrollo de yemas laterales, las que en ocasiones se desarrollan bien; las hojas muestran varias anormalidades como encrespamiento, arrugamiento, marchitamiento y manchas cloróticas; además son quebradizas.

McMurtrey (52, 55) y Shive (77) describieron para el tabaco los siguientes síntomas de deficiencia de boro: hojas jóvenes de color verde claro, más claro en la base que en el ápice, la yema terminal interrumpe su crecimiento y finalmente muere. Pueden aparecer yemas laterales, pero también se mueren después de alcanzar este tamaño. Las hojas son glabras y quebradizas; cuando se quiebran, el tejido vascular aparece negruzco.

Fisher (19) observó que las plantas de tomate deficientes en boro en pocos días adquirieron un color púrpura; los retoños terminales

de color amarillo se encresparon hacia adentro y posteriormente murieron. La característica más sobresaliente fue la excesiva vidriosidad de los pecíolos y nervaduras principales. Johnston y Doré (33, 34) encontraron como síntomas visibles tempranos de la deficiencia de boro una apariencia negruzca en el punto de crecimiento del tallo y la paralización del crecimiento de las ramas y hojas nuevas que están debajo de esta porción muerta; las hojas crecen en longitud pero no en anchura; los tallos y pecíolos son vidriosos. Lamb y Conroy (38) describen como síntomas una clorosis marcada en los márgenes de las hojas superiores, con los centros de color verde oscuro. En la lámina foliar se presentan manchas rosadas, púrpuras y pardas (82). El brote terminal queda encorvado hacia arriba y las hojas cotiledonares y verdaderas de las plantas jóvenes se vuelven púrpuras (77).

Hougland (31) indica que la planta de papa deficiente en boro es de apariencia lanuda con los entrenudos cortos, el follaje delgado y quebradizo y las hojas más viejas con los márgenes encrespados hacia la haz.

i. Deficiencia de zinc

Chapman (7) dice que en muchas plantas deficientes de zinc, se afecta primeramente el crecimiento terminal. Hay una disminución en la longitud del tallo y un enrosetado o espiralado de las hojas.

Lingle y colaboradores (44, 45, 46) encontraron como síntomas de deficiencia de zinc en el tomate un crecimiento lento a partir de

la aparición de la primera hoja verdadera, engrosamiento de las hojas y desarrollo de una clorosis anaranjada pardusca en las hojas más viejas, las cuales a menudo contienen pequeñas áreas necróticas, ya sea distribuidas al azar sobre la superficie de la hoja o concentradas a lo largo de las venas y márgenes. Las hojas viejas se encrespan hacia abajo por sus márgenes (82). En casos de deficiencia severa, según Lingle y colaboradores (44), se presentan a lo largo de las venas pequeñas manchas parduscas, elongadas, que cuando se unen, causan la muerte de la hoja.

McMurtrey (54, 55) describió los siguientes síntomas de deficiencia de zinc en el tabaco: clorosis en los ápices, márgenes y venas de las hojas más viejas; a esta clorosis sigue una necrosis que empieza en forma de pequeñas áreas que posteriormente se agrandan y envuelven las venas y finalmente a la hoja entera.

Trabajando con plantas de papa en soluciones nutritivas Hougland (31) encontró síntomas de deficiencia de zinc muy bien definidos: las hojas superiores asumían una ligera posición vertical, mientras los márgenes de algunas se encrespaban ligeramente hacia la haz. Las hojas eran pequeñas; generalmente en las hojas medias se presentaban manchas irregulares pardo-grisáceas a bronceado, pero algunas veces también sobre las hojas más viejas o más jóvenes, y finalmente sobre todas las hojas. Con deficiencia severa en los tallos y los pecíolos se desarrollaban manchas pardas.

j. Deficiencia de manganeso

Los síntomas de una deficiencia de manganeso son bien defini-

dos en muchas plantas. Sin embargo, es fácil confundir los síntomas producidos por la falta de este elemento con aquellos debidos a las deficiencias de zinc y hierro. Labanauskas (37) dice que en los estados primarios la deficiencia de manganeso se presentan bandas verde oscuras a lo largo de la vena principal y secundarias, con áreas verdes más claras entre estas bandas. Las hojas jóvenes muestran una red de venas verdes sobre un fondo verde más claro; posteriormente las áreas verde oscuras se transforman en verde opacas y las áreas verde claras persisten; en casos muy severos las áreas verde claras se tornan a menudo grises y hasta blancuzcas.

Eltinge (16) encontró que en el tomate la deficiencia de manganeso se manifestaba como un moteado verde claro, especialmente en las hojas jóvenes; en el centro de cada región verde clara aparecían pequeñas áreas necróticas; el moteado podía avanzar y llegar a ser general en toda la planta, dando al follaje una apariencia pálida (82).

En tabaco, según McMurtrey (54, 55), el síntoma típico es una clorosis de las hojas jóvenes que se desarrolla únicamente entre las venas. En estados avanzados aparecen en las hojas cloróticas pequeñas áreas necróticas, las que al secarse toman un color blanco o pardusco.

Houglund (31) dice que en la papa las hojas cerca del ápice son pequeñas, cloróticas y enrolladas hacia adelante; las áreas muertas se desintegran, causando a la hoja un rasgamiento.

2. Su efecto sobre la anatomía

No existe ninguna investigación en la naranjilla respecto a la influencia que puede tener la carencia de un elemento mineral en la estructura anatómica. En vista de esto, y con el objeto de proporcionar un medio de comparación de los resultados del presente estudio, se incluyen a continuación algunas conclusiones de ensayos realizados en tomate, que es también una solanácea.

a. Nitrógeno

Nightingale (62) dice que en el tomate las plantas deficientes en nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, en varios estados de crecimiento y bajo diferentes condiciones de medio ambiente y de nutrición, muestran una gran variación en la cantidad de carbohidratos. Se ha descubierto que la acumulación de carbohidratos se encuentra asociada con un engrosamiento de las paredes celulares del xilema, del floema y de la corteza; mientras que una baja concentración de carbohidratos está relacionada con paredes delgadas en estos tejidos. Las plantas deficientes en nitrógeno, pero con oportunidad para una abundante actividad fotosintética, tienen poco tejido meristemático, pero sin daño alguno.

Lyon y García (47) trabajando con tomate en arena de cuarzo, encontraron que con un suministro limitado de nitrógeno las células de la medula, la corteza y los rayos medulares tenían bastante almidón; las paredes externa e interna de las fibras del periciclo se engrosaron, mientras que el desarrollo del colénquima se restringió a 2 o 3

capas de células. El diámetro de los tallos fue grande debido al mayor número y tamaño de las células de la medula.

Kraus y Kraybill, citados por Hayward (28), dicen que en las plantas desarrolladas débilmente a consecuencia de un suministro bajo de nitrógeno, se reduce la cantidad de colénquima y de medula, pero hay un aumento en el xilema secundario y en el espesor de las paredes de las fibras pericíclicas.

b. Fósforo

Eckerson (15) encontró que en el tomate durante la segunda y tercera semana de tener las plantas en solución nutritiva sin fósforo, como consecuencia de la acumulación de azúcares y almidón las paredes celulares eran gruesas; el colénquima aumentó y el engrosamiento de las esquinas fue mayor que en el control. En el tallo viejo y medio la actividad cambial disminuyó y cesó muy pronto. En las células parenquimáticas del floema se acumularon cristales de oxalato de calcio; el floema interno y externo fue menor que en las plantas testigo; también había mucho más almidón en las células de la medula. El cambio más significativo fue la ausencia de producción de xilema secundario y de células de floema debido a la pérdida de la actividad cambial; en contraposición a esto, el cámbium de las plantas testigo era muy activo en esta región. La corteza era angosta y la medula pequeña con mucho almidón; en cada tejido las células tenían menor diámetro y paredes más gruesas que las correspondientes a los tejidos en las plantas testigos.

c. Potasio

Según Nightingale y colaboradores (61), los síntomas más notorios de una deficiencia de potasio en plantas de tomate, están relacionados con una gran acumulación de carbohidratos en forma de almidón, y con la formación de paredes celulares gruesas en el xilema, floema y tejidos mecánicos.

d. Calcio

Según Kalra (36) y Lyon y García (48), son muy pocos los trabajos que se han realizado para estudiar los efectos de la deficiencia de calcio en la anatomía. Para el tomate se citan una aparente elongación de las paredes celulares, algunos de los tejidos se tornan vidriosos y se quiebran cuando se cortan con el micrótopo. Según Kalra (36) todavía no se ha indicado que la deficiencia de calcio afecte la organización anatómica básica del tallo y raíz. Los mayores efectos de la deficiencia de calcio que se han reportado para plantas superiores son disturbios en los meristemas apicales, los cuales se presentan como inhibición de la división celular y necrosis completa. En estudios celulares de los meristemas deficientes en calcio se encontró que el citoplasma y el núcleo estaban bastante afectados (36).

e. Azufre

Según Nightingale (62) en plantas de tomate deficientes en azufre las raíces son de poco diámetro debido a que prácticamente no hay cámbium ni engrosamiento secundario. Sin embargo, las células

no muestran ni deformación ni herida, como en el caso de la deficiencia de calcio. Los tallos no tienen cámbium activo, excepto en y cerca del ápice; además hay una elevada proporción de paredes engrosadas en el xilema y colénquima.

En un experimento realizado por el autor antes mencionado (62), las plantas deficientes en azufre tenían un alto contenido de carbohidratos; las células de la medula del ápice del tallo tenían paredes engrosadas, aunque no tanto como los elementos conductores del xilema, fibras de la región del floema y colénquima de la corteza.

f. Boro

Johnston y Doré (34) indican que las hojas de las plantas de tomate que crecieron en medios deficientes de boro, desarrollaron un color púrpura distintivo debido probablemente a la presencia de antocianina, pigmento que frecuentemente está asociado con un exceso de acumulación de azúcares. Los mismos autores hicieron exámenes microscópicos de los pecíolos y tallos de plantas deficientes en boro y encontraron una necrosis en el floema.

Bradford (3) manifiesta que en general la deficiencia de boro conduce a una degeneración de los tejidos meristemáticos, incluyendo el cámbium, descomposición de las paredes de las células parenquimáticas, y a un desarrollo débil de los tejidos vasculares; el xilema y el floema se desarrollan en forma imperfecta. Se presentó también una hipertrofia de las células de paredes delgadas junto con una decoloración, la que comúnmente es seguida por una desintegración de

la célula.

g. Zinc

Carlton (4) encontró que en las raíces de las plantas de tomate deficientes en zinc las células de la endodermis mostraban bandas de Caspary bien definidas y las células del xilema se desarrollaban con paredes gruesas. Aunque el histógeno mostró zonación típica, no había tejido meristemático en el ápice radical. En una sección transversal se observó una reducción evidente en la actividad meristemática, y las paredes celulares del protoxilema engrosadas y muy lignificadas. En general, el zinc parece tener menor efecto sobre la anatomía de la hoja que sobre la de la raíz. El tejido en empalizada estaba formado por una simple capa de células; había una considerable necrosis en el mesofilo; en algunas manchas únicamente fue afectada una célula simple de las del tejido en empalizada o esponjoso, mientras que en otros lugares varias a muchas células fueron destruidas; en unos pocos lugares, había necrosis completa del mesofilo y de la epidermis lo que resultó en la formación de manchas oscuras. La corteza de los tallos tenía de 4 a 6 filas de espesor de células parenquimáticas; las más cercanas a la epidermis fueron elongadas tangencialmente, mientras las más cercanas al centro eran más isodiamétricas. El límite interior de la corteza se pudo determinar por la presencia de una capa de almidón acumulado. En la corteza se presentaron muy pocas divisiones celulares y no había colénquima; había poca evidencia de la actividad cambial; se presentó un poco de cámbium fascicular, pero su actividad había sido muy limitada y sólo

de vez en cuando hubo alguna indicación de la formación de un cámbium interfascicular. El periciclo era escasamente definido, uniseriado, de células parenquimáticas. Los elementos del xilema estaban en número menor que en el testigo.

h. Manganeso

Eltinge (16) afirma que los cambios morfológicos que se producen en las hojas de tomate deficientes en manganeso coinciden bien con aquellos producidos internamente. Los plástidos, especialmente los de las células en empalizada, mostraron primeramente el daño en forma de un color verde amarillento, contrastando con el color verde oscuro normal de los plástidos sanos. Las hojas deficientes en manganeso son más delgadas y tienen células en empalizada más pequeñas que el testigo; muchas células contienen grandes masas de cristales, lo cual también ocurre en las células del parénquima en tallos deficientes. Los tallos deficientes en manganeso tenían un diámetro más pequeño, contenían menos xilema y a menudo presentaban células del xilema taponadas con material coagulado. Algunas de las células conductoras de las nervaduras de hojas deficientes, también estaban taponadas; en este caso la obstrucción era causada por cristales y material coagulado.

MATERIALES Y METODOS

Los trabajos se realizaron en el invernadero y laboratorio de Fisiología Vegetal del Centro de Enseñanza e Investigación (IICA-CEI) del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica.

Material vegetal usado

Las plantas para el estudio se cultivaron usando semillas de plantas de naranjilla que habían crecido en predios del IICA-CEI aparentemente libres de plagas y enfermedades.

Las semillas, después de una cuidadosa selección, se desinfectaron con Semesan y posteriormente se sembraron en arena pura de cuarzo, en una maceta; esta maceta estaba colocada sobre un plato de arcilla. El riego, que se hizo diariamente con agua de grifo, se efectuó depositando una cantidad de agua en el plato para que ascendiera por capilaridad y mantuviera de esa manera una humedad uniforme.

Después de la germinación, la cual duró de 25 a 30 días, cuando las plantitas habían alcanzado una altura de 1,5 a 2,0 cm se sometieron primeramente a un cuidadoso lavado de las raíces con agua pura a fin de despojarlas de cualquier partícula de arena; posteriormente se trasladaron a frascos de vidrio, de un galón de capacidad, que contenían las soluciones nutritivas con los macro y microelementos, con excepción de las destinadas al estudio de microelementos, a las cuales se las privó desde el principio del elemento objeto de estudio. Las plantas se dejaron crecer en estas condiciones hasta que

alcanzaron un tamaño de unos 10 cm.

Soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas se prepararon de acuerdo con lo indicado por Hoagland y Arnon (29). Se usó la fórmula Hoagland nº 2, la cual se caracteriza por suplir el nitrógeno tanto en forma amoniacal como de nitratos. En el Cuadro 1 se indica la composición química de las soluciones nutritivas. Las disoluciones se efectuaron con agua desionizada y las soluciones madres se mantuvieron en recipientes plásticos.

Los frascos tenían una tapa de madera con 4 hoyos por donde se insertaron las plantitas, las que permanecieron en forma erecta con la ayuda de algodón y bandas de caucho.

Los frascos se introdujeron en bolsas de polietileno negro, con el objeto de reducir la luz y de este modo evitar el crecimiento de algas. Cada frasco estaba provisto de un dispositivo para la aeración continua de las soluciones por medio de burbujeo de aire proveniente de un compresor automático.

Las soluciones se mantuvieron en su nivel primitivo por adición de agua desionizada cada pocos días durante los primeros estados de crecimiento, y cada segundo o tercer día, durante los estados posteriores. Todas las soluciones se renovaron cada 20 días.

Una vez que las plantas alcanzaron el tamaño de unos 10 cm, apropiado para comenzar con los tratamientos de deficiencias, se procedió a seleccionar en cada frasco la plantita que mostraba mejor

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas en ppm.

Tratamiento	Compuesto	N		P	K	Ca	Mg	S	Na ₂ Fe	H ₃ BO ₃	MnCl ₂	ZnSO ₄	CuSO ₄	H ₂ MoO ₄
		N-NH ₄	N-NO ₃											
Completo	NH ₄ H ₂ PO ₄	14	31											
	KNO ₃	84	234											
T	Ca(NO ₃) ₂	112	160						5	0,5	0,5	0,05	0,02	0,01
	MgSO ₄		48				48	64						
Sin	K ₂ SO ₄		195					80						
	MgSO ₄		48				48	64						
N	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	31	20						5	0,5	0,5	0,05	0,02	0,01
	CaSO ₄		80					64						
Sin P	Ca(NO ₃) ₂	112	160											
	KNO ₃	84	234						5	0,5	0,5	0,05	0,02	0,01
	MgSO ₄		48					64						
Sin K	Ca(NO ₃) ₂	140	200											
	MgSO ₄		48					64	5	0,5	0,5	0,05	0,02	0,01
	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	31	20											

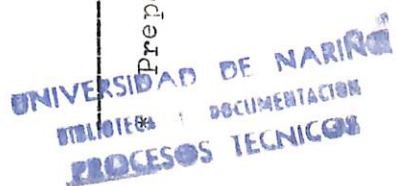
Continuación Cuadro 1.

Tratamiento	Compuesto	N		P	K	Ca	Mg	S	Na ₂ Fe	H ₃ BO ₃	MnCl ₂	ZnSO ₄	CuSO ₄	H ₂ MoO ₄
		N-NH ₄	N-NO ₃											
Sin Ca	KNO ₃		70		195		48	64	5	0,5	0,5	0,05	0,02	0,01
	MgSO ₄													
	KH ₂ PO ₄		31	39										
Sin	Ca(NO ₃) ₂		112			160								
	KNO ₃		84		234									
Mg	KH ₂ PO ₄			31	39				5	0,5	0,5	0,05	0,02	0,01
	K ₂ SO ₄				117									
Sin	Ca(NO ₃) ₂		112			160								
	KNO ₃		84		234				5	0,5	0,5	0,05	0,02	0,01
S	KH ₂ PO ₄			31	39									
	Mg(NO ₃) ₂		56				48							
Sin	NH ₄ H ₂ PO ₄	14		31										
	KNO ₃		84		234									
Fe	Ca(NO ₃) ₂		112			160				0,5	0,5	0,05	0,02	0,01
	MgSO ₄						48	64						

Continuación Cuadro 1

Tratamiento	Compuesto	N		P	K	Ca	Mg	S	Na ₂ Fe	H ₃ BO ₃	MnCl ₂	ZnSO ₄	CuSO ₄	H ₂ MoO ₄
		N-NH ₄	N-NO ₃											
Sin	NH ₄ H ₂ PO ₄	14		31										
	KNO ₃		84		234									
B	Ca(NO ₃) ₂		112			160			5	0,5	0,05	0,02		0,01
	MgSO ₄						48	64						
Sin	NH ₄ H ₂ PO ₄	14		31										
	KNO ₃		84		234									
Zn	Ca(NO ₃) ₂		112			160			5	0,5	0,5	0,02		0,01
	MgSO ₄						48	64						
Sin	NH ₄ H ₂ PO ₄	14		31										
	KNO ₃		84		234									
Mn	Ca(NO ₃) ₂		112			160			5	0,5	0,05	0,02		0,01
	MgSO ₄						48	64						

Preparadas con ZnCl₂ y Cu Cl en lugar de los sulfatos.



crecimiento y se eliminaron las restantes. A las plantas seleccionadas se les aplicaron los siguientes tratamientos:

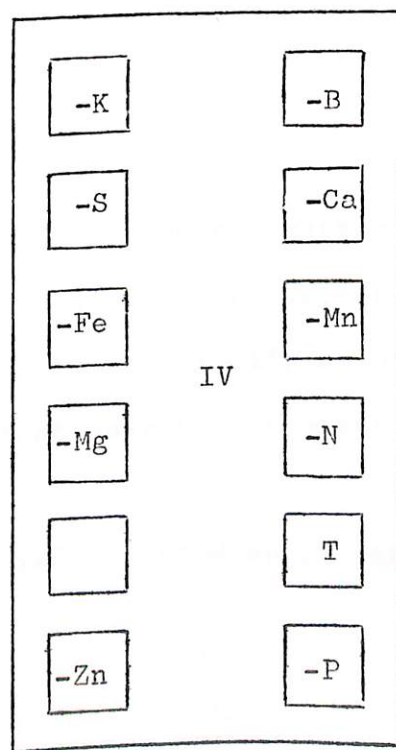
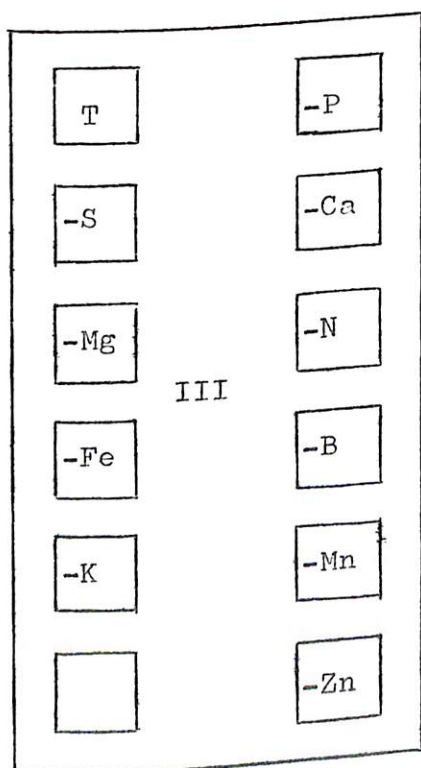
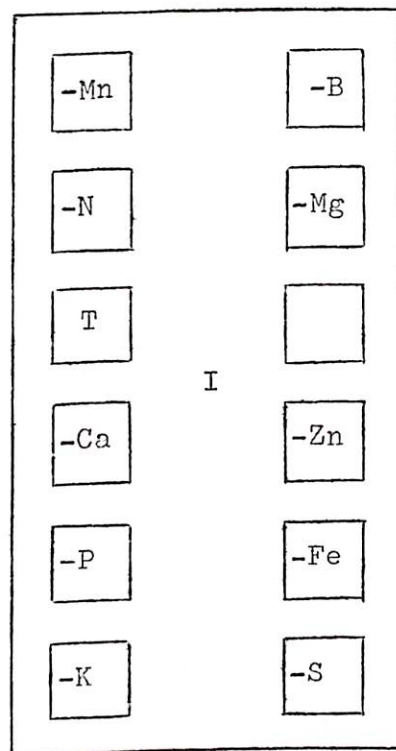
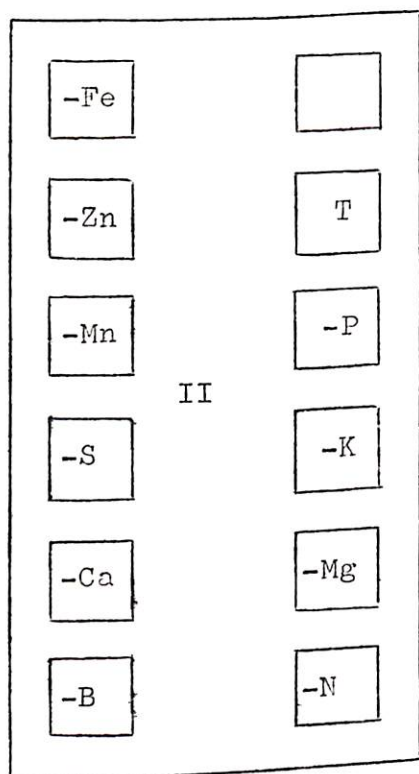
- | | |
|--------------------------------|------|
| 1. Solución nutritiva completa | T |
| 2. Solución sin nitrógeno | - N |
| 3. Solución sin fósforo | - P |
| 4. Solución sin potasio | - K |
| 5. Solución sin calcio | - Ca |
| 6. Solución sin magnesio | - Mg |
| 7. Solución sin azufre | - S |
| 8. Solución sin hierro | - Fe |
| 9. Solución sin boro | - B |
| 10. Solución sin zinc | - Zn |
| 11. Solución sin manganeso | - Mn |

Diseño experimental

Se uso un diseño de bloques al azar con 11 tratamientos y 4 repeticiones. Cada repetición consistió de 3 plantas por frasco hasta que las plantas alcanzaron 10 cm de altura y posteriormente, cuando se aplicaron los tratamientos para provocar las deficiencias, quedó una planta por frasco seleccionada conforme se explicó anteriormente. Las repeticiones fueron sorteadas haciendo uso de tablas aleatorias.

La disposición de las unidades experimentales en las mesas del invernadero se hizo como se indica en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Disposición de las unidades experimentales en las mesas del invernadero.



Nota. Los símbolos químicos indican los tratamientos y los números romanos los bloques.

Estudios morfológicos

La morfología se describirá con base en los caracteres de la raíz, tallo, hojas, flores, frutos y semillas de plantas de naranjilla que se cultivaron con este propósito en un lote del IICA-CEI. Para determinar las características morfológicas de la planta, las experiencias indican que el mejor período es alrededor de la época en que se inicia la floración; con ese criterio se hizo en este caso. Para describir las características del tallo se utilizó el tallo principal y no las ramas laterales. Para los caracteres morfológicos de la hoja se utilizaron hojas que estaban localizadas entre la porción media y superior de la planta. La terminología fue consultada en Font Quer (20), Gutiérrez (27) y Lawrence (39).

La descripción de los síntomas de deficiencia se hizo con base en las plantas de todas las repeticiones; para la interpretación de los colores se usó la tabla de Munsell (58).

Estudios anatómicos

En el momento en que aparecieron los síntomas característicos de deficiencia se cosecharon las plantas de cada tratamiento y se dejó una para el estudio anatómico. Para la descripción se utilizó la terminología empleada por Esau (18), Font Quer (20) y Strasburger (78).

El estudio de la anatomía se realizó con base en preparaciones microscópicas permanentes.

Para la obtención de las preparaciones permanentes a partir del material vegetal fresco se utilizaron diferentes métodos y técnicas, siguiendo delineamientos generales descritos por Gray (25, 26), Johansen (32), Müller (56), Roth (70), Sass (72) y Venning (80).

Preparaciones permanentes

De cada tratamiento, incluyendo el testigo, se tomaron muestras de: raíz, tallo (joven y adulto), peciolo y hoja (aparentemente sanos y con síntomas de deficiencia).

Para matar y fijar el tejido se usó la mezcla FAA (Formaldehído, ácido acético, etanol). Se evacuó el aire de los tejidos con el objeto de facilitar la penetración de la mezcla fijadora. El tiempo de permanencia en FAA fue de 12 a 24 horas, dependiendo de la consistencia del tejido. Luego se procedió a la deshidratación mediante una serie ascendente de etanoles y el traspaso a cloroformo como solvente de parafina.

Para la infiltración se usó primeramente una parafina de punto de fusión de 56°C y luego "paraplast"* con un punto de fusión de 56-57°C.

El material infiltrado se montó en bloques de madera y se cortaron secciones en un micrótomo Spencer 820, de 15 a 30 micras de espesor, según la clase de material y las finalidades del estudio.

Los cortes se fijaron en porta-objetos con un adhesivo a base

* Marca registrada de la casa Fisher Scientific Co.

de albúmina, agua y formaldehído, y se dejaron secar en una estufa a 40°C durante 48 horas. Una vez secas las placas, se procedió a la tinción con safranina en solución acuosa al 1 por ciento, contrastado con verde rápido al 0,5 por ciento en etanol de 95 por ciento. Como clarificador se usó una mezcla de fenol y xilol. Finalmente se sellaron las placas con una resina sintética de la marca Harleco, disuelta en xilol.

Los dibujos que acompañan el texto fueron ejecutados con el auxilio de un micro-proyector.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en este estudio se presentan a continuación, según los diferentes aspectos investigados.

Estudios morfológicos anatómicos

1. Descripción morfológica

Esta descripción se basó en los caracteres de las plantas de naranjilla, de 10 a 11 meses de edad, cultivadas en un lote del IICA-CEI, con este propósito.

La naranjilla (Solanum quitoëense Lam.) es una planta sufrútice, de 0,90 a 1,60 m de alto, de corteza verde grisácea; la ramificación comienza a poca altura del suelo (Fig. 1).

Las hojas, los pecíolos, las yemas florales y los tallos están cubiertos por pelos suaves y muy densos. La pubescencia es de color morado (5RP 4/8) en las hojas jóvenes, parte adaxial de los pecíolos, nervaduras principales y secundarias, especialmente en las hojas jóvenes, y en los sépalos y pétalos en su cara externa. En cambio, en las otras partes es casi blanca.

El indumento está constituido por dos tipos de pelos o tricomas: unos, formados por una estrella blanco-transparente de 6 a 8 puntas, sirve de base a un filamento erecto, más o menos largo, lleno de un líquido morado (antociano); el filamento nace en el centro de la estrella. Otros pelos tienen como base un filamento blanco y terminan en una estrella de color morado: son los que dan la aparien



Figura 1.- Porte general de la planta de naranjilla (Solanum quitoense Lam.)
a los 10 meses de edad.

cia morada, sobre todo a las hojas jóvenes (42).

a. Raíz

La raíz principal es fibrosa-fasciculada, llega a una profundidad mayor de 60 cm, aunque la mayor parte del sistema radical ocupa los primeros 20 a 25 cm de suelo. En el cuello la raíz tiene generalmente un espesor de 2,5 a 3,5 cm; las raíces secundarias tienen un diámetro de 0,1 a 0,5 cm en su parte más gruesa.

b. Tallo

El tallo es semileñoso, de hábito erecto. En un corte transversal la periferia del tronco es más o menos circular. La ramificación es simpodial, con 3 a 4 ramas como norma general; en plantas mejor desarrolladas se encuentran hasta 8 y 9 ramas. El diámetro del tallo principal, a 10 cm del suelo, fluctúa entre 1,8 y 3,6 cm y alcanza una longitud hasta 1,60 m. A lo largo del tallo se encuentran numerosos aguijones, de 55 a 70 por cada 10 cm de largo; el resto está cubierto por una pubescencia corta y blancuzca.

c. Hoja

Las hojas son normalmente pocas, siendo el número más constante de 9 a 10; en algunos casos se pueden presentar hasta 60, contando las de todas las ramificaciones; miden hasta 70 cm de largo y 45 cm de ancho; están cubiertas con aguijones cortos y espaciados, situados en las venas principal y secundarias. Hay mayor abundancia de aguijones en el envés, especialmente en la vena principal. Las

venas principal y secundarias son prominentes en ambas caras, pero más pronunciadas en el envés.

Las hojas son alternas, con una filotaxis de $2/5$; son de forma simple, oblonga-avada, con el borde más o menos sinuoso; los lóbulos triangulares, poco prominentes; el ápice es agudo y tienen una base oblicua, equilátera o desigual; la venación es reticulada-pinnatínervia, de color morado (5RP $3/4$) y la consistencia del limbo es cartácea.

Las hojas adultas son de color verde oscuro (7.5GY $4/6$) por la cara superior y de color verde plomizo (7.5GY $5/4$) por la cara inferior. Las hojas jóvenes muestran un color morado (5RP $4/8$) y verde (7.5GY $4/6$) por el envés y haz respectivamente.

La haz del limbo está cubierta por filamentos morados que tienen como base una estrella de 6 a 8 puntas, de color blanco; en el envés la estrella es de color morado y los filamentos son blancos.

Las hojas nacen sobre pecíolos de forma rolliza, acanalado en la inserción con el tallo, en su parte adaxial; miden hasta 15 cm de longitud y su diámetro es de 0,5 a 0,8 cm. El pecíolo en su parte adaxial es de color morado oscuro (5RP $3/4$) y en la parte abaxial de color verde claro (7.5GY $8/4$).

d. Flor

Las flores son blancas, típicas de las solanáceas; nacen en las axilas de las hojas y forman pequeños corimbos; miden de 5 a 6 cm de ancho y sus pedicelos gruesos son cortos, de 0,5 a 2,0 cm de lar-

go. Las flores se presentan en grupos de 1 a 6 (Fig. 2A).

La flor de la naranjilla es completa, generalmente hermafrodita, bisexual o monoclina, fértil; otras son unisexuales-masculinas, estériles, con rudimentos de pistilo (49).

La inserción de los verticilos florales es hipógina y la disposición de las partes florales es cíclica, siendo tetracíclica de acuerdo al número de verticilos; el perianto es diclamídeo-heteroclamídeo.

El cáliz es persistente y se mantiene adherido al fruto; es herbáceo y adquiere consistencia coriácea en la madurez; es gamosépalo o sinsépalo, completamente cilíndrico en la flor fértil y un poco más ensanchado en la base en la estéril; tiene 5 lóbulos triangulares, de 0,8 a 1,2 cm de largo, de color verde claro (7.5GY 8/4) en su cara interna, la cual es lampiña; la parte externa es muy pubescente, cubierta por pelos de color morado (5RP 4/8), como los de la hoja.

La corola es de color blanco, mide de 3 a 5 cm de diámetro y es gamopétala o simpétala, de simetría actinomorfa o regular; está dividida en 5 lóbulos oblongos, de 0,8 a 1,2 cm de largo, glabros en la haz, con tomento estrellado de color morado claro en el envés; su forma es rotácea.

Los estambres carecen de filamento; las anteras son sésiles, están parcialmente adheridas al tubo de la corola; de color amarillo (5Y 8/8). Según la dirección son extrorsos, con dehiscencia apical. En la naranjilla los estambres son isostémonos, alternos con los

pétalos; de acuerdo con su longitud son insertos o *incluidos*.

El ovario se encuentra rodeado por los estambres; es esférico, súpero, de color amarillo (5Y 8/6), cubierto por una pubescencia blancuzca; es bicarpelar y sincárpico o compuesto, tetralocular, con placentación axilar. El estilo es terminal, de color amarillo, como el ovario; el estigma es capitado, de color verde claro (7.5GY 8/6).

La fórmula floral es S(5), [P(5), A(5)], G(2)

e. Fruto

El fruto de la naranjilla es una baya globosa, generalmente de 4 a 6 cm de diámetro. En cada corimbo maduran de 1 a 6 frutos; en estado de madurez expiden un olor aromático agradable y la coloración cambia del amarillo a anaranjado rojizo; el exocarpo está cubierto con una pubescencia de color café claro (2.5Y 6/4) (Fig. 2B).

La parte basal del fruto siempre se conserva con el vello tupido y rígido; mientras que la parte superior es casi siempre lampiña en la época de la maduración; la pubescencia de la base es fácil de eliminar artificialmente.

El exocarpo es delgado y coriáceo; es más firme y grueso que el del tomate. En un corte transversal el fruto tiene gran similitud en la morfología general con el tomate; internamente se notan 4 celdas, rellenas de un mucílago amarillo-verdoso, de sabor ácido y de olor característico; en él se encuentran numerosas semillas.

A.- Flores



B.- Frutos

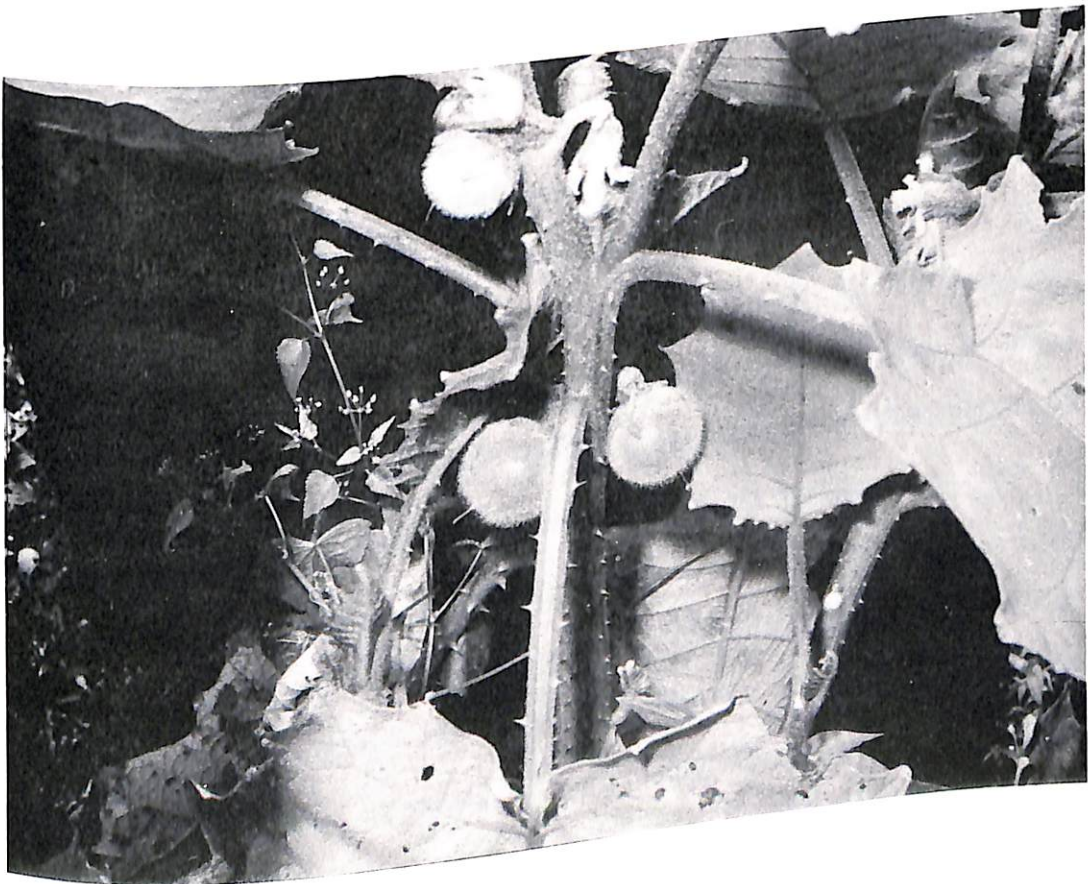


Figura 2.- Organos reproductivos de la naranjilla (Solanum quitoense Lam.)

f. Semilla

Las semillas son lisas, de color amarillo pajizo, de forma redondo-acorazonada y muy achatadas lateralmente, de 3,0 a 3,5 mm de diámetro, son ligeramente más grandes que las del tomate. En cada celda del fruto las semillas están agrupadas en igual forma que las del tomate, pero se encuentran más tupidas y en mayor número.

Según Gattoni (24) en un fruto hay de 1.000 a 1.200 semillas, las que una vez secas tienen un peso de unos 3,5 g.

2. Descripción anatómica

Esta descripción anatómica se realizó con base en preparaciones microscópicas permanentes de plantas que crecieron en soluciones nutritivas completas.

a. Raíz primaria

La epidermis de la raíz primaria está formada por una capa de células pequeñas, rectangulares o casi cuadradas (Fig. 3).

La corteza se encuentran a continuación de la epidermis; se distinguen claramente tres zonas: una formada por células colenquimáticas, de paredes engrosadas en forma irregular, provistas de almidón, de 6 a 7 células de fondo; a continuación se halla una zona de bastante espesor, formada por células parenquimáticas, unas alargadas tangencialmente y otras más o menos isodiamétricas, de paredes delgadas, provistas de gran cantidad de almidón y sin meatos notorios. La más interna de las capas de la corteza forma la endodermis, fácil

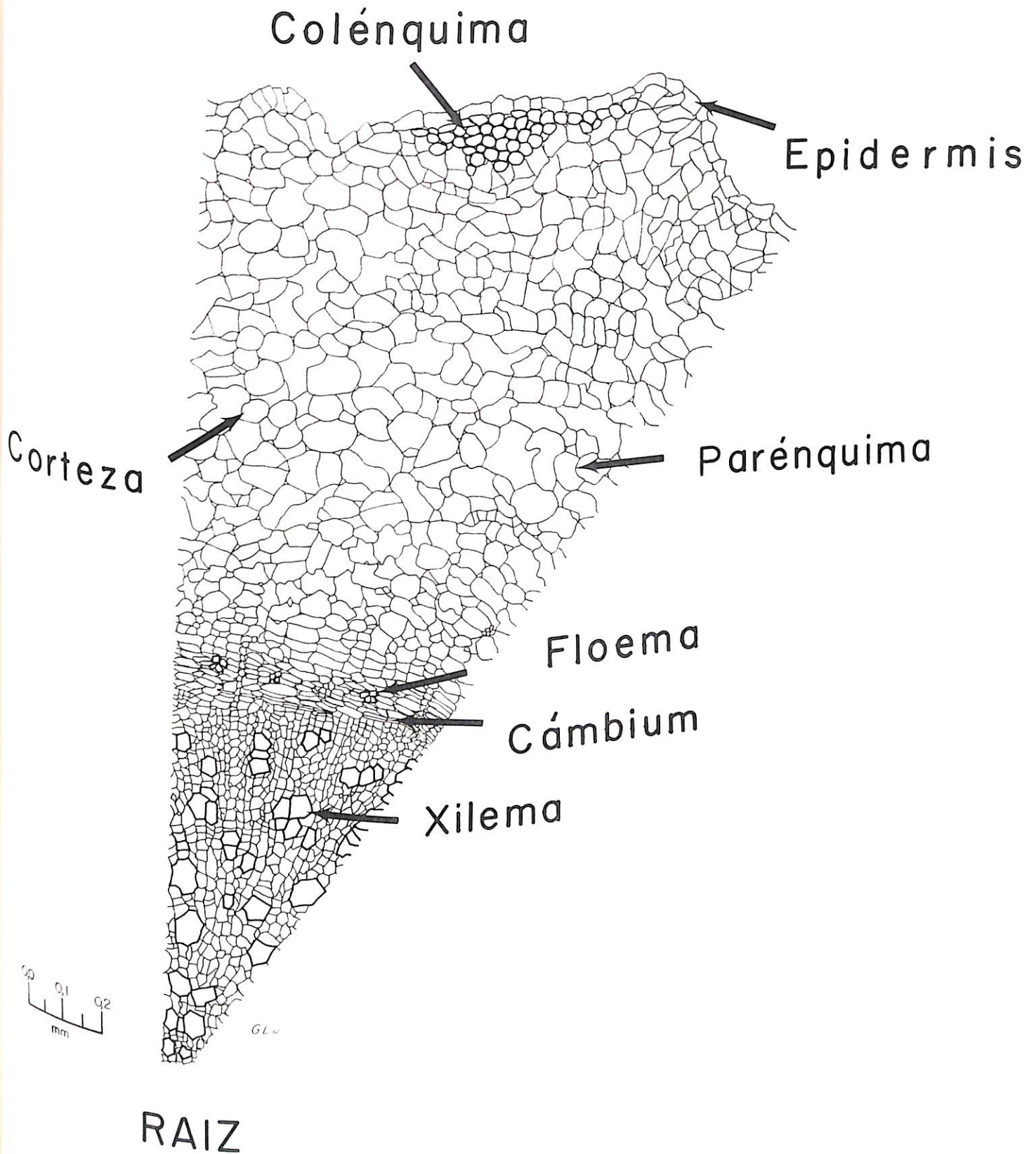


Fig. 3.- Corte transversal de una raíz primaria de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.)

de reconocer por su abundante cantidad de almidón. El periciclo es uniseriado y está compuesto por células más o menos pequeñas, comparadas con las células de la corteza.

La raíz tiene una protostela diarca, no tiene médula y el xilema, de forma radial, por lo general consiste de 6 a 7 partes; los vasos son escalariformes o reticulados.

Las células del floema son muy pequeñas y consisten principalmente de elementos parenquimáticos de forma alargada. El cilindro central ocupa más de la mitad del total del diámetro de la raíz.

En las raíces secundarias la rizodermis está formada por células más o menos redondeadas.

b. Tallo

En forma centripeta se distinguen en el tallo los siguientes tejidos: La epidermis está constituida por una hilera continua de células rectangulares, casi cuadradas. En ella se encuentran abundantes pelos pluricelulares, de muy variadas formas. Algunos de ellos están formados por 8 células; 2 células poliédricas sirven de base; a continuación de éstas se encuentran 2 células de forma rectangular que rematan en 2 células de forma arriñonada; a partir de estas últimas células y en forma dicótoma salen 2 células bastante alargadas que van disminuyendo de espesor paulatinamente hasta alcanzar la forma de estilete. Otros pelos también epidermales, y pluricelulares, están compuestos únicamente por 4 células. Debajo de la epidermis se encuentra la corteza, en la cual se pueden reconocer tres zonas:

1) una zona colenquimática formada por células que tienen las esquinas más gruesas; 2) una zona de células grandes, poliédricas, más alargadas en sentido radial, con muy pocos meatos, bastante almidón y en forma de un conjunto de 4 a 5 capas de células; 3) una zona formada por células parenquimáticas, más o menos isodiamétricas, más desarrolladas en sentido tangencial; en corte longitudinal son alargadas; con abundantes espacios intercelulares, provistas de mucho almidón y de paredes delgadas; su tamaño es más o menos 5 veces mayor que el de las células que forman la zona colenquimática (Fig. 4).

Después de la corteza se encuentra la endodermis que se compone de una capa uniseriada de células pequeñas, poliédricas. El periciclo consiste de una fila de células más o menos cuadradas, de paredes un poco engrosadas en forma irregular. Las fibras pericíclicas son abundantes en esta región en comparación a las fibras pericíclicas internas.

Los cordones floematosos externos forman un anillo discontinuo; acompañando al floema se encuentran pocos haces de fibras, cada uno compuesto de varios elementos.

La zona cambial está constituida por células de paredes delgadas, rectangulares-alargadas tangencialmente, las cuales forman un anillo delgado de 4 a 5 células de espesor.

El xilema secundario, formado por el cámbium fascicular, consiste de vasos grandes, escalariformes, reticulados; hay también parénquima leñoso. A continuación se encuentra el xilema primario

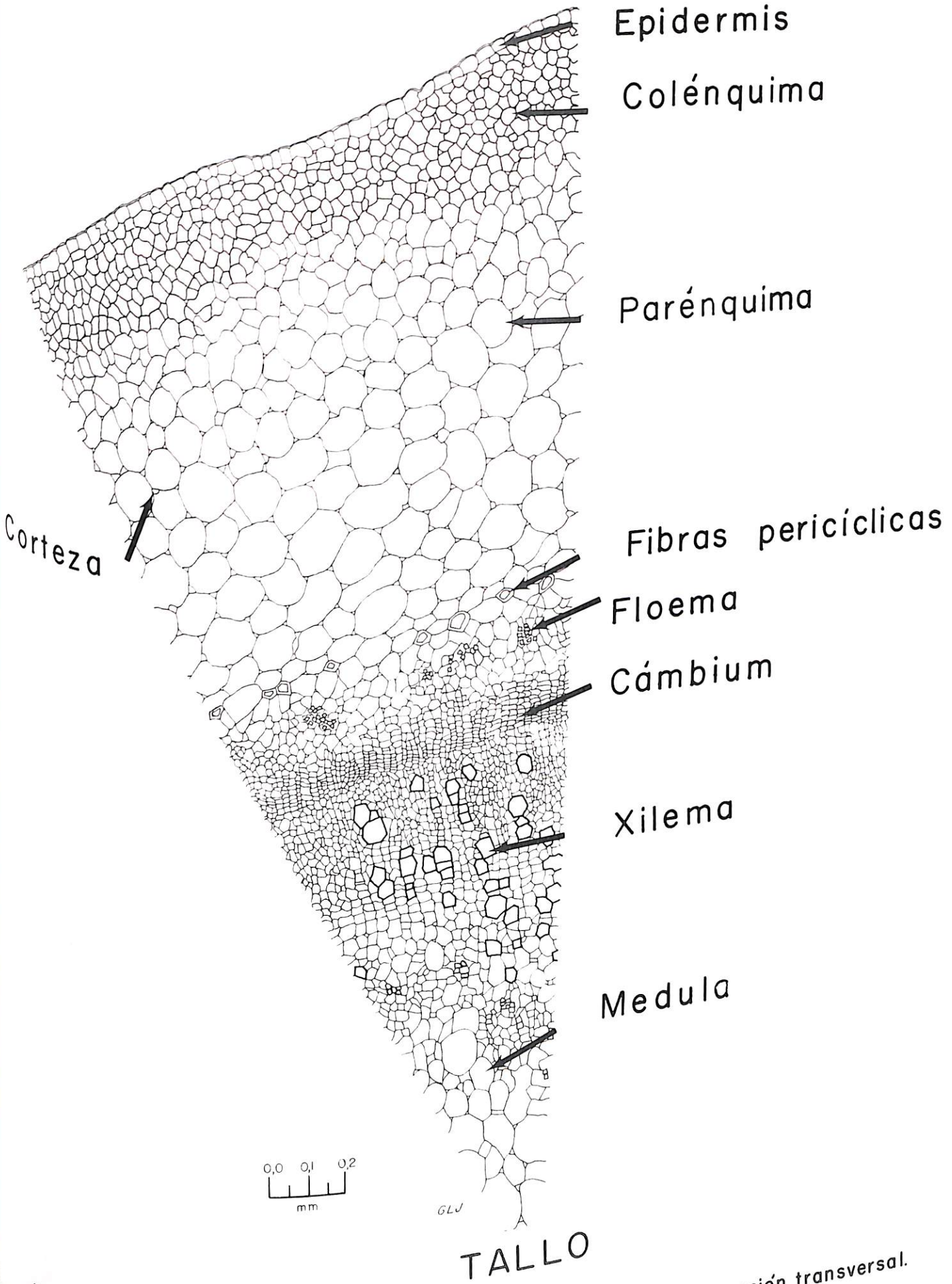


Fig. 4.- Sector de tallo de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), en sección transversal.

constituído por células que no forman un anillo continuo. En el tallo joven se encuentran traqueidas espiraladas y anilladas.

El floema interno está formado por un anillo de cordones floematosos no continuos sino dispersos, separados unos de otros y del xilema por células parenquimáticas; no está restringido por tanto a puntos localizados directamente debajo del xilema primario; posteriormente se encuentran grupos de fibras pericíclicas internas, siempre en menor número que en la parte exterior.

La medula está compuesta por células grandes, poliédricas, de paredes delgadas, ordenadas en forma floja y provistas de gran cantidad de almidón.

El tallo tiene una sifonostela anfifloemática; los haces son bicolaterales. En los tallos jóvenes existen muy pocos o muy pequeños meatos.

c. Pecíolo

La epidermis del pecíolo está constituida por una hilera de células más o menos cuadradas, rectangulares en corte longitudinal (Fig. 5).

En la epidermis se encuentran abundantes pelos pluricelulares, de muy variadas formas, tales como los del tallo.

Debajo de la epidermis existe una zona continua de clorénquima, de 1 a 2 células de espesor; estas células son rectangulares, más pequeñas que las que forman la epidermis, y están provistas de abundantes cloroplastos.

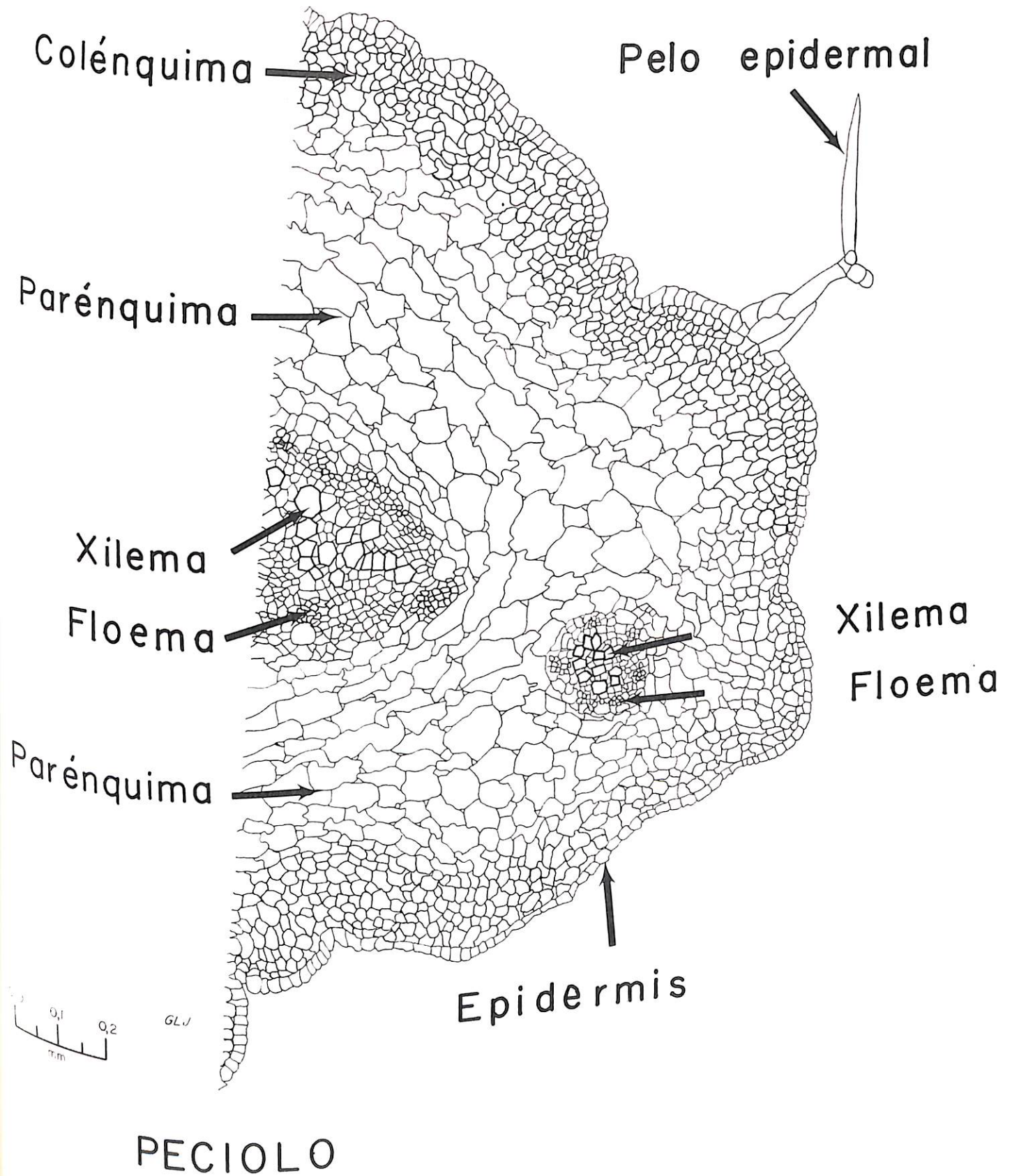


Fig. 5.-Sector de peciolo de una hoja de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), en un corte transversal

Debajo de la zona colenquimática hay una banda ininterrumpida de colénquima, de 6 a 8 células de espesor y de paredes muy engrosadas en una forma irregular.

A continuación del colénquima se encuentra el tejido parenquimático constituido por células de forma alargada-poliédrica, con meatos pequeños pero abundantes; son de tamaño bastante grande, o sea de 5 a 6 veces más grandes que las colenquimáticas; estas células parenquimáticas envuelven el tejido conductor.

El haz vascular se dispone aproximadamente en forma de U, con la abertura hacia la superficie adaxial. Los haces bicolaterales poseen una organización semejante a los del tallo; el floema externo está seguido de un cámbium fascicular muy delgado, de 2 a 3 células de espesor.

En la zona correspondiente al xilema se distinguen: el xilema secundario, formado por vasos escalariformes o punteados, y unas células que lo acompañan; a continuación hacia adentro se encuentra el xilema primario constituido por traqueidas helicoidales y anilladas, formando tres secciones de 10 a 12 células de xilema; más hacia adentro se encuentra el floema interno. En los extremos del haz conductor en forma de U se encuentran 2 porciones de tejido vascular, más o menos redondeadas, una a cada lado, que contienen de 10 a 12 traqueidas y floema a ambos lados del xilema; el floema externo está separado del xilema por un cámbium fascicular de 3 células de espesor; los haces individuales se separan unos de otros por radios parenquimáticos de varios espesores.

El tejido vascular en el pecíolo de la hoja joven tiene también forma de U abierta en la parte adaxial, pero el tejido es continuo y no dividido en las 3 porciones bien establecidas, que presenta el pecíolo de la hoja adulta.

d. Hoja

La hoja de la naranjilla es una hoja plana; su estructura anatómica corresponde a la bifacial normal (Fig. 6).

La epidermis superior, que cubre la lámina y el nervio principal, está constituida por una faja uniseriada de células, casi cuadradas, de paredes algo engrosadas; existe una cutícula delgada.

De la epidermis se originan pelos pluricelulares formados por 8 células, idénticos a los descritos para el tallo; otros pelos muy largos se forman a partir de 2 células que sirven de base y una célula muy alargada. Las otras clases de pelos ya se describieron en el capítulo sobre la morfología de la hoja.

El mesofilo consiste de células en empalizada, alargadas, que forman una fila; contienen cloroplastos abundantes y el tejido esponjoso o lagunoso, el cual se compone de células de organización muy floja, de 4 a 5 capas de espesor y también contiene muchos cloroplastos en cada célula.

Las más gruesas de las nervaduras sobresalen de la superficie inferior; sobre el centro de la nervadura principal, se encuentran casi siempre pelos epidérmicos, pluricelulares.

Debajo de la epidermis superior e inferior, en la región del

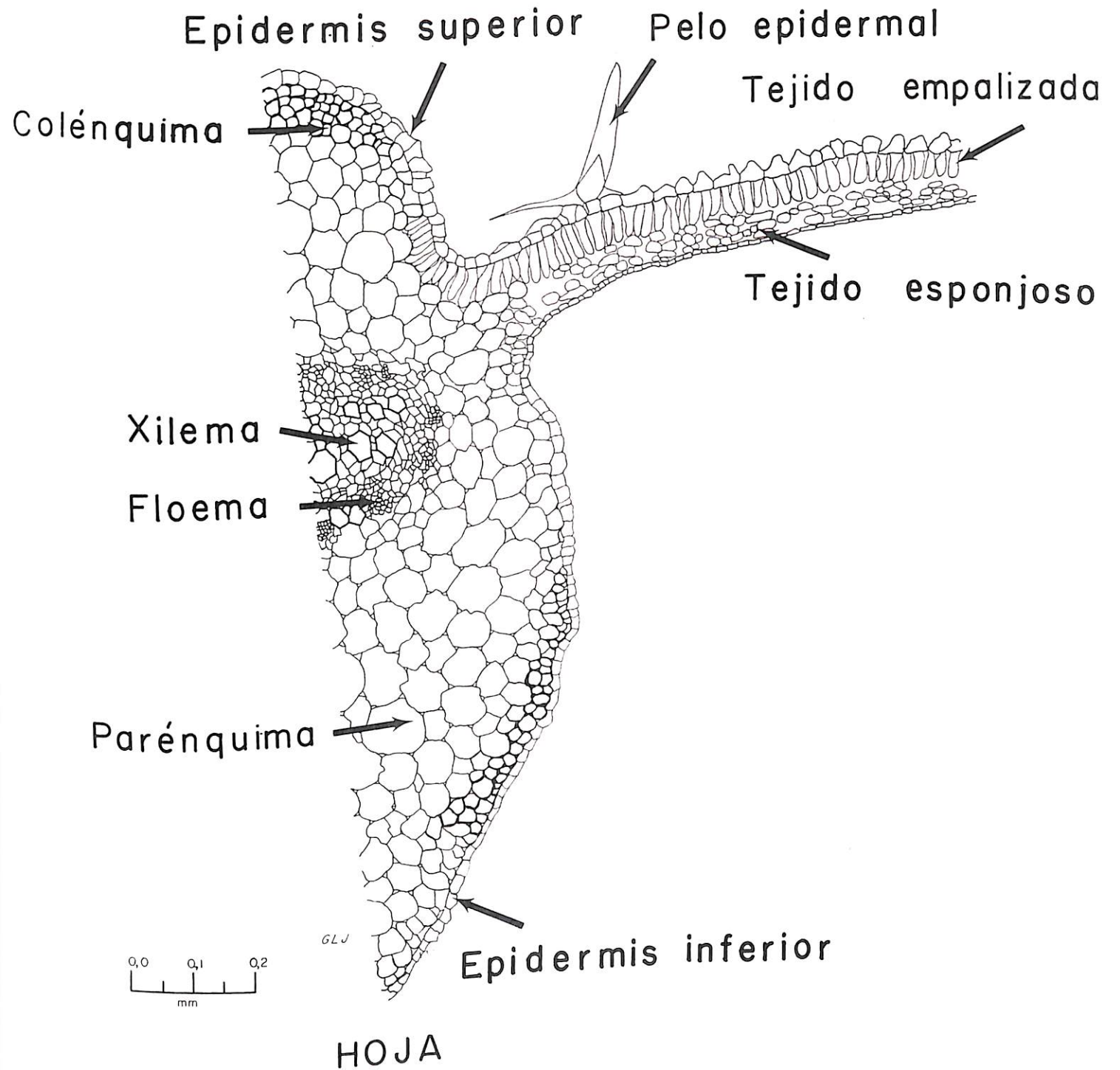


Fig. 6.-Corte transversal de un trozo de hoja de naranjilla (Solanum guitoense Lam.), incluyendo el nervio principal.—

nervio central, se encuentra una zona de 3 a 4 células de espesor, de forma algo irregular y de paredes engrosadas, que constituyen el colénquima.

El haz bicolateral, semejante al del tallo y pecíolo, está rodeado por una capa bastante amplia de células parenquimáticas, poliédricas en la parte abaxial y más o menos isodiamétricas en la parte adaxial, con pequeños meatos y muy poco almidón. En la parte abaxial se observa indicaciones del tejido cambial. En el centro del haz se localiza el xilema formado por vasos grandes y pequeños, en número aproximado de 20. Rodeando el xilema hay floema abaxial y adaxial.

La epidermis inferior, tanto de la lámina como de la nervadura central, está constituida por células de forma rectangular. En el envés se encuentran numerosos estomas.

La forma del tejido vascular de la hoja joven es algo diferente a la de la hoja adulta; tiene la forma de un medio círculo: el xilema más o menos continuo, únicamente separado por células parenquimáticas y unas que otras fibras, forma una especie de media luna.

3. Descripción de los síntomas de deficiencia de los elementos esenciales, observados en las plantas cultivadas en soluciones nutritivas

a. Deficiencia de nitrógeno

El primer síntoma visible de la deficiencia de nitrógeno en la naranjilla fue la presencia de una clorosis en las hojas más vie-

jas. Es decir, que al comienzo hubo una disminución paulatina de color verde (5GY 5/8) en manchas irregulares, pasando luego por un amarillo pálido (2.5GY 8/8 a 8/6) hasta llegar a ser blancuzco. Una vez producido este cambio de coloración en las hojas adultas, se afectaron también las hojas inmediatamente superiores, en las que la decoloración siguió el mismo patrón; en esta forma la clorosis se fue extendiendo poco a poco hacia las hojas cada vez más jóvenes (Fig. 7).

Las hojas completamente amarillentas o blancuzcas, perdieron por completo su turgencia, se tornaron flácidas y muy suaves al tacto. Posteriormente ocurrió una necrosis que se inició en las zonas más blancas. Debido a una necrosis posterior se produjo un enrollamiento de las hojas hacia la haz.

En las hojas jóvenes, que conservaron más o menos el color verde original, se notó un ligero encrespamiento.

En general se observó una acentuada disminución en el crecimiento de la parte aérea en comparación con el testigo.

b. Deficiencia de fósforo

La primera manifestación visible de deficiencia de fósforo en la naranjilla se observó en las hojas inferiores, las cuales perdieron repentinamente la firmeza con que se mantenían y se desgonzaron, hacia abajo, dando la impresión de estar marchitas; al tratar de levantarlas oponían resistencia debido a que las hojas no estaban flácidas sino que conservaban su turgencia completa. Las hojas en

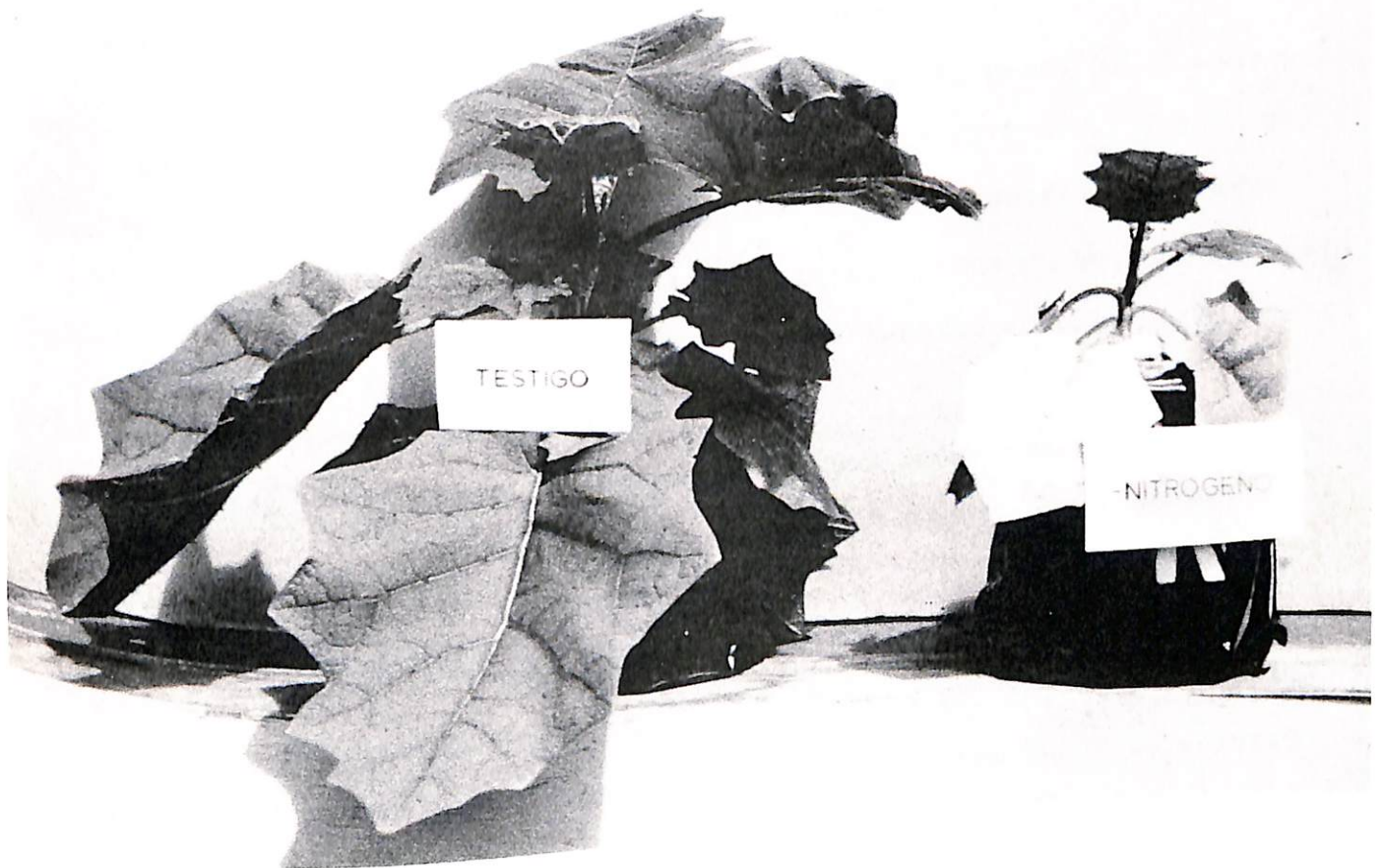


Figura 7.- Comparación entre el testigo y el tratamiento menos nitrógeno.

esta condición mostraban un color verde morado a verde rojizo; en cambio, en las hojas superiores se observaba un acentuado aumento en la intensidad del color verde normal, y finalmente estas hojas tomaron un color verde oscuro (7.5GY 3/4) (Fig. 8).

Las hojas "rígidamente caídas" iban perdiendo poco a poco el color verde, pasando a un verde amarillento (2.5GY 8/10 a 8/8) hasta tornarse completamente amarillas (5Y 8/8).

La pérdida de color comenzaba en la parte basal de la hoja y avanzaba en forma más o menos uniforme hacia el ápice. Cuando la hoja estaba clorótica, se presentaba luego una necrosis completa.

En la parte superior de la planta se notaba un pequeño debilitamiento de las hojas; las hojas flácidas tendían a encrespase hacia la haz, pero en una forma muy leve.

Las hojas frecuentemente presentaban menor tamaño que una normal.

c. Deficiencia de potasio

En las hojas inferiores se presentó una especie de moteado de color amarillo en forma intervenal; las motas luego se volvían más amarillentas dando a las hojas un aspecto verde amarillento (7.5GY 7/10).

Las manchas amarillas posteriormente se necrosaban y las hojas tomaban un color verde bronceado. Generalmente las áreas necróticas empezaban en los bordes y como consecuencia de esto hubo un encrespamiento de las hojas hacia la haz (Fig. 9).

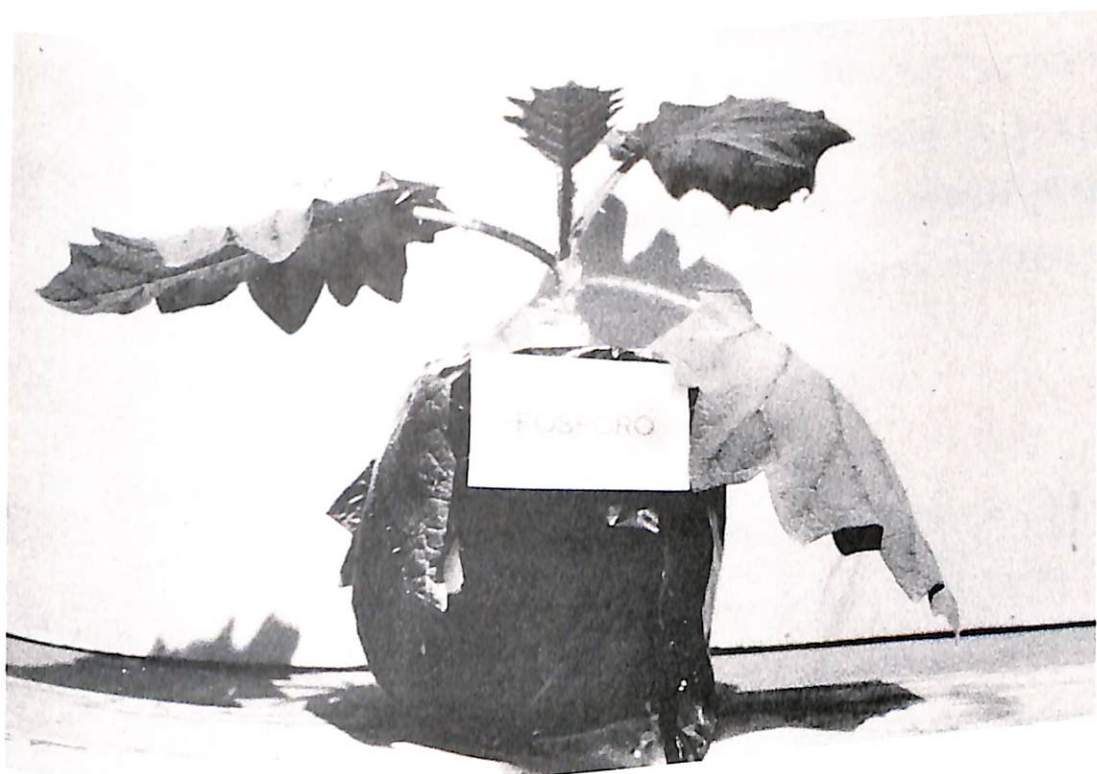


Figura 8.- Planta de naranjilla deficiente en fósforo.



Figura 9.- Comparación entre una planta deficiente en potasio y una testigo.

Las hojas medias presentaban una coloración verde, menos intensa que la normal, permaneciendo completamente verdes en las áreas muy cercanas a las nervaduras principales. En las hojas jóvenes se producía un enrollamiento y tomaban un color verde grisáceo (7.5GY 5/4).

d. Deficiencia de calcio

La deficiencia de calcio en la naranjilla fue muy fácil de distinguir de las otras deficiencias. Las hojas superiores o sea las jóvenes se afectaron primeramente: comenzó con una clorosis en la parte basal de estas hojas y que se fue extendiendo paulatinamente hacia el ápice a través de las nervaduras, llegando en última instancia a cubrir toda el área foliar. A la clorosis siguió una necrosis que avanzó en el mismo sentido; la necrosis produjo un engrosamiento fuerte de las hojas jóvenes, indistintamente, hacia la haz o hacia el envés. Posteriormente se afectaron las hojas de los nuevos brotes, de las cuales la más joven sufrió abscisión antes de alcanzar a desarrollarse (Fig. 10).

La nervadura principal perdió su color morado normal, tornándose se morado amarillenta. A continuación de la abscisión se produjo la muerte de la yema terminal. Hubo una brotación en la parte basal de la planta, pero los nuevos retoños murieron después de poco tiempo igual como sucedió con la yema apical.

En otros casos la necrosis no alcanzó a cubrir toda la lámina sino que únicamente apareció en la parte basal y el resto del limbo

permaneció verde amarillento (7.5GY 8/8). En esta parte la necrosis afectó las nervaduras, formando una zona necrótica casi continua.

En las zonas más próximas a la vena principal se conservó el color verde original, a pesar de que el resto de la hoja estaba completamente necrosado.

e. Deficiencia de magnesio

Una de las características más notables de la deficiencia de magnesio en la naranjilla fue un acentuado engrosamiento del tallo, que alcanzó hasta 2 veces el diámetro del correspondiente al testigo, había también una ramificación mayor, debido a que se formaron muchos retoños en la base (Fig. 11).

En las hojas inferiores se comenzó a notar un amarillamiento por los bordes y entre las venas, tomando entonces las hojas un color verde-amarillento (2.5GY 6/8) en forma de un moteado o veteado. Después de la clorosis se presentó una necrosis: las áreas del moteado más intenso murieron.

Las hojas superiores eran de color verde normal con zonas muy pequeñas cloróticas y necróticas, no agrupadas sino dispersas en toda la lámina. Las hojas intermedias eran de color verde amarillento (2.5GY 7/8). En las hojas intermedias y jóvenes se produjo un encorvamiento en los bordes, formando una especie de "plato invertido". Además se notaron pequeños abultamientos en el tejido intervenal; se observó una caída prematura de las hojas.



Figura 10.- Planta de naranjilla deficiente en calcio.



Figura 11.- Deficiencia de magnesio.

f. Deficiencia de azufre

Las plantas de naranjilla que crecieron en un medio deficiente de azufre, mostraron en general buen crecimiento en comparación con el testigo (Fig. 12).

A primera vista la coloración de la planta fue diferente del verde normal pues adquirió una coloración entre verde-amarillento y amarillento-morado.

En las hojas jóvenes se presentó una clorosis (2.5GY 7/8) que se desarrolló en las zonas intervenales. Comenzó en el área entre los lóbulos de la lámina y avanzó en forma continua hacia la vena central. Posteriormente estas áreas cloróticas se necrosaron, comenzando en el mismo sitio en que se desarrolló la clorosis y produciendo un enrollamiento típico de la hoja hacia la haz, formando una especie de "plato" o "bandeja".

En un estado más avanzado de deficiencia se produjo un corrugamiento de todas las nervaduras en forma de zig zag.

g. Deficiencia de hierro

El síntoma más característico de la deficiencia de hierro fue una clorosis típica, como aparece también en otras plantas, que se presentó en las hojas jóvenes. Estas adquirieron un color amarillento (5Y 8/6 a 8/10) y posteriormente unas áreas pequeñas aparecieron casi blancas y que a veces se necrosaron. Las áreas intensamente cloróticas se presentaron preferentemente en los bordes de las hojas las que luego de volverse necróticas se encreparon. La coloración



Figura 12.- Deficiencia de azufre.



Figura 13.- Planta de naranjilla deficiente en hierro.

amarilla de las hojas fue un poco diferente a la producida por deficiencia de manganeso (Fig. 13).

En el envés de las hojas medias, así como en los tallos y pecíolos jóvenes, se presentó una intensa coloración debido a la presencia de antocianos que daban un aspecto morado (5RP 5/8).

h. Deficiencia de boro

La deficiencia de boro en plantas de naranjilla se manifestó principalmente en las hojas jóvenes, en forma de una clorosis de un moteado amarillento entre las nervaduras, teniendo el resto de la hoja una coloración verde, casi normal (7.5GY 5/6). La manifestación más típica fue una deformación en las hojas jóvenes en desarrollo, en forma de un abultamiento de la haz a consecuencia de un enrollamiento local.

i. Deficiencia de zinc

Las plantas de naranjilla deficientes en zinc mostraron por lo general un crecimiento relativamente reducido en comparación con el del testigo (Fig. 14).

Las hojas inferiores en las que se manifestaron los síntomas de deficiencia de zinc, eran un poco más verdes que las normales (7.5GY 3/4), con zonas pequeñas pero abundantes entre las nervaduras, de color amarillento (5Y 8/8), dando la impresión de un moteado o jaspeado. Posteriormente se produjo un enrollamiento de las hojas viejas.



Figura 14.- Comparación entre la planta de naranjilla deficiente en zinc y una planta testigo.



Figura 15.- Planta de naranjilla deficiente en manganeso.

En las hojas jóvenes se presentó un pequeño encrespamiento que comenzó en los bordes.

j. Deficiencia de manganeso

En plantas de naranjilla el síntoma más pronunciado de deficiencia de manganeso fue una disminución muy notoria en el tamaño de las hojas inferiores, en comparación con las del testigo; en cambio las hojas jóvenes eran de tamaño más o menos normal (Fig. 15).

La coloración de las hojas jóvenes era muy diferente de las del testigo: tenían color amarillento (5Y 7/8 a 7/10), con áreas verdes en las zonas cercanas a las nervaduras; este color amarillento siempre era más oscuro que en el caso de la deficiencia de hierro.

Después de esta clorosis se presentó una necrosis, en los ápices de los lóbulos la que avanzó luego hacia el interior en forma intervenal; las zonas necróticas tenían forma de puntos. Posteriormente las hojas se encorvaron de tal manera que semejaban una especie de "bandejas".

4. Cambios anatómicos producidos en la raíz, tallo, pecíolo y hoja por la deficiencia de elementos esenciales

Las comparaciones y discusiones sobre los efectos de las deficiencias de los diferentes elementos en la anatomía de la naranjilla se basan en una comparación anatómica con las plantas que crecieron en solución nutritiva completa.

a. Tratamiento menos nitrógeno

Raíz

Hubo un mayor espesor de la corteza y una mayor abundancia de tejido conductor.

Tallo

En el tallo adulto se notó una abundancia de almidón en las células parenquimáticas, principalmente en aquellas de la medula más próximas al tejido conductor.

En el tallo joven los cordones floematosos externos junto con las fibras liberianas formaron un anillo continuo; en cambio, el xilema, que se encuentra a lo largo de este anillo, formó pequeñas agrupaciones hasta de 10 vasos de forma ovalada en corte transversal.

Pecíolo

El diámetro del pecíolo de la hoja aparentemente sana fue menor que el del testigo; no había zona colenquimática sino únicamente una capa de colénquima de 7 a 8 células de ancho.

Las células parenquimáticas de la parte abaxial conservaron su tamaño y forma, si bien el número de capas de células fue menor.

El haz vascular formó una especie de U abierta en la parte adaxial, no continua, sino dividida en 3 porciones.

Los paquetes vasculares en los extremos de la U eran más pequeños y contenían únicamente 6 a 8 traqueidas con muy poco floema.

El pecíolo de la hoja que mostraba los síntomas perdió su forma

original debido al arrugamiento de las células epidermales, principalmente en las zonas adaxial y abaxial; había carencia absoluta de clorénquima y la zona colenquimática se redujo a 1 o 2 capas de células de espesor. Las células parenquimáticas eran poliédricas y con abundantes meatos, de tamaño más grande que en el caso del testigo, aunque en menor número.

El haz vascular tomaba la forma de un medio círculo y su tamaño era la mitad que el testigo; había disminución considerable de xilema y floema y en el xilema se distinguían células con paredes anormalmente delgadas. El floema adaxial no se encontraba a continuación del xilema, sino separado por células parenquimáticas grandes.

Hoja

En la hoja aparentemente sana, en la zona de un nervio secundario, las células parenquimáticas que rodean el haz sufrieron un alargamiento paralelo a la superficie de la lámina; las células de la epidermis inferior experimentaron un crecimiento muy grande; pues eran 5 a 6 veces mayores que las del testigo.

Las células de la epidermis superior de la hoja que presentaba los síntomas, eran alargadas lateralmente. La epidermis inferior estaba formada por células 3 a 4 veces más largas que anchas y unas 5 veces más angostas que las células epidermales superiores.

Las células de la epidermis superior que revisten el nervio principal estaban completamente arrugadas, es decir con las paredes muy sinuosas; lo mismo ocurrió con las células de la epidermis inferior. Las células del mesofilo de empalizada estaban dispuestas en

forma más floja que en el testigo y con menor número de cloroplastos. El tejido esponjoso igualmente aparecía más flojo; se presentaban espacios intercelulares muy grandes. En algunos casos se notaba destrucción de algunas células del tejido esponjoso y las correspondientes a la epidermis inferior.

El colénquima únicamente se advirtió como una faja de 2 a 3 células de espesor en la parte superior del nervio principal.

El haz vascular se encontraba rodeado por células parenquimáticas mucho más grandes que en el testigo y todas poliédricas. El haz vascular tenía una forma de delta, diferente al testigo. El xilema se encontraba dispuesto en forma de radios de 3 a 4 células, separadas entre sí por tejido parenquimático que prácticamente comunicaba con el que rodea el tejido conductor; los vasos eran pequeños en comparación con los del testigo.

b. Tratamiento menos fósforo

Raíz

En general se notaba una reducción en el espesor de la corteza, en parte debido a la falta de colénquima; las células parenquimáticas de la corteza se hallaban desprovistas de almidón.

El cilindro central abarcaba las dos terceras partes del total del diámetro de la raíz.

Tallo

En los tallos joven y adulto los vasos y las traqueidas eran

menos numerosos y más pequeños que en el testigo; el espesor del anillo del tejido vascular era mucho menor.

Pecíolo

El pecíolo de la hoja que presentaba los síntomas tenía las células de la zona colenquimática con las paredes totalmente arrugadas; su espesor era de sólo 2 capas de células; había una disminución en el número de células parenquimáticas, pero un aumento en su tamaño.

Los paquetes circulares de tejido vascular, que se encontraban en los extremos del tejido conductor en forma de U, se presentaban muy cerca del colénquima adaxial, separados de éste tan solo por una capa de células parenquimáticas.

Hoja

En la hoja aparentemente sana el nervio principal perdía su forma original y se transformaba en una estructura con muchas invaginaciones.

En la parte correspondiente a un haz secundario se presentaba un sobrecrecimiento repentino en la parte inferior de la lámina: en la parte del mesofilo que corresponde al de empalizada había apenas pocas células; en esta zona el mesofilo se discontinuaba y era ocupado por células parenquimáticas alargadas; el espesor de la lámina en esta zona era 5 a 6 veces mayor que en la parte no afectada.

En la hoja con síntomas de deficiencia, a partir del nervio principal, no había diferenciación entre el tejido de empalizada y

el esponjoso; eran células más o menos isodiamétricas, desordenadas y con abundantes cloroplastos; en cambio en otra parte del limbo se conservaba la diferenciación, si bien estaban más flojas y formaban grandes espacios intercelulares. Las células parenquimáticas, que rodean el tejido conductor, se alargaban y la epidermis inferior sufría una completa desorganización.

c. Tratamiento menos potasio

Raíz

La zona de colénquima no se estaba distribuyendo en forma uniforme alrededor de la raíz, sino en pequeños grupos.

Las células del parénquima cortical tenían mucho almidón.

El tejido vascular mostró mayor espesor que en el testigo y los elementos del xilema eran más pequeños.

Tallo

El tallo joven se presentó como el normal.

En el tallo adulto las células del colénquima tenían las paredes un poco más engrosadas que en el testigo.

En la zona parenquimática se observaban muchas células en división, la mayoría en sentido radial; las células parenquimáticas más próximas al tejido conductor eran alargadas tangencialmente.

El anillo vascular, un poco aplanado, era más ancho que el del testigo; el floema interno y las células esclerenquimáticas eran muy numerosos.

Pecíolo

En el pecíolo de la hoja aparentemente sana se notaba un aumento en el espesor de la zona colenquimática, la cual se encontraba alrededor de todo el pecíolo con el mismo grosor; el tejido parenquimático aparecía en mayor cantidad que en el testigo.

En uno de los extremos del haz vascular en forma de U se presentaban dos porciones redondeadas de tejido vascular separadas entre sí por una capa de células parenquimáticas; en el otro extremo no se distinguió del testigo.

El pecíolo de la hoja que mostró síntomas de deficiencia de potasio tenía el haz vascular en forma de media luna, en la cual se observaban cuatro porciones de tejido conductor: los dos de los extremos eran el doble en tamaño que las dos porciones que se encontraban en el centro.

Hoja

La hoja aparentemente sana tenía las mismas características que la del testigo.

En la hoja con síntomas de deficiencia, el haz vascular tenía una forma de hexágono, con el mismo número de vasos y traqueidas que el testigo, aunque de menor tamaño.

d. Tratamiento menos calcio

Raíz

No se observó ninguna alteración en la raíz.

Tallo

En los tallos jóvenes y adultos, los vasos y traqueidas estaban en menor número que en el testigo; en cuanto a su tamaño medían apenas la mitad que los del testigo. Las células parenquimáticas de la medula estaban arregladas en forma compacta, si bien se presentaban unos que otros meatos.

Pecíolo

En el pecíolo de la hoja aparentemente sana se presentó un arrugamiento de las células epidermales; esto apareció únicamente en la parte abaxial y no en toda su superficie, sino en 2 o 3 secciones, donde se formaban unas cavidades profundas; en general hubo una disminución del colénquima.

La epidermis del pecíolo de la hoja con síntomas de deficiencia estaba completamente arrugada como consecuencia de los daños sufridos por las células epidermales y colenquimáticas inmediatamente debajo. Las células parenquimáticas eran pequeñas y sus paredes también estaban arrugadas.

El tejido vascular se distribuyó en forma de una U perfecta, con abundancia de xilema y floema. El típico tejido conductor redondeado de los extremos de la U, se reducía a 4 o 5 vasos acompañados de muy poco floema.

Hoja

En la hoja aparentemente sana el tejido parenquimático ro-

deaba el haz vascular, había células grandes y pequeñas de forma poliédrica, con meatos y sin almidón.

En la parte adaxial del nervio principal, la zona colenquimática estaba reducida a 2 a 3 capas de células.

El xilema era menor y sus paredes muy delgadas en comparación con el testigo; el floema también estaba reducido.

Las células en empalizada se encontraban separadas unas de otras; las adyacentes al nervio invadían el tejido parenquimático de éste. El tejido esponjoso tenía una apariencia floja, pues se presentaban grandes cámaras intercelulares.

En la hoja con síntomas de deficiencia se notaba una disminución de los elementos del tejido conductor; las células parenquimáticas que rodeaban este tejido perdían su forma original y se transformaban en poliédricas.

En el tejido en empalizada las células se encontraban fuertemente agrupadas; el tejido esponjoso aparecía más firme y compacto, contrario al testigo, con muy pocos espacios entre sus células. En la lámina al otro lado del nervio principal el espesor de la lámina era tan reducido y el tejido tan compacto, que no se distinguían los dos tejidos del mesofilo; la descripción corresponde a una zona necrosada.

e. Tratamiento menos magnesio

Raíz

No se observó ninguna alteración.

Tallo

En el tallo adulto hubo una disminución en el número de células parenquimáticas de la corteza, las que carecían de almidón. Las células de la medula eran más grandes que en el testigo, medían por lo menos el doble y eran de forma alargada-oval, siendo la unión entre ellas bastante floja. Las paredes eran delgadas y con muy poco almidón en las células. Había una disminución del espesor de la zona de colénquima.

En el tallo joven algunas células del parénquima medular más próximas al tejido vascular conservaban almidón, las internas carecían de él.

Pecíolo

Los pecíolos de las hojas aparentemente sanas y con síntomas de deficiencia presentaban un aumento de colénquima, tanto en la parte abaxial como en la adaxial.

En el tejido vascular, en forma de U, se notaban claramente seis porciones de floema y xilema.

Hoja

En la hoja aparentemente sana la parte adaxial del nervio principal presentaba un aumento en la cantidad de colénquima. El tejido parenquimático que rodeaba el haz conductor, en la parte abaxial, estaba formado por células de paredes muy onduladas. En uno de los nervios secundarios se observó que las células parenquimáticas

abaxiales que rodeaban el tejido conductor, se ensanchaban irregularmente, tomando una forma alargada y compacta que sobresalía mucho de la epidermis inferior; ésta tenía una estructura fuertemente papilar.

El mesofilo esponjoso tenía una organización más compacta que el del testigo.

En la hoja con síntomas de deficiencia el tejido esponjoso se encontraba reducido y se formaba una laguna casi continua junto a la epidermis inferior.

f. Tratamiento menos azufre

Raíz

La raíz de la planta deficiente en azufre no presentaba ninguna deformación.

Tallo

En el tallo adulto había una mayor abundancia de xilema; éste se presentaba en forma de paquetes de 2 a 3 capas de espesor.

Las células parenquimáticas de la medula, contiguas al haz vascular, se alargaban en forma radial; en general en las células de la medula había menos almidón que en las del testigo.

El tallo joven no se distinguía del testigo.

Pecíolo

El pecíolo de la hoja con síntomas de deficiencia tenía una mayor abundancia de tejido vascular, dispuesto en forma de una U continua. El tejido vascular en los extremos de la U no era de forma

redonda sino ovalada y consistía de 6 a 8 vasos; se encontraba rodeado por el floema y fibras.

Hoja

En la hoja aparentemente sana, en la parte adaxial del nervio principal, había una desorganización del tejido, y como consecuencia de esto se producía una concavidad; las células de la epidermis inferior tenían la superficie papilar.

El mesofilo esponjoso se encontraba arreglado en forma bastante floja, o sea un poco más que en el testigo.

La hoja con síntomas mostraba un aumento de tejido conductor, que tenía la forma de una media luna; había bastante tejido colenquimático en la superficie adaxial sobre el nervio y muy poco en la superficie inferior. La epidermis superior del nervio principal desaparecía siendo reemplazada por el colénquima. Las células parenquimáticas que rodeaban el haz vascular en el nervio principal eran poliédricas; en cambio en los nervios secundarios las células parenquimáticas de la superficie abaxial sufrían un ensanchamiento no uniforme en todos los sentidos; se producía una protuberancia hacia la parte inferior.

El tejido esponjoso era un poco más compacto que en el testigo.

g. Tratamiento menos hierro

Raíz

Se observó una abundancia de almidón en las células paren-

quimáticas de la corteza.

Tallo

En el tallo joven y adulto las células parenquimáticas de la medula tenían las paredes más engrosadas y una cantidad de almidón mayor que en el testigo.

Pecíolo

En el pecíolo de la hoja aparentemente sana había destrucción del tejido colenquimático, no en forma continua sino por secciones; había un aumento del tejido vascular.

En el pecíolo de la hoja que mostró los síntomas de la deficiencia de hierro, las células del colénquima sufrieron destrucción, pero no ocurrió lo mismo con las células epidermales; las células parenquimáticas también se deformaban.

Hoja

La hoja aparentemente sana tenía una estructura igual a la hoja del testigo.

En la hoja con síntomas de deficiencia había disminución del tejido colenquimático en el nervio en su superficie adaxial y ausencia casi total en la parte abaxial.

Se observó una disminución del tejido conductor; este tejido se encontraba prácticamente dividido en dos grupos por tejido parenquimático.

Las células en empalizada eran células delgadas, no colocadas

una a continuación de otra, sino separadas, dejando amplios espacios intercelulares. El mesofilo esponjoso tenía aspecto flojo debido a la formación de grandes lagunas; tanto en el tejido empalizada como en el esponjoso el número de cloroplastos era muy reducido.

La epidermis inferior era más delgada que en el testigo.

h. Tratamiento menos boro

Raíz

Se observó mucho colénquima en algunas secciones de la raíz. Hubo destrucción de la parte central del tejido conductor; allí se presentaban células parenquimáticas muy grandes, de forma irregular y provistas de almidón.

Tallo

En el tallo adulto la mayoría de las células parenquimáticas de la corteza, próximas al tejido conductor se dividían en sentido radial, aunque algunas lo hacían tangencialmente.

Pecíolo

En el tejido vascular del pecíolo de la hoja aparentemente sana se notó un aumento de floema y xilema; los elementos de xilema eran muy abundantes pero de tamaño muy pequeño. Hubo un aumento de tejido parenquimático.

En el pecíolo de la hoja con síntomas de deficiencia se notó una mayor abundancia de fibras.

Hoja

En la hoja aparentemente sana hubo una pérdida completa de la forma de la nervadura principal debido a que todas las células parenquimáticas, colenquimáticas y epidérmicas sufrieron un arrugamiento.

El floema quedó seriamente afectado y las células del xilema, debido a la presión que ejercían las células epidérmicas, colenquimáticas y parenquimáticas, cambiaron de forma; hubo también una reducción de su número en relación al del testigo.

Las células que forman el mesofilo en empalizada se encorvaban y se unían unas con otras en varias formas; las células del mesofilo esponjoso se alargaron, dejando grandes espacios inter-celulares.

En la hoja con síntomas de deficiencia, no había simetría en la distribución del tejido en empalizada en la región correspondiente al nervio principal.

En la parte abaxial del nervio se observaba una distribución no uniforme de colénquima: con mayor cantidad en un lado que en el otro.

El tejido vascular se encontraba invadido por unas comisuras negras que envolvían el floema; el xilema se notaba reducido.

Las células parenquimáticas en la parte abaxial y adaxial del nervio, sufrieron un ligero cambio en su forma.

i. Tratamiento menos zinc

Raíz

Las células parenquimáticas corticales más próximas al tejido conductor eran más o menos isodiamétricas y de paredes engrosadas; eran desuniformes, con una mayor abundancia de almidón que en el testigo.

El tejido conductor era más abundante.

Tallo

En el tallo joven el tejido vascular tomaba la forma de un anillo aplastado.

El espesor de la zona colenquimática no era uniforme a todo lo largo de la corteza y sus células parenquimáticas tenían muy poco almidón.

Las células internas de la medula mostraban divisiones radiales y su arreglo era más compacto que en el del testigo.

El tallo adulto mostraba una disminución muy notoria del colénquima y en general hubo también disminución del espesor de la corteza.

Las células del parénquima cortical más próximas al tejido conductor, tenían formas muy variadas con muy poco depósito de almidón. Se observó intensa división celular tanto en forma radial como tangencial.

En la medula las células eran mucho más grandes que en el testig

tigo, quizá medían el doble, pero su número fue menor; hubo mucho menos almidón en ellas y los meatos fueron muy pequeños.

Pecíolo

En el pecíolo de la hoja aparentemente sana las células parenquimáticas aumentaron de tamaño y se transformaron en poliédricas.

En uno de los extremos del tejido conductor, en forma de U, se presentaban dos porciones con floema y xilema: una porción como en el testigo y la otra con forma de rombo, con cuatro vasos solamente.

El pecíolo de la hoja con síntomas de deficiencia presentaba una disminución en el número de elementos del floema y xilema; las células parenquimáticas se agrandaron y perdieron su forma original.

Hoja

La hoja aparentemente sana era similar a la del testigo.

En la hoja con síntomas de deficiencia, la nervadura principal, tanto en la parte superior como inferior, se deformó debido a un arrugamiento de las células.

Las células parenquimáticas que normalmente rodeaban el tejido conductor eran poliédricas.

j. Tratamiento menos manganeso

Raíz

Se observó una carencia casi completa de colénquima y una notable disminución en el espesor de la corteza.

En las células parenquimáticas, contiguas al tejido conductor,

se notó una desintegración de las paredes.

Tallo

En el tallo joven las paredes de las células colenquimáticas se arrugaron completamente; a veces se desintegró parte de la epidermis y del colénquima produciéndose cavidades superficiales en el tallo.

Las células parenquimáticas de la corteza perdieron su forma original.

Hubo una reducción considerable del tejido conductor, el cual tomó la forma de un anillo aplanado.

Las células de la medula tenían la misma forma que las parenquimáticas de la corteza.

En el tallo adulto hubo una disminución en el espesor de la corteza, principalmente de las células parenquimáticas.

Las células del xilema eran un poco más pequeñas.

En la medula las células se presentaron de mayor tamaño, más poliédricas, en menor número y con mucha menor cantidad de almidón que en el testigo.

Pecíolo

Las células parenquimáticas del pecíolo de la hoja aparentemente sana se deformaron, tornándose poliédricas.

El pecíolo de la hoja con síntomas de deficiencia perdió su forma original presentándose como una estructura con muchas sinuosidades, debido a la deformación de las células epidermales y a la

desintegración de las células colenquimáticas.

Los vasos eran menos numerosos pero más grandes; las porciones de tejido conductor, en los extremos del tejido vascular en forma de U, se redujeron a 2 a 3 vasos y no se observó floema.

Las células parenquimáticas perdieron su forma original, transformándose en poliédricas.

Hoja

En la hoja aparentemente sana, así como en la que mostraba síntomas de deficiencia, las células que formaban el mesofilo esponjoso y el mesofilo en empalizada, crecieron en forma compacta sin dejar casi ningún espacio entre sí.

En la región correspondiente a la lámina hubo una invasión de células parenquimáticas de forma alargada, provenientes del nervio principal.

CONCLUSIONES

1. Aunque el ensayo de campo no se mantuvo un período suficientemente largo para juzgar si la naranjilla puede cultivarse comercialmente bajo las condiciones climáticas de Turrialba, se observó que las plantas crecieron satisfactoriamente hasta su floración y fructificación.
2. Los síntomas de deficiencia de la mayoría de los elementos estudiados fueron similares a los que se han observado en otras solanáceas (papa, tabaco, tomate); solamente la falta de unos pocos elementos produjo síntomas diferentes. Por lo tanto, para la interpretación de la sintomatología de deficiencia de plantas de naranjilla no puede dependerse por completo de las descripciones para otras solanáceas.
3. Las plantas de naranjilla parecen ser más sensibles a la carencia de nitrógeno, calcio y zinc.
4. El suministro insuficiente de azufre no parece ser tan importante para el desarrollo de las plantas de naranjilla, que para otros frutales, ya que el tratamiento menos azufre no produjo alteraciones en la anatomía de los órganos estudiados.
5. Las deficiencias de elementos en las plantas de naranjilla sí produjeron alteraciones en su anatomía.
6. Las plantas de naranjilla con deficiencias de elementos esenciales a veces pueden tener una apariencia normal, pero en su estructura interna pueden presentar alteraciones.

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza e Investigación (IICA-CEI) del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica. Los trabajos fueron realizados en el campo, invernadero y laboratorio de Fisiología Vegetal.

El propósito fue el de ampliar el conocimiento de varios aspectos de la planta de naranjilla.

Para la descripción morfológica se cultivaron plantas de naranjilla, en un lote de experimentación del IICA-CEI, hasta una edad de 10 a 11 meses.

Para el estudio en soluciones nutritivas se hicieron germinar semillas de naranjilla en arena pura de cuarzo. Cuando alcanzaron una altura de 1,5 a 2,0 cm se seleccionaron y se introdujeron a la solución respectiva. Para la preparación de estas soluciones se siguió las recomendaciones para la fórmula Hoagland No 2, que se caracteriza por suplir el nitrógeno tanto en la forma amoniacal como de nitratos. Las soluciones se mantuvieron en su nivel primitivo por adición de agua desionizada y se renovaron cada 20 días. Los tratamientos fueron: testigo (solución completa), - N, - P, - K, - Ca, - Mg, - S, - Fe, - B, - Zn y - Mn. Se usó un diseño de bloques al azar con 11 tratamientos y 4 repeticiones; cada repetición consistió de una planta.

Después de describir los síntomas visibles de las deficiencias de cada tratamiento, se dejó una planta para el estudio anatómico.

Este se realizó con base en preparaciones microscópicas permanentes del testigo y de las plantas deficientes.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

1. Descripción morfológica-anatómica de una planta prototipo. La planta de naranjilla tiene ramificación simpodial y filotaxis de 2/5. Las flores que nacen en pequeños corimbos tienen las siguientes características: cáliz gamosépalo, con 5 lóbulos triangulares; corola gamopétala, actinomorfa, con 5 lóbulos oblongos; estambres sin filamentos, adheridos al tubo de la corola, extrorsos, dehiscencia apical, isostémonos e insertos; ovario súpero, bicarpelar, sincárpico, tetralocular, con placentación axilar; estilo terminal y estigma capitado. El fruto una baya globosa, con numerosas semillas, lisas, redondo-acorazonadas.

La raíz tiene una protostela diarca y el tallo una sifonostela anfifloemática. Los haces del tallo, pecíolo y hoja son bicolaterales; la hoja es plana bifacial normal.

2. Síntomas visibles de deficiencia. Los tratamientos -N, -P, -K, -Mg y -Zn mostraron sus efectos característicos de la deficiencia provocada, en las partes más viejas de la planta; en cambio el -S, -Ca, -Fe, -B y -Mn afectaron el crecimiento nuevo, siendo el -Ca el que produjo muerte de la yema terminal. Todas las deficiencias resultaron en una reducción del crecimiento a excepción del -Mg y -S.

3. Estudio anatómico. Las alteraciones más sobresalientes debido a las deficiencias en comparación con el testigo fueron: deformación de las células parenquimáticas, epidérmicas y colenquimáticas; alteración en el tamaño y forma de las células, espesor de las paredes, número de cloroplastos y aumento o disminución en la cantidad de almidón y de tejido conductor.

SUMMARY

The present research was carried out at the Training and Research Center (IICA-CEI) of the Inter-American Institute of Agricultural Sciences of the OAS in Turrialba, Costa Rica. The work was performed in the field, greenhouse and laboratory of the Plant Physiology section.

The objective was to extend the knowledge of different aspects of the naranjilla plant.

For the morphological description, naranjilla plants were cultivated on an experimental lot of the IICA-CEI, up to the age of 10 to 11 months.

For the study on nutritive solutions, naranjilla seeds were germinated in pure quartz sand. When they had reached a height of 1.5 to 2.0 cm they were selected and introduced in a respective solution. In preparing these solutions, the recommendations for the Hoagland No. 2 solution, which is characterized as supplying nitrogen both as ammonia and as nitrates, were followed. The solutions were maintained at their original level by the addition of de-ionized water and were renewed every 20 days. The treatments were: control (complete solution), N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, and Mn. The design used was randomized blocks with 11 treatments and four replications; each replication consisted of one plant.

After describing the visible symptoms of the deficiencies of each treatment, one plant was left for the anatomical study. This was done based on permanent microscopic preparations of the control and the deficient plants.

The results obtained were as follows:

1. A morphologic-anatomic study of a prototype plant. The naranjilla plant has a 2/5 sympodial and phyllotaxis ramification. The flowers were in small corymbs possess the following characteristics: gamosepalous calyx, with five triangular lobes; gamopetalous corolla, actinomorphic, with five oblong lobes; stamens without filaments, adhered to the corolla tube, exerted, apical dehiscence, isostemonous and inserts; upper ovary, bicarpellary, syncarpic, tetralocular, with axilar placentation; terminal style and capitate stigma. The fruit is a globose berry, with numerous, smooth, round, heart-shaped seeds. The root has a diarched protostele and the stem an amphiphloematic siphonostele. The bundles of the stem, petiole and leaf are bicollateral; the leaf is flat, normal, bifacial.
2. Visible deficiencies. The N-, P-, K-, Mg-, and Zn-treatments showed their characteristic effects of the caused deficiency in the older parts of the plant, while those of S, Ca, Fe, B, and Mn affected the new growth, the Ca-treatment being the one that caused death of the terminal bud. All deficiencies caused a reduction in growth except those of Mg and S.
3. Anatomic study. The more outstanding alterations due to the deficiencies, compared with control, were: deformation of the parenchymatic, epidermic and colenchymatic cells; alteration in the size and shape of the cells, thickness of the walls, number of chloroplasts and increase or decrease in the amount of starch and of the conductive tissue.

LITERATURA CITADA

1. ANDERSON, P. J., SWANBACK, T. R. y STREET, O. E. Potash requirements of the tobacco crop. Connecticut Agricultural Experiment Station. Bulletin 334. 1932. pp. 137-217.
2. BINGHAM, F. T. Phosphorus. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 324-361.
3. BRADFORD, G. R. Boron. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 33-61.
4. CARLTON, W. M. Some effects of zinc deficiency on the anatomy of the tomato. Botanical Gazette 116(1):52-64. 1954.
5. CHALONS, M. E. R. Naranjillas, the golden fruit of the Andes. Agriculture in the Americas 4(6):110-112. 1944.
6. CHAPMAN, H. D. Calcium. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 65-92.
7. _____. Zinc. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 484-499.
8. CHEVALIER, A. Les especes de Solanum cultivées venues du Nouveau-Monde. Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale 19(220):825-835. 1939.
Solanum quitoëense pp. 833-834.
9. COOPER, H. P., LUNN, W. M. y MCGEE, H. A. Magnesium deficiency symptoms in tobacco. South Carolina Agricultural Experiment Station. Annual Report No 46. 1933. pp. 143-144.
10. CROMWELL, B. T. y HUNTER, J. G. Chlorosis in tomatoes. Nature 150(3812):606-607. 1942.
11. DANIEL, H. Algunas observaciones sobre la flora colombiana. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 9(33-34):103-114. 1953.
Solanum quitoëense p. 104.

12. DUPAIGNE, P. Quelques observations sur la narangille (Solanum quitoëense). Fruits d'Outre Mer 12(6):277-281. 1957.
13. EATON, F. M. Sulfur. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 444-475.
14. EATON, S. V. Effects of sulfur deficiency of growth and metabolism of tomato. Botanical Gazette 112(1):300-307. 1950.
15. ECKERSON, S. H. Influence of phosphorus deficiency on metabolism of the tomato (Lycopersicum esculentum Mill.). Contributions from the Boyce Thompson Institute 3(2): 197-217. 1931.
16. ELTINGE, E. T. Effect of manganese deficiency upon the histology of Lycopersicum esculentum. Plant Physiology 16(1): 189-195. 1941.
17. EMBLETON, T. W. Magnesium. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 225-263.
18. ESAU, K. Anatomía vegetal. Trad. del inglés por José Pons Rosell. Barcelona, Omega, 1959. 729 p.
19. FISHER, P. L. Responses of the tomato in solution cultures with deficiencies and excesses of certain essential elements. Maryland Agricultural Experiment Station. Bulletin 375. 1935. pp. 283-298.
20. FONT QUER, P., ed. Diccionario de botánica. Barcelona, Labor, 1963. 1244 p.
21. GARCIA R., F. El cultivo del lulo en la zona cafetalera colombiana. Revista Cafetalera de Colombia 17(142):75-77. 1967.
22. GARNER, W. W., et al. Magnesium and calcium requirements of the tobacco crop. Journal of Agriculture Research 40(2): 145-168. 1930.
23. GATTONI, L. A. La naranjilla (Solanum quitoëense). Panamá. Servicio Interamericano de Cooperación Agrícola, 1957. 28 p.

24. GATTONI, L. A. La naranjilla o lulo. *Agricultura Tropical (Colombia)* 17(4):218-224. 1961.
25. GRAY, P. Handbook of basic microtechnique. 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1958. 252 p.
26. GRAY, P. The microtome's formulary and guide. New York, Blakiston, 1954. 794 p.
27. GUTIERREZ V., J. G. Manual práctico de botánica taxonómica. 3a ed. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1968. 443 p.
28. HAYWARD, H. E. Estructura de las plantas útiles. Trad. del inglés por Ovidio Núñez. Buenos Aires, ACME, 1953. 667 p.
29. HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. Circular 347. 1950. 39 p.
30. HODGE, W. H. El lulo (*Solanum quitoense*) una fruta andina poco conocida. *Revista Facultad de Agronomía (Colombia)* 7(26):147-154. 1947.
31. HOUGLAND, G. V. C. Nutrient deficiencies in the potato. In *Hunger sings in crops*. 3rd ed. New York, Mckay, 1964. pp. 219-244.
32. JOHANSEN, D. A. *Plant microtechnique*. New York, McGraw-Hill, 1940. 523 p.
33. JOHNSTON, E. S. y DORE, W. H. The relation of boron to the growth of the tomato plant. *Science* 67(1734):324-325. 1928.
34. _____ y DORE, W. H. The influence of boron on the chemical composition and growth of the tomato plant. *Plant Physiology* 4(1):31-62. 1929.
35. JONES, W. W. Nitrogen. In Chapman, H. D., ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 310-323
36. KALRA, G. S. Responses of the tomato plant to calcium deficiency. *Botanical Gazette* 118(1):18-37. 1956.

37. LABANAUSKAS, C. K. Manganese. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 264-285.
38. LAMB, J. G. D. y CONROY, E. Minor element deficiencies noted in commercial tomato crop in Ireland. Iris Journal of Agricultural Research 1(3):342-343. 1962.
39. LAWRENCE, G. H. M. Taxonomy of vascular plants. New York, MacMillan, 1951. 823 p.
40. LE BOURDELLES, J. Fruits de marchés de Guayaquil (Republique de l'Equateur). Fruits d'Outre Mer 17(5):237-242. 1962.
41. LEDIN, R. B. The naranjilla (Solanum quitoense Lam.). Proceedings of the Florida State Horticultural Society No 65. 1952. pp. 187-190.
42. LEON, J. Plantas alimenticias andinas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico No 6. 1964. 112 p.
Solanum quitoense pp. 107-109.
43. ————. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Textos y Materiales de Enseñanza No 18. 1968. 487 p.
44. LINGLE, J. C. y HOLMBERG, D. M. Zinc-deficiency crops: sweet corn, tomatoes, beans and sugar beets used in test for zinc deficiency. California Agriculture 10(2):13-14. 1956.
45. ————, HOLMBERG, D. M. y ZOBEL, M. P. Zinc deficiency of tomatoes. California Agriculture 11(9):10-11. 1957.
46. ————, HOLMBERG, D. M. y ZOBEL, M. P. The correction of zinc deficiency in tomatoes in California. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 72:397-402. 1958.
47. LYON, C. B. y GARCIA, C. R. Anatomical responses of tomato stems to variations in the macronutrient anion supply. Botanical Gazette 105(3):394-405. 1944.
48. ———— y GARCIA, C. R. Anatomical responses of tomato stems to variations in the macronutrient cation supply. Botanical Gazette 105(3):441-456. 1944.

49. McCANN, L. P. Ecuador's naranjilla; a reluctant guest. Agri culture in the Americas 7(12):146-149. 1947.
50. MacGILLIVRAY, J. H. Effect of phosphorus on the composition of the tomato plant. Journal of Agricultural Research 34(2):97-127. 1927.
51. McMURTREY Junior, J. E. Nutritional deficiency studies on tobacco. Journal of the American Society of Agronomy 21(2):142-149. 1929.
52. _____. The effect of boron deficiency on the growth of tobacco plants in aerated and unaerated solutions. Journal of Agriculture Research 38(7):371-380. 1929.
53. _____. Distinctive effects of the deficiency of certain essential elements of the growth of tobacco plants in solution cultures. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No 340. 1933. 42 p.
54. _____. Deficiencies of secondary and micro-nutrient elements in plants. Better Crops with Plant Food 36(9):19-26, 42-48. 1952.
55. _____. Nutrient deficiencies in tobacco. In Hunger sings in crops. 3rd ed. New York, McKay, 1964. pp. 99-141.
56. MÜLLER, L. E. Curso especial de microtécnica y fotomicrografía; apuntes de clase. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1968. p. irr.
57. MUNIER, P. El lulo. Bogotá, Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Informe 1961. 1961. p. irr.
58. MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell color charts for plant tissues. 2nd. ed. Baltimore, Maryland, 1963. p. irr.
59. LA NARANJILLA. Agro (Ecuador) 24(4):18-20. 1955.
60. _____. (Solanum quitense H.B.K.). Ciencia y Naturaleza (Ecuador) 7(2):94-96. 1964.
61. NIGHTINGALE, G. T., SCHERMERHORN, L. G. y ROBBINS, W. R. Some effects of potassium deficiency on the histological structure and nitrogenous and carbohydrate constituents of plants. New Jersey Agricultural Experiment Station. Bulletin 499. 1930. 36 p.

62. NIGHTINGALE, G. T., SCHERMERHORN, L. G. y ROBBINS, W. R. Effects of sulphur deficiency on metabolism in tomato. *Plant Physiology* 7(4):565-595. 1932.
63. _____, et al. Effects of calcium deficiency on nitrate absorption and on metabolism. *Plant Physiology* 6(4):605-630. 1931.
64. OCHSE, J. J., et al. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Trad. del inglés por Alonson Blackaller Valdés. México, D. F., Centro Regional de Ayuda Técnica, 1965. 2 v.
Solanum quitoense v. 1, pp. 815-818.
65. PATIÑO, V. M. Edible fruits of Solanum in South American historic and geographic references. *Botanical Museum Leaflets* 19(10):215-234. 1962.
66. _____. Plantas cultivadas y animales domésticos en América equinoccial, Frutales. Cali, Colombia, Imprenta Departamental, 1963. v. 1, 547 p.
Solanum quitoense pp. 403-409.
67. PULGAR-VIDAL, J. El lulo, cocona o naranjilla (Solanum quitoense Lam.; S. sculenta); su cultivo y explotación comercial. *Industria Colombiana* 3(31):21-24. 1956.
68. PURVIS, E. R., y CAROLUS, R. L. Nutrient deficiencies in vegetable crops. *In* Hunger signs in crops. 3rd ed. New York, Mckay, 1964. pp. 254-257.
69. ROMERO-CASTAÑEDA, R. El lulo; una fruta de importancia económica. *Agricultura Tropical (Colombia)* 17(4):214-218. 1961.
70. ROTH, I. Microtécnica vegetal. Caracas, Universidad Central de Venezuela, 1964. 88 p.
71. SARVELLA, P. Translocation in naranjilla, an Ecuadorian solanaceous fruit. *Journal of Heredity* 47(1):19-20. 1956.
72. SASS, J. E. *Botanical microtechnique*. 3rd ed. Ames, Iowa State College Press, 1958. 228 p.
73. SCHIEBER H., E. Nemátodos de la naranjilla. *Informador Agrícola (Guatemala)* No 193. 1963. p. 8.
74. SCHULTES, R. E. y CUATRECASAS, J. Notes on the cultivated lulo. *Botanical Museum Leaflets* 16(5):97-105. 1953.

75. SCHULTES, R. E. y ROMERO-CASTAÑEDA, R. Edible fruits of Solanum in Colombia. Botanical Museum Leaflets 19(10): 235-286. 1962.
Solanum quitoense pp. 267-275.
76. SERRANO, C. y NAUNDORF, G. Algunos datos sobre la propagación vegetativa de la naranjilla o lulo de Castilla (Solanum quitoense Lam.) y el enraizamiento de hijuelos de piña (Ananas sativus Schult.). Notas Agronómicas (Colombia) 3(2):151-153. 1950.
77. SHIVE, J. W. The adequacy of boron and manganese content of natural nitrate of soda to support plant growth in sand culture. New Jersey Agricultural Experiment Station. Bulletin 603. 1936. 36 p.
78. STRASBURGER, E., et al. Tratado de botánica. Trad. de la 27a ed. alemana por Oriol de Bolós. 5a ed. Barcelona, Manuel Marín, 1960. 651 p.
79. ULRICH, A. y OHKI, K. Potassium. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 362-393.
80. VENNING, F. D. Manual of advanced plant microtechnique. Dubuque, Iowa, Brown, 1954. 96 p.
81. VIVAR F., H. E. Algunos estudios citológicos y genéticos sobre la naranjilla (Solanum quitoense Lamark). Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1968. 53 p. (Mimeografiado)
82. WALLACE, T. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms: a colour atlas and guide. 2nd ed. New York, Chemical Publishers, 1961. 125 p.
83. WALLIHAN, E. F. Iron. In Chapman, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences, 1966. 793 p. pp. 203-212.

AN

34566

T
583.79
L864

López Jurado, Gerardo.
Síntomas de deficiencia

de algunos elementos en la na-
ranjila....

VENCE

AN

T

583.79
L864

34566

34566