



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**EVALUACIÓN NUTRIMENTAL DE UN HUERTO DE LIMÓN
PERSA (*Citrus latifolia* Tan.) EN LA SEGUNDA AMPLIACIÓN
DEL EJIDO MANANTIALES MUNICIPIO DE MARTÍNEZ DE LA
TORRE, VERACRUZ.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRICOLA
PRESENTA:
GUZMÁN VERONA PEDRO

ASESOR: M. EN C. EDVINO JOSAFAT VEGA ROJAS

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodriguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Evaluación Nutricional de un Muerto de Limón Perse (Cigua
Latifolia Tan.) en la Segunda Ampliación del Ejeo Manantialco
Municipio de Marfil de la Torre, Veracruz"

que presenta el pasante: Pedro Quisán Verano
con número de cuenta: 2208714-C para obtener el TITULO de:
Ingeniero Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 18 de Junio de 1997

PRESIDENTE

M. en C. Edvino Jofre Vega Rojas

VOCAL

M. en C. Ofelia Grajalca Muñiz

SECRETARIO

Ing. Francisco Cruz Pizarro

PRIMER SUPLENTE

Ing. Edgar Ornelas Diaz

SEGUNDO SUPLENTE

Ing. Abel Rodriguez Bueno

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de formar parte de ella y de quien me siento orgulloso.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, a la Carrera de Ingeniería Agrícola y a los profesores que contribuyeron con sus conocimientos para formarme profesionalmente.

A mis compañeros de la Décima Generación dondequiera que se encuentren.

A los miembros del jurado por el apoyo brindado para la revisión de este trabajo y por sus valiosas sugerencias.

Al M. en C. Edvino Josafat Vega Rojas por su amistad, confianza y apoyo en la dirección de este trabajo.

Al Ing. Edgar Ornelas Díaz por su amistad y su valiosa ayuda desinteresada en las correcciones del presente trabajo.

Al Ing. José Luz Hernández Cruz por su invaluable amistad, apoyo y confianza en la elaboración y correcciones del trabajo.

De manera especial a la familia Muñoz Alpizar por su valiosísima amistad y apoyo en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

Al M. en C. Jaime Cruz por su confianza y apoyo.

Al Dr. Arturo Aguirre Gómez por su ayuda desinteresada, y al laboratorio de Nutrición Vegetal de la FESC.

DEDICATORIAS

A Dios por darme la oportunidad de realizar una mas de mis metas trazadas en la vida

A la memoria de mi padre Carlos Guzmán García que desde algún lugar del cielo comparte conmigo este logro, y el cual quisiera que ahora estuviera presente.

A la memoria de mi hermano Vicente quien hubiera dado todo para que yo nunca desistiera de mis estudios.

De manera muy especial, con cariño y respeto a la persona más hermosa he importante en mi vida (mi mamá) Delfina Verona López, gracias por su comprensión y apoyo incondicional.

A mis hermanos Artemio, Juan, Hilaria, Esteban, Carlos, Elia, Chabelo, Emilia, Juanita, Roberto y Delfina quienes con su apoyo y cariño me ayudaron a crecer y por nunca perder la confianza en mi, sin ellos no hubiera sido posible lograrlo.

A mi cuñada Leo por su comprensión apoyó incondicional.

A todos mis Cuñados (as) con respeto.

A todos mis sobrinos, para que este trabajo sirva de estímulo en sus vidas.

A la familia Rodríguez Morales por su amistad y confianza.

A la familia Morales Teyssier gracias por su apoyo y amistad.

A todos mis amigos que con su amistad y consejos contribuyeron de alguna manera a la realización de este trabajo, sus nombres siempre estarán en mi mente.

A todos ustedes gracias

Pedro Guzmán Verona.

A ustedes que son el presente y el futuro de mi vida, y que con su apoyo y motivación hacen posible la culminación de lo inconcluso, pero además, espero que este trabajo sirva de estímulo para la superación de sus vidas: Esther, Magdalena y Carlos.

A ti que no tuviste la oportunidad de vivir donde quiera que te encuentres, quiero que compartas con nosotros este logro.

INDICE GENERAL

	Pag.
ÍNDICE DE CUADROS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
RESUMEN	IV
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 Características generales del cultivo	3
3.1.1 Origen y distribución	3
3.1.2 Importancia mundial	6
3.1.3 Importancia nacional	16
3.1.4 Clasificación taxonómica	28
3.1.5 Descripción botánica	29
3.2 Requerimientos ecológicos	31
3.2.1 Latitud y altitud	31
3.2.2 Clima	32
3.2.3 Humedad y precipitación	32
3.2.4 Temperatura	33
3.2.5 Vientos	34
3.2.6 Intensidad luminosa	36

	Pag
3.3. Suelo	36
3.3.1 Textura	37
3.3.2 Profundidad	39
3.3.3 Permeabilidad	39
3.3.4 pH	40
3.4 Elementos nutritivos	44
3.4.1 Funciones de los elementos nutritivos	45
3.4.2 Carbono, Hidrógeno y Oxígeno.	46
3.4.3 Nitrógeno	47
3.4.4 Fósforo	52
3.4.5 Potasio	58
3.4.6 Calcio	61
3.4.7 Azufre	65
3.4.8 Magnesio	67
3.4.9 Zinc	69
3.4.10 Manganeso	73
3.4.11 Hierro	77
3.4.12 Cobre	80
3.4.13 Boro	83
3.4.14 Molibdeno	85

	Pag.
3.4.15 Cloro	85
3.4.16 Níquel	87
3.5 Mecanismos de absorción de los elementos minerales	88
3.5.1 Nutrición mineral	88
3.5.2 Nutrición foliar	92
3.5.3 Análisis de suelo	96
3.5.4 Análisis foliar	88
3.5.5 Muestreo en cítricos	100
IV. MATERIALES Y METODOS	105
4.1 Descripción del sitio experimental	105
4.1.1 Ubicación geográfica	105
4.1.2 Clima	107
4.1.3 Suelo	107
4.1.4 Manejo del huerto	108
4.1.5 Muestreo de suelo	109
4.1.6 Muestreo de planta	114
4.1.7 Análisis de suelo y planta	116
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	120
VI. CONCLUSIONES	130
VII. RECOMENDACIONES	131
VIII. BIBLIOGRAFÍA	134

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Principales países productores de limón.	9
2	Superficie sembrada de limón persa y limón mexicano en las principales entidades federativas.	19
3	Estados productores de limón persa	26
4	Caracterización química de las muestras de suelo de las zonas de estudio.	120
5	Caracterización química de las muestras de vegetal de las zonas de estudio	126
6	Caracterización física de las muestras de suelo en las zonas de estudio	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1 <i>Producción mundial de limón (Miles de toneladas)</i>	8
2 <i>Contribución por país en la producción de limón 1991/1995.</i>	10
3 <i>Participación promedio en la producción mundial de limón por continente 1992/1995 (Miles de toneladas).</i>	11
4 <i>Exportaciones mundiales de limón (Miles de toneladas).</i>	12
5 <i>Contribución por país en las exportaciones mundiales de limón 1991/1995.</i>	13
6 <i>Contribución por país en las importaciones mundiales de limón 1991/1995.</i>	14
7 <i>Importaciones mundiales de limón (Miles de toneladas).</i>	15
8 <i>Porcentaje de producción de limón por variedad.</i>	16
9 <i>Porcentaje de producción de limón persa por estados 1996.</i>	27
10 <i>Rama de cítrico mostrando las hojas apropiadas para muestreo.</i>	102
11 <i>Localización geográfica del Municipio de Martínez de la Torre, Veracruz.</i>	106
12 <i>Densidad de plantación en el huerto de limón.</i>	108
13 <i>Control de malezas en el huerto.</i>	109
14 <i>Características de pendiente del terreno</i>	110

15	<i>Distribución de las raíces de cítrico en % a través del horizonte del suelo.</i>	111
16	<i>Profundidad de muestreo.</i>	111
17a	<i>Abertura de cepas.</i>	112
17b	<i>Abertura de cepas.</i>	113
18	<i>Toma de muestra de suelo.</i>	113
19	<i>Guardando las muestras de suelo.</i>	114
20	<i>Rama de limón persa con frutos</i>	114
21	<i>Tipo de hoja de limón muestreada.</i>	115
22	<i>Altura de muestreo de planta.</i>	116

RESUMEN

Se realizó un estudio en un huerto de 5 ha. limón persa *Citrus latifolia* Tan. de 7 años de edad, injertado sobre patrón de naranjo agrio *Citrus aurantium* L. plantado en marco real 7 x 7 con una densidad de 204 plantas por ha., localizado en la Segunda Ampliación del Ejido Manantiales Municipio de Martínez de la Torre Ver con los objetivos de diagnosticar el estado nutrimental del suelo y planta, evaluar el contenido nutrimental de los mismos y generar una recomendación de fertilización basada en esta evaluación

Para lograr éstos objetivos se utilizó en el suelo el tipo de muestreo estratificado al azar, con el cual se detectaron cinco zonas dentro del huerto, tomando en cuenta características físicas del suelo y pendiente del mismo, así como las características de la planta. En la planta se utilizó el tipo de muestreo al azar en el que se cortaron 80 hojas por muestra en cada una de las cinco zonas de estudio

Las muestras de suelo y de vegetal fueron llevadas al laboratorio para su análisis. Así mismo, los resultados de éstos sirvieron para determinar las deficiencias de nutrientes y poder generar una recomendación de fertilización acorde al estado nutrimental tanto de suelo como de planta, que permitan mejorar la producción del huerto y la calidad de la fruta.

I. INTRODUCCIÓN

Quando uno se enfrenta a los problemas reales del campo surgen un gran número de inquietudes, las cuales uno no tuvo la oportunidad de poner en práctica en el aula. Sin embargo, gracias a éstas, uno va tomando interés sobre la manera de como aportar un conocimiento que contribuya a mejorar las condiciones en que se encuentra nuestra agricultura, pero en particular la fruticultura nacional.

A raíz de la gran importancia que ha tenido la producción de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.), el establecimiento de empresas empacadoras de limón fresco para exportación, el aumento constante de la superficie cultivada a nivel nacional, esta fruta participa en casi la tercera parte del total de la producción nacional y su destino casi es exclusivo del mercado internacional.

Dentro del Estado de Veracruz destaca la región de Martínez de la Torre que aporta más del 75% de la superficie estatal dedicada al cultivo de limón persa. En dicha región este cítrico ocupa el tercer lugar en importancia por la superficie ocupada y a nivel nacional concentra el 53.05% de la superficie total dedicada a esta variedad, registrando rendimientos de 8.52 ton/ha.

Debido a los bajos rendimientos obtenidos es necesario poner atención en el manejo en general de las huertas para poder producir más y mejor calidad de fruta, usando tecnologías que se adecuen a las condiciones ambientales de suelo y planta, ya que actualmente la mayoría de los productores hacen aplicaciones de fertilizantes con el desconocimiento total del estado nutricional de plantas y de la fertilidad del suelo, lo cual en lugar de beneficiar lo perjudican. Así mismo, aplican fórmulas que las casas comerciales les venden ya preparadas o de otra forma compran los fertilizantes mas económicos sin tomar en cuenta qué efecto produzcan estos a corto mediano y largo plazo, tanto en el suelo como en la planta. Por todo lo anterior, surge la necesidad e interés de realizar un estudio basado en la evaluación nutrimental de suelo y planta para poder generar alternativas de fertilización, con la finalidad de que los productores de limón puedan obtener mayor producción y mejor calidad de fruta y así cumplir con las exigencias de mercado, pero además, éstas aportaciones de nutrientes deben ser en cantidades adecuadas al estado nutricional de las plantas, al tipo de suelo y con las fuentes que se requieren para los mismos.

II. OBJETIVOS:

- a) Diagnosticar el estado nutrimental del suelo y planta de un huerto de Limón Persa (Citrus latifolia Tan.)

- b) Evaluar el contenido nutrimental del suelo y planta de un huerto de Limón Persa (Citrus latifolia Tan.)

- c) Generar recomendación de fertilización basada en la evaluación nutrimental del suelo y planta, para limón persa (Citrus latifolia Tan.)

III. REVISION DE LITERATURA

3.1 Características generales del cultivo

3.1.1 Origen y distribución del limón persa

El limón persa (Citrus latifolia Tan.) también recibe el nombre de lima de Persia, lima tahití o limón sin semilla como se conoce en México.

Según Hodgson (1967), se desconoce el origen del limón persa y su historia no es clara. Este mismo autor menciona que el nombre de Tahití surgió por el hecho de que esta fruta fue introducida a California E.U.A. procedente de Tahití en el periodo de 1850 a 1880.

Según Gómez (1994), aunque ni en Irán, ni en la isla Tahití en el Pacífico se cultiva esta fruta en la actualidad se supone que llegó de Persia a la región del Mediterráneo y de ahí a Brasil, Australia y Tahití.

Reazoner (1888), indica que la lima tahití o limón persa se siembra en California desde 1875.

Young (1967), menciona que la lima persa fue introducida a California desde Tahití y pudo haberse originado ahí.

Campbell (1968), menciona que se cree que desde 1815 esta planta fue encontrada en California E.U.A., aunque su origen exacto es desconocido es posible que provenga de una semilla de fruto cítrico embarcado en el comercio entre Tahití y San Francisco alrededor de 1850 a 1880.

Reece y Childs (1962), Hodgson (1967), concluyen que el limón persa es un híbrido obtenido de la lima ácida (Citrus aurantifolia Swin.) por otro limón o citrón pero con mayor probabilidad éste último. Así mismo, observaron más de 18 cromosomas en el número diploide normal. Sin embargo, Hodgson reportó a esta lima como triploide en su constitución genética.

Campbell (1968), menciona que en cuanto a su nombre científico muchos autores tienen clasificado al limón persa como (Citrus aurantifolia (Christin) Swin.) y lo consideran como un híbrido de (Citrus aurantifolia) y algunas otras especies de cítricos, reconociéndolo como a una planta cultivada que no existe en forma silvestre.

Campbell (1968), cita que Tanaka da a la lima tahiti o limón persa el nombre de (Citrus latifolia Tan.) como reconocimiento a un biotipo distinto.

Hasta el momento la distribución del limón persa se considera importante en México, ya que se cultiva en los estados de Veracruz, Tabasco, Yucatán Oaxaca y otros estados del país, aunque con menor importancia.

De acuerdo con información proporcionada por los agregados comerciales de las embajadas, los países en donde se ha detectado el cultivo actualmente, no consideran el producto en forma desagregada sino como grupo de limas y limones

Los países en donde se cultiva limón persa y otras variedades son Estados Unidos, México, España, Italia, Turquía, Grecia, Brasil, Argentina, Uruguay, Venezuela, Chile, Kenya, Marruecos, Ecuador, Nicaragua, Guatemala y las Islas Bahamas. Aunque se produce en muchos otros países del mundo, la superficie cultivada es menor (ASERCA- 1995)

•ASERCA(Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria)

3 1.2 Importancia mundial

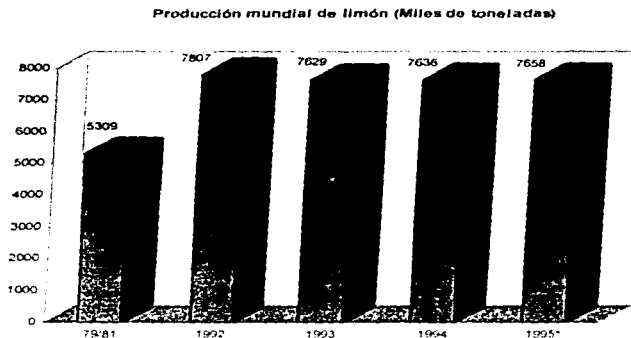
El limón ocupa dentro de los cítricos el segundo lugar en importancia tanto por su consumo en fresco como por su uso industrial; es un producto que ha registrado un fuerte incremento en la producción mundial, ya que participa con el 9.6% de la producción mundial de cítricos. (ASERCA 1996)

Es importante mencionar que ninguna estadística internacional distingue a los tipos de limones, ya que cuando se habla de ellos siempre se refiere a tres frutos: limón italiano, limón persa y limón mexicano

De finales de la década de los setenta e inicio de los ochenta, a los primeros años de la presente década, la producción mundial de limón registró un incremento de 44.7%, con una continua alza en los años posteriores. Los mayores niveles de producción en la actual década han originado que el promedio anual de producción de 1992 a 1995 se ubique cerca de 7.7 millones de toneladas métricas, mas de la mitad de lo observado en el periodo 1979-1981, cuando se obtuvo en promedio 5.3 millones de toneladas (ASERCA 1996).

En 1994 la producción mundial del cítrico se situó en 2.2% por abajo de 1992 al alcanzar un volumen de 7.63 millones de toneladas, para 1995 se tenía estimada una producción de alrededor de 7.65 millones de toneladas esto es menor en 1.9 % a la de 1992 pero superior en 0.3 % a la del año previo, como se puede ver en la figura 1 (ASERCA 1996).

Figura 1



FUENTE: ASERCA1996. CON DATOS DE LA FAO

*ESTIMADO

Los principales países productores de limón en el mundo son: Estados Unidos, Italia, México, Argentina, España, India, Turquía y Grecia. (Gómez 1994).

Como se observa en el cuadro 1 aproximadamente el 46,8% de la producción mundial de limón está concentrada en cinco países: Estados Unidos, Italia, México, Argentina e India

Cuadro 1 Principales países productores de limón

(Miles de toneladas métricas)

PAÍS	79/81	1992	1993	1994	1995*
E U.A.	860	758	884	900	892
Italia	752	747	777	769	762
México	577	777	700	700	718
Argentina	369	700	612	650	661
India	488	580	600	602	594
Otros	2263	4245	4066	4015	4031
Total	5309	7807	7629	7636	7658

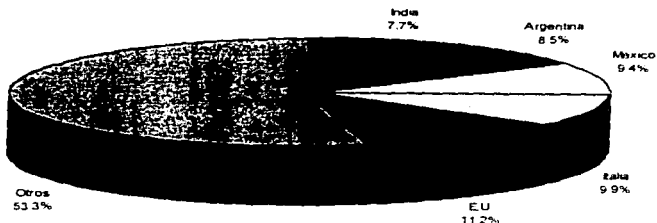
FUENTE: ASERCA 1996, CON DATOS DE LA FAO

* ESTIMADO

Estados Unidos ocupa el primer lugar como productor aportando el 11.2% de la producción promedio mundial. Italia participa con el 9.9%, México contribuye con el 9.4%, Argentina aporta el 8.5% y la India con el 7.7% de la producción total mundial, como se puede ver en la figura 2.

Figura 2

Contribución por país en la producción de limón 1991/1995.

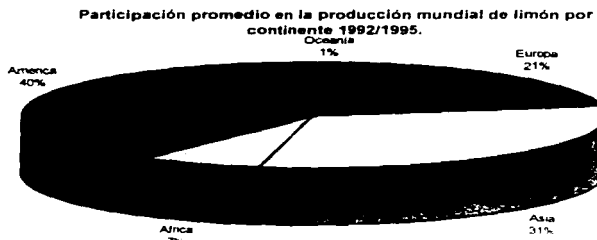


FUENTE: ASERCA 1996, CON DATOS DE LA FAO*

*FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

El Continente Americano es donde se encuentran tres de los cinco principales países productores de limón con cerca del 40% seguido de Asia con el 31.5% de la producción mundial, como se observa en la figura 3.

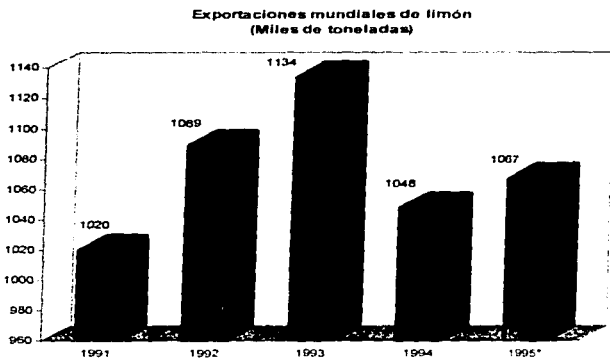
Figura 3



FUENTE: ASERCA 1996, CON DATOS DE LA FAO

En cuanto a las exportaciones éstas han crecido desde el inicio de la presente década. De un total de 102 millones de toneladas exportadas en 1991, la oferta pasó de 1.13 millones en 1993, años que se registraron el mínimo y máximo nivel respectivamente. De esta forma, para 1995 se estima que las exportaciones sean de 1.06 millones de toneladas aproximadamente, lo que representaría un incremento de 4.5% en relación a 1991, registrándose así un nivel promedio, de 1991 a 1995 de alrededor de 1.07 millones de toneladas como se observa en la figura 4. (ASERCA 1996).

Figura 4



FUENTE: ASERCA 1996 CON DATOS DE LA FAO

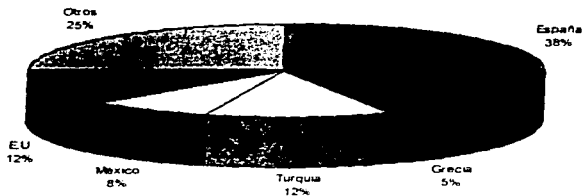
* ESTIMADO

El 75% de las exportaciones totales mundiales del producto se encuentra concentrado en España, Estados Unidos, Turquía, México y Grecia.

Como se puede observar en la figura 5, España ha registrado un promedio anual exportado de 38% del total mundial; Estados Unidos ha exportado un promedio de 12% ; Turquía aporta el 12% de las exportaciones y México participa con el 8% de la exportaciones totales mundiales.

Figura 5

Contribución por país en las exportaciones mundiales de limón
1991/1995.



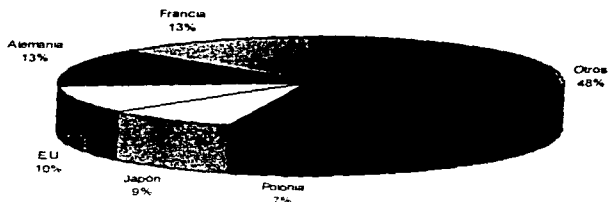
FUENTE: ASERCA 1996, CON DATOS DE LA FAO

La demanda mundial del limón medida a través del volumen de importaciones realizadas ha registrado en los últimos cinco años un promedio anual de 1.0 millón de toneladas, resaltando el descenso del 3.7% que se estima en 1995 en relación a 1991

El 52% de las importaciones mundiales se concentran en Francia, Alemania, Estados Unidos, Japón y Polonia, como se puede ver en la figura 6.

Figura 6

Contribución por país en las importaciones mundiales de limón
1991/1995.



FUENTE: ASERCA 1996. CON DATOS DE LA FAO

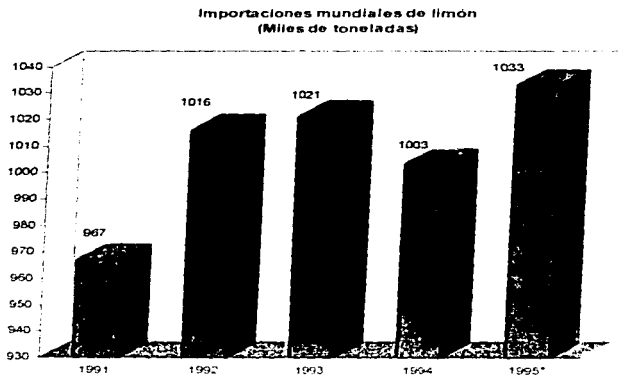
Francia y Alemania demandan el 26% del total mundial. Ambas naciones registran el mayor crecimiento de 1991 a 1995 con 16.5% y 11.8% respectivamente, pero también observan la caída más relevante en los últimos dos años, siendo para Francia de 10.1% y de 9% para Alemania.

Por su parte, Estados Unidos demanda el 10% del total mundial, mismo que ha ido en descenso, ubicándose en 1995 en 7.4% por abajo del alcanzado en 1991 y 5.8% inferior al de 1994

De los cinco países importadores sobresale el caso de Polonia, siendo éstas en 1995 por 19.8% por abajo de lo importado en 1991, pero se estima sean mayores en 15.1% respecto a 1994.

Dentro de las importaciones mundiales se ha presentado un crecimiento a través de los años de 1991 de 967 mil toneladas, pero se observa un ligero descenso en 1994 con respecto a 1992 y 1993 se estima que para 1995 el volumen de importaciones registre un ligero ascenso como se ve en la figura 7.

Figura 7



FUENTE: ASERCA 1996. CON DATOS DE LA FAO

3.1.3 Importancia nacional

En nuestro país la producción de limón está destinada principalmente a dos variedades: el limón persa o sin semilla y el limón mexicano o con semilla. En el caso del primero se cultiva fundamentalmente en las entidades de la costa del Golfo (Veracruz, Tabasco y Yucatán), esta región contribuye con el 30% de la producción total, mientras que para el segundo, la principal zona productora se localiza en la costa del Pacífico en los estados (Colima, Michoacán, Jalisco, Guerrero y Oaxaca), ocupando el 70% de la producción nacional, como se observa en la figura 8.

Figura 8

Porcentaje de producción de limón por variedad.



FUENTE: ASERCA 1996, CON DATOS DE SAGAR.

En México las primeras plantaciones comerciales que se realizaron de limón persa fue en el estado de Michoacán hacia 1912, pero en 1926 ésta especie se desarrolló grandemente en el estado de Colima (Seminario de Citricultura, 1987).

El limón mexicano, la producción comercial se generaliza desde 1911, para la fabricación de aceite que se enviaba a Nueva York y París. En Colima se inicia el cultivo con fines comerciales a partir de 1925 (ASERCA 1996)

En lo que se refiere al limón persa su participación en el agro nacional ha sido bastante reciente, según Gómez (1994), su cultivo fue promovido por la compañía Coca Cola en los años setentas, con el fin de buscar materia prima de ácido cítrico para sus refrescos. Esta empresa convenció a campesinos y ganaderos de la región de Martínez de la Torre en Veracruz para que sembraran ésta variedad de limón. El limón obtenido no presentaba las características deseadas por esta compañía ya que contenía mucho jugo y poco aceite por lo que perdió el interés en su cultivo. A raíz de esto los productores empezaron poco a poco a introducirlo al mercado de Estados Unidos por la ruta del Valle de Texas (área de McAllen, Hidalgo y Edinburg) y de ahí se distribuye a todo el país (Gómez 1994)

Cuando en 1982 por política de Estados Unidos se cerró la frontera a la importación de limón mexicano procedente de Colima y de Apatzingan en Michoacán por el problema de "Bacteriosis de los Citricos", se abrió una mejor perspectiva para el limón persa producido en Veracruz. ASERCA (1995).

El limón persa participa en casi la tercera parte de la producción total nacional y su destino casi es exclusivo el mercado internacional, lo que permite la generación de divisas para el país, mientras que el limón mexicano abastece el mercado nacional.

Los principales estados productores de limón persa son Veracruz, Tabasco, Chiapas, Yucatán y parte de Oaxaca. Así mismo, los principales estados productores de limón mexicano son Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Tamaulipas, como se puede ver en el cuadro 2.

Cuadro 2 Superficie sembrada de limón persa y limón mexicano en las principales entidades federativas.

Limón persa

Hectáreas

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Veracruz	7085	6321	7289	11263	12126	12126	11667*	12658**
Yucatán	582	500	504	588	594	800	357*	634**
Tabasco	n e	n e	1662	2043	2043	1725	2602*	3743**
Limón Mexicano								
Colima	26749	26454	29113	29440	29440	29012	n e	30760**
Michoacán	17028	18138	18362	20537	20768	21867	n e	23796**
Guerrero	8215	6257	6874	7015	7351	7084	n e	6719**
Oaxaca	n e	7000	8000	8000	10000	11000	n e	14120**
Tamaulipas	1535	1845	2082	1897	1897	1818	n e	n e

n e no estimado

*EL LIMON PERSA EN MEXICO (Estudio del mercado mundial) 1995

**SAGAR AVANCE DE SIEMBRA Y COSECHA AL 31 DE JULIO DE 1996

El limón persa ocupa una superficie total de 17.060 hectáreas (el 18.9%) con respecto al limón mexicano con una producción anual de 161 703 toneladas (19.9%) de las cuales 144 153 toneladas se destinan a la exportación. (SECOFI-BANCOMEXT-1995).

De acuerdo a SAGAR, se calcula que la superficie cosechada en el país pasó de 6,219 hectáreas en 1986 a 17,060 hectáreas en 1995, lo que significó un crecimiento medio anual del 11.86%. En 1996 se espera incorporar 115 hectáreas adicionales con lo que la superficie programada para este año se estima en 17,175

El volumen de producción se ha incrementado de 52,599 toneladas en 1986 a 161,703 ton en 1995, lo que significa un crecimiento promedio del 13.3% anual. ASERCA (1995).

Las exportaciones del producto pasaron de 23,000 ton en 1986 a 144,153 ton en 1995, creciendo a un ritmo anual del 22.6%, generando una entrada de divisas de 34.4 millones de dólares en este último año

El consumo per cápita en México según la FAO (1993) se encuentran en un promedio global de 5.6 kg

En cuanto a la producción de limón de ésta variedad algunos especialistas distinguen prácticamente tres etapas en la producción, antes de 1982, que se caracteriza por ser previo a la exportación y durante el cual la producción no alcanza a rebasar las 40,000 ton ASERCA (1996).

De 1983 a 1989, periodo en el cual se da un incremento continuo en las exportaciones a E.U. alcanzando una producción de 60,000 ton. Y de 1990 a la fecha conocida como el "Boom del limón" hay un incremento acelerado de las exportaciones a E.U. debido principalmente a las heladas de diciembre de 1989 que afectaron a Florida y Texas.

Estos últimos años señalan un periodo acelerado en la producción de limón persa para exportación. Así, encontramos que para el estado de Veracruz la superficie sembrada creció en un 73.04%, al pasar de 7,045 ha, a 12,191ha; en lo que respecta a superficie cosechada el crecimiento fue mayor de 95.49%, al pasar de 6,164 ha a 12,050 ha. Por su parte la producción creció en un 47.86% ya que al inicio del periodo ésta se contabilizó en 61,004 ton. Este incremento se debió principalmente al crecimiento de la superficie sembrada. ASERCA (1996).

Dentro del Estado de Veracruz destaca la región de Martínez de la Torre que aporta el 53,05% de la superficie nacional destinada a la producción de limón persa y poco mas del 77% de la superficie estatal cultivada. Los rendimientos que se obtienen son 8.52 ton/ha. ASERCA (1995).

También se cultiva en los siguientes municipios: Fortín, Tuxpan, Veracruz, Coatepec, Huayacocotla, Jaltipan, Las Choapas y Pánuco. En tres de ellos los niveles de productividad superan ampliamente los estándares de Martínez de la Torre: Fortín, Pánuco y Veracruz, con 15.8 ton/ha, 13.41 ton/ha y 12.15 ton/ha respectivamente.

Tabasco sigue en importancia al Estado de Veracruz con el 15.3 % de la superficie nacional cosechada y el 7.8% de la producción. En este estado se obtienen los más bajos rendimientos a nivel nacional con un promedio de 4.8 ton/ha, aunque el producto es de primera calidad y está destinado en más del 90% a la exportación.

El cultivo del limón persa se realiza en los municipios de Huimanguillo, que concentra el 90% de la superficie y volumen de producción en la entidad, y Tenosique con el restante 10%. Además, encontramos que este Estado durante los años de 1989 y 1990 no calificó entre las entidades productoras de tal manera que éstos datos corresponden a los años 1991-1994. Los indicadores, señalan incrementos en todos sus aspectos en superficie sembrada un crecimiento de 3.79%, en superficie cosechada de 37.25%, en producción de 99.17% y en rendimiento de 45.09%.

El Estado de Yucatán ha tenido un crecimiento en la superficie sembrada y cosechada de 37.46% y 39.41% respectivamente, mientras que la producción creció en 53.40% y el rendimiento en 10.03%. En 1995 se reportó una superficie sembrada de 564 ha, 63% de las cuales, 357 ha se encontraban en explotación con una producción total de 8,888 ton y un rendimiento promedio de 24.9 ton/ha.

La producción se concentra en el Distrito de Desarrollo Rural de Ticul que cuenta con 240 ha, 67% de la superficie total cosechada y reporta una producción de 8,732 ton en 1995. Cuenta además con el 88% de la superficie en desarrollo de la entidad siendo el municipio que alcanza los más altos niveles de productividad con 34.3 ton/ha en 1995.

Se cultiva también en 74 ha del Distrito de Desarrollo Rural de Mérida, con rendimientos promedio de 5.72 ton/ha; en 4 ha de temporal en Tizimin donde se reportan rendimientos de 5 ton/ha y en 38 ha, de riego en el Distrito de Desarrollo Rural de Valladolid, que obtienen rendimientos de 5.5 ton/ha (ASERCA (1995)).

Oaxaca actualmente cuenta con una superficie establecida de 2,150 ha, de las cuales, 1200 se encuentran en producción generando 24,000 ton con rendimiento promedio de 20 ton/ha. La zona productora es el Bajo Mixe colindante con el Estado de Veracruz

En Chiapas el cultivo se realiza en la Región del Soconusco y Centro del Estado en una superficie de 452 ha con una producción total estimada de 2,310 ton y rendimientos promedio de 5 ton/ha

El Estado de Tamaulipas inició el cultivo del limón persa en forma experimental en 1992 en una superficie de 80 ha obteniéndose la primera producción de 720 ton en 1995 con un rendimiento de 9 ton/ha

Morelos cuenta con 118 ha cultivadas en pequeños predios principalmente en la zona dentro y suroeste de la entidad en los municipios de Emiliano Zapata, Yautepec, Xochitepec, Jaltelco, Jiutepec, Temixco, Tlaltizapan y Ciudad Ayala, aunque se reporta producción en 18 municipios del estado. Los rendimientos que se obtienen son de 12 ton/ha lo que ha permitido que en 1995 se obtuvieran 1,416 ton que son destinadas principalmente al mercado local.

El Estado de Michoacán cuenta con una superficie de 160 has localizadas en Apatzingan, Tepalcatepec y Mujica en 20 de las cuales se inició el primer corte en enero de 1995, previéndose el mismo año una incorporación de 100 has más. Se esperan rendimientos de 10 ton/ha y una producción de 1,200 ton durante 1996.

En el Estado de Jalisco se cuenta con una superficie de 433 ha, generando un total de 6,169 ton, con un rendimiento promedio de 14.25 ton/ha. Se cultiva en 5 de los 8 Distritos de Desarrollo Rural del estado, concentrándose en la actualidad en el distrito V el Grullo que concentra el 47 % de la superficie sembrada, y en el distrito III Ameca, con el 38% respectivamente.

En el Estado de México se tienen identificadas las zonas productoras de Coatepec Harinas, Tenancingo e Ixtapan de la sal. La zona más importante en Coatepec Harinas se tienen localizadas 71.4 ha que permiten una producción de 1,428 ton.

En el Estado de Colima se tienen establecidas aproximadamente 250 ha. de riego en la Región Centro y Costera, de las cuales 200 ha están en primer año de plantación y el resto en producción. Cuadro 3.

Cuadro 3 Estados productores de limón persa

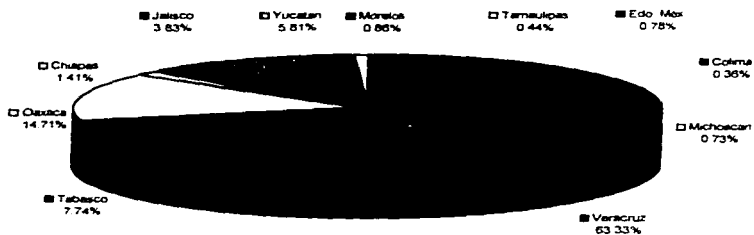
Estados	Superficie	Producción Ton	Rendimiento			
	Cosechada		(Ton/ha)			
	1995	1996	1995	1996	1995	1996
Veracruz	11667	11667	103342	103342	8.86	8.86
Tabasco	2602	2602	12630	12630	4.85	4.85
Oaxaca	1200	1200	24000	24000	20.00	20.00
Chiapas	462	462	2310	2310	5.00	5.00
Jalisco	433	440	6169	6250	14.25	14.20
Yucatán	357	377	8888	9481	24.90	25.15
Morelos	118	118	1416	1416	12.00	12.00
Tamaulipas	80	80	720	720	9.00	9.00
Edo México	71	59	1428	1180	20.00	20.00
Colima	50	50	600	600	12.00	12.00
Michoacán	20	20	200	1200	10.00	10.00
Totales	17060	17175	161703	163129	12.80	12.64

FUENTE: ASERCA (1995)

En la gran mayoría de los estados productores de limón persa no se alcanzan los volúmenes de cosecha que en el estado de Veracruz a pesar de que los rendimientos en varios de ellos son significativos como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Porcentaje de producción de limón persa por estados 1996



FUENTE: El limón persa (Estudio de mercado mundial) ASERCA 1995

3.1.4 Clasificación Taxonómica

El limón persa se clasifica de la siguiente manera:

Reino	Vegetal
División	Spermatophyta
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Geraniales
Familia	Rutaceae
Subfamilia	Aurancioideae
Tribu	Citreae
Subtribu	Citrenae
Grupo	De los Agrios
Género	<i>Citrus</i>
Especie	<i>latifolia</i>

3.1.5 Descripción botánica

El árbol del limón persa es vigoroso y extendido, presenta ramas con tendencia a caer (Hodgson, 1967). La copa es redondeada en simetría densa. Las ramas nuevas generalmente tienen una orientación vertical, pero como el cultivar soporta los frutos, éstas se doblan hacia abajo gradualmente hasta alcanzar una orientación horizontal. Eventualmente muchas ramas tienden a inclinarse hacia el suelo a no ser que sean podadas. Las ramas jóvenes y cortas pueden ser sin espinas en el mismo árbol, y con espinas gruesas hacia arriba de 7 mm de longitud, las hojas jóvenes en árboles sanos tienen un color verde, las hojas maduras tienen un color verde oscuro y tienen de 7.6 a 12.7 cm de longitud y de 4.5 a 6.4 cm de ancho, además, son en forma general, de ciclo tardío. Los peciolo tienen una variación que va desde 10 a 16 mm de longitud y de forma alada

La flor tiene cinco pétalos (ocasionalmente cuatro), con superficie blanca en ambas partes, cuando son brotes florales presentan un color púrpura ligero mismo que termina con cierto desarrollo de los mismos. La flor abierta tiene una extensión de 30 a 35 mm. Los estambres están unidos en un cerco amarillo pálido muy desarrollados, las anteras tienen un número variable de polen el pistilo es de aproximadamente 12 mm de longitud con un ovario verde y un estigma amarillo.

El fruto es un hesperidio verde oscuro, más hasta el final de su desarrollo, gradualmente se vuelve verde claro hasta volverse amarillo en su senescencia. El fruto tiene de 10 a 12 segmentos lobulares la pulpa es de color verde y la textura es lisa brillante, el jugo es muy ácido y la cáscara contiene ácido cítrico, y pequeñas proporciones de ácido oxálico, málico, succínico y malónico. Campbell C. W. (1968).

3.2 Requerimientos ecológicos

3.2.1 Latitud y Altitud

Esta fruta se cultiva de los 40° Latitud Norte a 40° Latitud Sur. Sin embargo, hasta ahora siempre se ha cultivado en las regiones tropicales en las zonas comprendidas entre los 23° 27' al Norte y al Sur del Ecuador.

El limón se cultiva en altitudes que van desde los cero hasta los 1,400 m.s.n.m. en la medida que se rebasan éstos límites se podría ver desfavorecido su desarrollo y crecimiento, ya que a esas alturas se presentan heladas, lo que ocasiona que el agua que se encuentra en los espacios intercelulares al congelarse rompa los mismos originando la muerte de la planta. (Producción de Cítricos en México 1987).

La altitud es muy importante, ya que por cada 160 m que se asciende la temperatura disminuye 1 °C, por lo que su óptimo en cuestión de altitud es desde el nivel del mar hasta 700 m, aunque se puede cultivar en las regiones tropicales hasta los 1,800 m.s.n.m. Gravina (1985). Aunque los rendimientos se ven afectados.

3.2.2 Clima

El limón se cultiva bajo condiciones muy variadas de clima, que van del tropical al subtropical con alta humedad pero no excesiva.

3.2.3 Humedad y precipitación

La humedad atmosférica se considera que influye sobre la calidad de la fruta. Los frutos de todos los cítricos cultivados en regiones donde la humedad atmosférica es alta tienden a tomar la piel más delgada y suave, contienen mayor cantidad de jugo y éste es de mejor calidad. Morín, (1980). Sin embargo, esta humedad es un factor menos importante, ya que los cítricos pueden crecer bien en los rangos de 38% a 80% de humedad relativa.

Según Hernand (1979), para evitar las restricciones de crecimiento y rendimiento del fruto, la humedad del suelo no debería estar abajo de 60 a 70 % de su capacidad de campo. Así mismo, el total de agua requerida varía de un máximo de 1,900 a 2,400 mm/año y un mínimo de 1,210 mm/año.

Gravina (1985), dice que existe un rango más amplio que varía de 1,000 a 2,000 mm/año para mantener un suelo en óptimas condiciones para el cultivo de los cítricos.

Morín (1980), menciona que en términos generales se estima que la cantidad de agua, necesaria para un huerto de cítricos oscila entre 9,000 y 12,000 m³ por hectárea por año, lo que equivale a una lluvia anual bien distribuida de 900 a 1,200 mm.

Ziegler y Wolfe (1961), consideran que la alta humedad relativa es ventajosa para el desarrollo de la planta al disminuir la transpiración para cualquier temperatura, lo que redundaría en una economía del agua usada por la planta, en comparación con regiones de baja humedad relativa. Sin embargo, ésta alta humedad relativa presenta como desventaja favorecer el desarrollo de enfermedades fungosas y algunas plagas.

3.2.4 Temperatura

La FAO (1975), menciona que el cultivo de limón se limita a sitios con temperaturas superiores a los 10 °C durante los meses de mayor calor.

Los cítricos pueden soportar temperaturas muy elevadas sin daños de consideración y cuando éstos se producen es a causa de otros factores tales como: escasa humedad del suelo y en la atmósfera, pero especialmente a los vientos cálidos y secos. Los cítricos soportan temperaturas del orden de los 50 °C sin presentar daño aparente. Por lo anterior se deduce que los cítricos pueden vivir sin sufrir daños entre 0 y 50 °C, pero eso no quiere decir que desarrollen la misma actividad entre tan extremos límites, la temperatura óptima para los cítricos es de 23 a 28 °C

Morín (1980), menciona que los cítricos en general pueden resistir sin daños apreciables temperaturas aproximadas de 2 °C bajo cero, siempre y cuando éstas no se mantengan por mucho tiempo, esta resistencia se debe a las condiciones propias de la planta como son: su edad, estado sanitario, estado nutricional, grado de reposo y actividad, tiempo que dura la helada y la forma en que ésta se presente; las plantas adultas resisten mejor las heladas que las plantas jóvenes.

3.2.5 Vientos

Los vientos son un factor importante para la calidad de la fruta de limón, ya que puede causar daños mecánicos al follaje, flores y frutos, lesiones de cáscaras y pérdidas de aceites esenciales.

Los vientos secos y cálidos son los efectos más graves sobre el limón, ya que provocan quemaduras de corteza, desecación de yemas, de brotes, flores y frutos jóvenes, debido a que provocan una excesiva evapotranspiración.

Los vientos ejercen una marcada influencia sobre la producción de los cítricos ya que influyen de manera negativa y variable dependiendo de la especie y variedad

Becerra (1963), encontró que la cosecha en plantas de limón protegidas con barreras rompe vientos fue de 710 y 285 frutos, mientras que sin ellos fue de 97 y 55 frutos

Morin (1980), menciona que fuera de la influencia de los vientos sobre la floración y la producción, también se debe tener presente el daño que ocasionan al desequilibrar la copa de los árboles los cuales se caen hacia el sotavento lado contrario a donde sopla el viento.

Los vientos fuertes pueden provocar desgajamiento de las ramas así como la pérdida de fruta, al mismo tiempo facilita la entrada de enfermedades fungosas en la planta (Guzmán 1997).

3.2.6 Intensidad luminosa

En cuanto a la intensidad luminosa no se puede considerar determinante pero si importante, ya que una excesiva intensidad durante periodos prolongados puede causar efectos negativos en las plantas especialmente si va asociado con altas temperaturas y baja humedad Gravina (1985).

La intensidad luminosa también es importante ya que en limon seguido de una poda de aclareo de ramas puede ayudar a mejorar la producción de frutos de color verde de manera homogénea y así evitar frutos amarillos por sombra. Así mismo, una importante intensidad luminosa asociada a altas temperaturas en el ambiente puede acelerar la maduración de los frutos (Guzmán 1997)

3.3 Suelo

Según Morin (1980), se puede indicar un tipo de suelo cuyas características permitan a la planta un máximo desarrollo y productividad Sin embargo, en la práctica rara vez se encuentran suelos que reúnan todas las cualidades, por lo que en la mayoría de los casos el citricultor adapta la plantación a las condiciones naturales del suelo que posee

Según investigaciones de la FAO (1975), las plantas de cítricos tienen un sistema de raíces poco profundas y por lo tanto tienen una capacidad de absorción de nutrientes baja, debido a su limitado número de pelos absorbentes. Necesitan suelos ricos y bien aireados, no siendo recomendables los suelos pesados que dificultan la llegada de las altas demandas de oxígeno.

Los cítricos presentan una gran adaptabilidad a distintos tipos de suelos por lo que puede aseverarse que no es un elemento limitante en su cultivo. Las propiedades físicas son las que adquieren mayor importancia especialmente la textura y estructura que determinan en última instancia la porosidad de un suelo, a través de los cuales se establece el movimiento de agua y aire. Gravina (1985).

3.3.1 Textura

Las principales áreas cítricas se ubican en suelos arenosos bien drenados, areno-limosos, limosos y arcillo-limosos, sobre todo los suelos arenosos y areno-limosos con buenas propiedades físicas son preferidos (Cohen, 1976; Cat, 1989).

Las mejores plantaciones de cítricos se realizan en suelos livianos, franco o franco-arenosos, profundos y sueltos en los que la capa de agua jamás se encuentra cercana a la superficie (Ayala, 1956).

Las tierras en cuya composición entran a formar parte los elementos gruesos (arena gruesa y fina) y los elementos finos (limo y arcilla) en partes aproximadamente iguales reúnen condiciones excelentes para el cultivo de los cítricos, en ella se compensan debidamente la acción de ambos grupos, dando lugar a la producción de fruta de buena calidad

En aquéllos suelos donde predominan las fracciones arcillosas se dificulta el desarrollo del sistema radical, y por lo general los árboles son de menor porte, los frutos son más pequeños, de piel más gruesa, menos jugosa, y el incremento de los ácidos es mayor que los azúcares por lo que la maduración es más tardía, ya que la relación azúcares-ácido tarda más en alcanzarse. Por esa razón, éstos suelos son más indicados para naranjas tardías y limoneros

En suelos de tipo arenoso, por el contrario desarrollan extensos sistemas radicales y árboles de mayor tamaño, frutos más grandes de cáscara delgada, mayor relación azúcar-ácido, por lo que los frutos maduran antes, (Gravina., 1985).

3.3.2 Profundidad

Las tierras que se dediquen al cultivo de los cítricos deben tener profundidad suficiente para que las raíces no encuentren obstáculos que impidan o dificulten su reparto y su desarrollo normal; generalmente se admite que la parte activa del sistema radical de los cítricos está situada entre la superficie del suelo y una profundidad de 1 y a 1.5 m. (Morín, 1980).

Rebour (1957) ,señala que la parte activa de las raíces de los cítricos se encuentra entre 0 y 1 m. de profundidad.

Las raíces deben tener un buen desarrollo para conseguir que las plantas proporcionen altos rendimientos, para esto es indispensable que el suelo disponga de buena profundidad efectiva y estar libre de obstáculos que puedan dificultar la expansión del sistema radical, tales como capas compactas, rocas y otros (Ayala 1966).

3.3.3 Permeabilidad

El cultivo de los cítricos debe evitarse en suelos de escasa permeabilidad, ya que la humedad excesiva es su principal enemigo (Morín, 1980).

La infiltración del suelo debe estar entre ciertos límites deseables, si es excesiva (caso de los suelos arenosos), el agua se filtra con gran rapidez y se pierde en el subsuelo sin ser aprovechado por las raíces

Rebour (1957), sugiere escoger suelos de permeabilidad media y considera como tales aquellos que presentan una infiltración de una altura de 0.10 a 0.20 m por hora durante el riego, señala además, que conviene que ésta altura de infiltración no sea menor de 0.05 m ni superior a los 0.40 m.

La permeabilidad de los suelos debe ser tal que permita la correcta absorción por parte del sistema radical y debe situarse entre 10 y 30 cm/hora; por debajo de 5 cm/hora no debe recomendarse el cultivo de los cítricos al igual que a más de 40 cm/hora (Gravina, 1985).

3.3.4 pH

En relación al pH los cítricos crecen bien en un intervalo de 4 a 9 (Chandler, 1958).

Jacob y Von Uexkul (1961), indican que el pH óptimo para los cítricos se encuentra entre 5.5 y 6.0, ya que entre dichos valores el fósforo y los microelementos más importantes presentan su mayor disponibilidad.

Smith (1966), indica que el crecimiento de las raíces de los cítricos se paraliza a un pH de 4.5 o menos y puede volver a desarrollarse a pH de 6.0. Cuando el pH baja a 3.0 o 3.5 puede haber una intoxicación que resulta letal para las raíces.

Cohen (1976), menciona que el Intervalo óptimo de pH para los cítricos es de 5.5 a 6.8.

Gravina (1985), menciona que el pH óptimo para los cítricos está situado entre 6 y 7, debiéndose tomar en cuenta que el pH extremo puede limitar la absorción de elementos minerales.

Morín (1980), menciona que los cítricos no son sensibles a la acidez moderada por consiguiente, al tratar el pH alrededor de 6.2 a 6.8 estaría relacionado con la disponibilidad de varios elementos nutritivos tales como el fósforo, nitrógeno, calcio, potasio, magnesio, sodio y molibdeno. Al mismo tiempo se mejoran las condiciones físicas del suelo como son la permeabilidad, aireación, velocidad de infiltración y la capacidad para retener la humedad.

3.4 Elementos nutritivos

Reitz *et al.* (1959), mencionan que las investigaciones demuestran que los cítricos para un buen desarrollo y producción requieren de 17 elementos químicos. De éstos, 14 deben venir del suelo o de la aplicación de sustancias químicas fertilizantes al suelo o al follaje y son: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), calcio (Ca), azufre (S), boro (B), hierro (Fe), cloro (Cl), molibdeno (Mo) y níquel (Ni). Los otros tres elementos carbono (C), hidrógeno (H), y oxígeno (O), son proporcionados por el aire y el agua. Uno más, el níquel, no se sabía que fuera esencial. Con estos 17 elementos y la luz del sol, la mayoría de las plantas son capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitan (Salisbury, 1992).

Hayes (1960), expresa que los árboles frutales al igual que otras plantas, requieren para su desarrollo un cierto número de minerales, la mayoría de los cuales se encuentran en suelos normales en adecuadas cantidades. Sin embargo, la cantidad soluble y disponible al árbol puede ser mucho menor.

Ziegler y Wolfe (1961), separan a los elementos químicos en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son aquellos elementos que necesita la planta en mayores cantidades, mientras que los micronutrientes se requieren en muy pequeñas cantidades, alrededor de una centésima o menos de las cantidades que se requieren de los macronutrientes.

Los macronutrientes son: nitrógeno, fósforo potasio, calcio, magnesio y azufre, y micronutrientes son los restantes elementos: hierro, zinc, boro, cobre, manganeso, cloro, molibdeno y níquel.

3.4.1 Funciones de los elementos nutritivos

La absorción de los elementos nutritivos por los árboles frutales se efectúa durante todo el año; sin embargo, es más intensa en los periodos de floración y desarrollo de la fruta. Las cantidades de nitrógeno y de potasio en la fruta se incrementan durante todo el ciclo de desarrollo hasta la maduración, en cambio el contenido de fósforo se incrementa durante el primer periodo de desarrollo para luego permanecer constante. Medina Urrutia, (1993).

3.4.2 Carbono, Hidrógeno y Oxígeno

Estos tres macronutrientes son absolutamente necesarios puesto que la estructura de todos los componentes orgánicos los contiene. La materia orgánica de los vegetales está compuesta principalmente por carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, las plantas por el fenómeno de la fotosíntesis utilizan la luz solar como fuente de energía produciendo los compuestos orgánicos a partir del bióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y el agua (H_2O) que extraen fundamentalmente con las raíces. Estos compuestos elaborados poseen en su composición carbono, hidrógeno y oxígeno constituyendo químicamente los hidratos de carbono.

El oxígeno junto con el hidrógeno forman la estructura del agua, cuyas funciones en las plantas es necesaria para realizar sus funciones. Además, la mayoría de los componentes orgánicos contienen oxígeno en su estructura, y por otra parte el oxígeno molecular es el que determina que se efectúe la respiración aeróbica celular, dando como resultado la gran producción de ATP, necesario para el crecimiento, (Grajales y Martínez, 1982).

3.4.3 Nitrógeno

Los suelos suelen ser más deficientes en nitrógeno que en cualquier otro elemento. De los suelos se absorben dos formas iónicas principales del nitrógeno: nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). La absorción de estos compuestos por los vegetales les permiten formar numerosos compuestos nitrogenados, sobre todo proteínas. Estiércol y plantas, microorganismos y animales muertos en descomposición son importantes fuentes de nitrógeno que regresa al suelo, si bien la mayor parte de este nitrógeno es insoluble o no está disponible de inmediato para que lo utilicen las plantas.

En los cítricos el nitrógeno tiene una influencia notable sobre el crecimiento, floración y producción (Batchelor y Webber, 1948).

El nitrógeno puede ser considerado como la piedra angular de la producción de las plantas, puesto que los niveles de disponibilidad de este elemento determina la producción. Como el nivel de nitrógeno es el más cercanamente relacionado con el crecimiento y la fructificación, determina un grado significativo de las necesidades de los otros elementos nutritivos (Ziegler y Wolfe, 1961).

El nitrógeno se aplica extensamente en áreas donde se cultivan cítricos comercialmente, no obstante, que éstos pueden crecer en muchas partes del mundo con la fertilidad natural de los suelos. Sin embargo, es necesario una buena fertilización con nitrógeno para conseguir altos rendimientos de fruta (Smith, 1966).

El nitrógeno puede ser utilizado por los cítricos con tal que no se encuentren en concentraciones demasiado altas, pues de lo contrario puede inducir síntomas de carencia de manganeso y perjudicar las raíces (Chapman, 1951).

La máxima movilización de nitrógeno ocurre durante la floración, cuando el elemento emigra a las hojas, a las flores, lo que se puede atribuir a que mientras la absorción del nitrógeno se mantiene a un ritmo normal, los árboles en el corto período primaveral tienen que atender a exigencias mayores de la floración y brotes que consumen cantidades importantes de este elemento (Smith y Reuther, 1954), (Smith, 1966)

Según Bryan (1957), la experiencia demuestra que la existencia de cantidades de nitrógeno asimilables en el suelo, antes y durante la floración, cuajado de fruto y comienzo de su desarrollo, y en menos cantidades en el verano y otoño, favorecen la producción y maduración.

Los árboles de alta producción pueden tolerar altas cantidades de nitrógeno sin sufrir ningún efecto nocivo, siempre que se les abastezca abundante y simultáneamente con fósforo y potasio. El nitrógeno parece ser particularmente importante en la época de floración y dentro de ciertas limitaciones el número de flores formadas está directamente relacionado con el nitrógeno del árbol, (Jacob, Uexkull y Campfer, 1963; Smith 1966)

Uexkull y Kampfer (1963), citan a Girard quien en estudios basados en análisis de hojas, determinó tres momentos de exigencias elevadas de nitrógeno: antes del comienzo del crecimiento primaveral y de la floración, inmediatamente después de la caída del excedente de la floración y al comienzo del otoño.

De acuerdo con Ziegler y Wolfe (1961), las plantas cítricas absorben nitrógeno todo el año. La cantidad de absorción en invierno es alrededor de la mitad de la de verano, pero como el lavado es mucho menor en invierno, se puede decir que las aplicaciones son más o menos efectivas tanto en una estación como en otra.

González (1963), indican que la cantidad de la reserva acumulada durante el verano y otoño es de enorme importancia, ya que de ella depende la floración y cosecha del año siguiente. Estos mismos autores dicen que la absorción de nitratos en los cítricos es mínima durante los meses de invierno y alcanza el máximo a fines de la primavera. Durante el Verano y principios del otoño, la absorción intensa de nitratos está relacionada con los periodos de actividad y desarrollo de la raíz.

La absorción de nitrógeno por las raíces puede ser muy rápida y parece que los árboles cítricos pueden tomar y guardar un gran suplemento de nitrógeno un corto periodo de tiempo, siendo éstas reservas guardadas en las hojas (Smith, 1966). Este mismo autor menciona que estudios relacionados con el momento de aplicación del nitrógeno, muestran que no hay marcada ventaja en algún plan específico concerniente al crecimiento de la planta y cosechas, pero parece ser recomendable que en huertos comerciales se usen programas de fertilización racionales consistentes año a año.

Se ha comprobado que el nitrógeno se desplaza de las hojas viejas a las jóvenes en estado de desarrollo, bajando el contenido de las primeras de un 25% a un 30%. A medida que las nuevas hojas envejecen, reintegran a la planta hasta el 56% del nitrógeno que ésta les proporcionó, y si las hojas se caen jóvenes (9 meses de edad) éstas no devuelven a la planta ningún elemento (Wallace *et al.*, 1954).

El nitrógeno que no absorben las plantas, dada su movilidad se pierde (Chapman, 1951).

Fletcher (1959) en Nueva Zelanda recomienda aplicar en los limones 0.9 a 1.1 kg por planta de nitrógeno.

Actualmente en la zona de Lincove California en suelos ácidos a los limoneros se les aplican 221 kg de nitrógeno (Ministerio de la Agricultura de Cuba, 1982).

Hernández (1980), estudiando el efecto de la aplicación de la dosis 108, 216 y 324 kg/ha de nitrógeno a plantas de lima persa en suelos ferralíticos rojos, obtuvo los mejores resultados con la aplicación de 216 kg/ha de este elemento, y considera que las dosis superiores pueden afectar la calidad de los frutos.

3.4.4 Fósforo

Después del nitrógeno, el fósforo es elemento que con mayor frecuencia resulta limitante en los suelos. Se absorbe sobre todo como el anión monovalente fosfato ($H_2PO_4^-$) y con menor rapidez como anión divalente (HPO_4^{2-}). El pH controla la abundancia relativa de estas dos formas, la forma monovalente es favorecido a un pH menor de 7 y la divalente lo es por encima de este valor Salisbury, 1992).

El fósforo tiene también un papel importante en la asimilación del nitrógeno nítrico y en la regulación del pH de las células (Smith, 1966).

Según del Rivero (1964), los fósforos ácidos pueden mejorar el desarrollo del sistema radical de los cítricos.

El fósforo en el suelo existe en formas orgánicas e inorgánicas procedentes de rocas madres y de las aportaciones naturales y artificiales, como residuos vegetales abonos orgánicos, fertilizantes y otros.

Las formas orgánicas no son tan fácilmente aprovechables como las inorgánicas y dentro de éstas son más asimilables las solubles en agua, aunque son rápidamente insolubilizadas después de su aplicación. El fósforo es absorbido por las plantas en forma de $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} (Smith, 1966).

El abonado con fósforo en árboles jóvenes de cítricos causaron un incremento en el rendimiento y en el contenido de jugos de los frutos. Este efecto del fósforo aventaja al del nitrógeno, y en los primeros estados de desarrollo, la influencia del abonado nitrogenado sólo se hace notoria cuando el nitrógeno se aplica junto con los abonos fosfatados. A medida que aumenta la edad de los árboles, el efecto de los fosfatos disminuye en tanto que aumenta el del nitrógeno (Kampfer, 1963).

Coincidiendo con lo anterior Smith, (1966) recomienda disminuir la dosis de fósforo a medida que aumenta la edad de los árboles, pues de otro modo el ácido fosfórico puede tender a la producción de frutos arrugados.

Los árboles jóvenes, de rápido crecimiento, producen normalmente frutos toscos de baja calidad, pero a la edad de 8 a 10 años se producen frutos normales y entonces el efecto del nutriente pasa a ser el opuesto.

Ziegler y Wolfe (1961), indican que el fósforo es absorbido por los cítricos a un ritmo de 10 veces mayor durante el verano y primera parte del otoño, que durante el invierno y principios de primavera.

Smith (1966), encontró que los naranjos jóvenes cultivados en arena muestran gran reducción en la absorción del fósforo en invierno, siempre que los árboles tomen una considerable cantidad de nitrógeno en ese tiempo.

El fósforo es movable dentro de la planta y puede haber una traslocación de este, de las hojas viejas a los nuevos brotes y de las hojas a los fruto en desarrollo (Chapman, 1951).

Chandler (1958), asevera que el fósforo se desplaza fácilmente desde los órganos como las hojas, a aquellos en donde tiene lugar la división celular y el crecimiento, a pesar de su importante papel, los árboles utilizan menos de una décima de fósforo que de nitrógeno y mucho menos que de potasio

En los cítricos, un 57% del fósforo se encuentra en el tronco y las ramas, un 9% se encuentra en las hojas y brotes, y el resto en los frutos. Es más abundante en la parte externa de la corteza, y en los frutos aumenta su contenido con mayor rapidez en la última parte de su actividad vegetativa (Jacob y Uexkull, 1960).

El manejo del suelo y otras prácticas que influyen en la absorción del fósforo son: la humedad del suelo (la utilización del fósforo puede ser reducida por la disminución de la humedad del suelo, una adecuada humedad debe ir junto con la aplicación del fertilizante para que el uso del fósforo sea eficiente), la temperatura del suelo (el fósforo es menos soluble o quizás las plantas son menos hábiles para extraer el fósforo bajo condiciones de temperatura fría del suelo); acidificación (en suelos calcáreos la solubilización del fósforo puede ser incrementada por la acidificación del suelo, muchas veces un incremento de la solubilización se ha notado en el uso del sulfato de amonio), estiércol o materiales orgánicos (añadiendo al fósforo estos materiales tienen un efecto favorable en la solubilidad del fósforo (Bigham, 1966)

Los principales elementos responsables de la fijación o insolubilización del fósforo son el calcio, hierro y aluminio. En los suelos ácidos la fijación tiene lugar como fosfatos de hierro y aluminio, prácticamente no asimilables por las plantas (del Rivero, 1964).

Según Bryan (1961), los fosfatos se lixivian muy poco, mucho menos que el nitrógeno, incluso en los suelos arenosos, por lo que aplicaciones continuas resultan en una acumulación de este material

Las respuestas a las aplicaciones fosfóricas en los cítricos se refleja con un aumento en los rendimientos (Aldrich y Coony, 1951) en el limón Eureka con la utilización de 1.9 kg de fósforo por árbol, lo que eleva simultáneamente los contenidos de fósforo en los tejidos foliares en un rango deficiente de 0.06, 0.08 a 0.16.

Embleton *et al.* (1957) en la zona de California con la aplicación de 1.45 a 1.81 kg de superfosfato triple por árbol de limonero encontraron igualmente un incremento en los rendimientos. Con la utilización de 1.91 kg por árbol por año según Rodney y Sharples (1961) se aumentaron los rendimientos en 10 - 28% de una plantación joven de limón Lisbón en suelos arenosos de Arizona, estos autores comprobaron que los árboles respondieron a las aplicaciones de nitrógeno sólo cuando se hicieron en presencia de aplicaciones de fósforo.

Hernández *et al.* (1983) en trabajos realizados en lima persa sobre suelos ferralíticos rojos señaló efectos negativos en la supresión de la fertilización fosfórica sobre la cuantía y la calidad de la cosecha solamente a los siete años de haber sido suprimido el fósforo en la fertilización anual.

Cuando se aplica demasiado nitrógeno con respecto al fósforo, los árboles absorben más nitrógeno y relativamente menos fósforo y reciprocamente, de forma que éstos elementos se contrarrestan mutuamente (Campfer, 1963).

El nivel de fósforo en el suelo tiene efectos sobre los metales pesados en la nutrición de los cítricos. Clorosis de hierro y deficiencias de zinc y cobre han sido asociadas con una fuerte fertilización de fósforo (Kampfer, 1963)

Embleton *et al.* (1967), utilizaron en la fertilización de limonero superfosfato triple combinado con sulfato de potasio y encontraron efectos positivos en la producción

Aldrich y Coony (1951), consideran que si bien en la naranja no se presentan síntomas de deficiencias de fósforo, en los limoneros se observan las deficiencias y las plantas responden favorablemente a la fertilización fosfórica, aumentando los rendimientos

3.4.5 Potasio

Después de la deficiencia de nitrógeno y la de fósforo, la deficiencia más común en los suelos es la de potasio. Este elemento es un activador de muchas enzimas que son esenciales en la fotosíntesis y la respiración, además de que activa enzimas necesarias para formar almidón y proteínas (Bhandal y Malik, 1988) citados por Salisbury (1992)

El potasio facilita la absorción y el transporte de agua por las plantas, de manera que los cítricos faltos de potasio tienen una menor resistencia a la sequía (González, 1963 y Smith, 1966)

El potasio se encuentra en los cítricos formando parte de las raíces en un 37%, en el tronco y ramas principales en un 21%, en las hojas en un 20%, en los frutos maduros en un 7% y el resto en las brotaciones jóvenes y ramas (del Rivero, 1964).

La absorción del potasio es máxima de primavera a otoño y las hojas pueden perder hasta un 60% del potasio que contienen hacia el otoño, sin que se restablezca este nivel en invierno. Lo anterior se atribuye a que debido a su movilidad el potasio es utilizado por los frutos para su maduración, también a que se acumula en cierta proporción en la madera y a que el potasio es poco absorbido por los cítricos en invierno (Smith, 1966)

A causa de la movilidad del potasio durante el rebrote y la floración, el elemento se traslada de las hojas viejas a las jóvenes, al igual que el nitrógeno y el fósforo (del Rivero, 1964)

Prácticamente no hay absorción de potasio por los árboles cítricos durante el tiempo frío, pero el elemento es rápidamente guardado para el uso futuro de los árboles (Ziegler y Wolfe, 1961)

Según Macher citado por Jacob y Uexkull, (1963) hay dos periodos críticos en el año: en la primavera cuando el árbol debe alimentar con rapidez las flores y su nuevo brote y en el otoño, cuando se requieren importantes cantidades de nutrientes para el crecimiento de los frutos y su última formación de brotes.

Smith (1966), señala que los árboles jóvenes siguen tomando potasio en invierno, pero en mucho menor cantidad que en verano, y que los árboles viejos absorben potasio en cantidades muy pequeñas en invierno

Según Kampfer (1963), una elevada exigencia en potasio se registra en los siguientes periodos: al término de la floración, a la caída de los frutos, y a la maduración de los frutos. Así mismo, son mayores las necesidades de potasio cuando hay una escasa intensidad luminosa, pero no existen momentos extremos de demanda tan manifiestos como los de nitrógeno ya que el potasio está en constante acumulación en el fruto.

Según Chapman (1964), la fruta puede ser afectada por el nivel de potasio en la planta.

Parker y Jones (1951), encontraron que la aplicación de potasio incrementó el tamaño de la fruta, siempre que se aplicara el fertilizante potasio con una fuente inorgánica de nitrógeno.

El potasio influye en la cantidad de cosecha que dan las plantas, debido principalmente al incremento del tamaño del fruto y con muy pocas excepciones su aplicación causa un ligero incremento en el número de frutos (Chapman, 1964).

Además, el potasio incrementa no sólo el tamaño de las frutas de naranjas y limones, sino que también existe incremento en el grosor y tosquedad de la piel, lo anterior puede causar una disminución en la tendencia de arrugamiento e hinchado de la fruta y también en la conservación de la fruta cosechada. El mismo autor señala que a medida que aumenta el tamaño, espesor y tosquedad de la fruta por incremento del potasio, su maduración y su coloración se atrasan y existe un ligero incremento en la acidez de la fruta. Si el potasio es demasiado alto, puede haber una seria disminución en el jugo y en los sólidos totales.

3.4.6 Calcio

El calcio se absorbe en forma de (Ca^{2+}) divalente. La mayoría de los suelos contienen el suficiente calcio para permitir un crecimiento vegetal adecuado, aunque los suelos ácidos con lluvias abundantes a menudo se ven fertilizados con limo (una mezcla de CaO y $CaCO_3$) que eleva el pH (Salisbury, 1992).

El contenido de los cítricos es bastante grande siendo el principal componente de las cenizas de cualquiera de sus partes; el óxido de calcio en las hojas representa 1/3 del total de las cenizas y del 3 al 5% de la materia seca, las hojas contienen alrededor del 14% de calcio total contenido en la planta, el tronco y las ramas un 60% y las raíces el restante 26% (Chandler, 1958; González, 1963; del Rivero, 1964)

González, (1963), indica que el calcio además de servir como alimento a las plantas, realiza en el suelo una serie de acciones: mejora la estructura del suelo dándole mayor permeabilidad y favorece el laboreo del mismo, favorece la oxidación del humus y la nitrificación, pone en libertad directa o indirectamente alimentos para las plantas, moviliza el potasio que está en forma de silicato, retiene el fósforo, actúa sobre el pH del suelo, modifica la composición de la vegetación espontánea enriqueciéndola en leguminosas y otros. Además señalan que el efecto del calcio sobre los frutos es el de adelantar la madurez, mejorar el color del mismo así como su textura, y calidad. del Rivero (1964), ratifica los efectos anteriores y agrega que mejora su calidad y coloración.

Bryan (1961), indica que un encalado racional es el secreto de la fertilidad del suelo en la mayor parte de las zonas. El calcio desempeña numerosas funciones en el suelo, tanto desde el punto de vista físico, al actuar como enmienda, como el químico al influir en el pH. Entre todos los elementos del suelo, el calcio parece tener el mayor efecto de control y balance. en los suelo fértiles el calcio representa más del 50% de las bases activas y está unido en forma, intercambiable a los coloides, arcilla y humus. Las pérdidas por lixiviación significan siempre una disminución de fertilidad.

El calcio tiene antagonismo con el potasio, de forma que su exceso puede inducir una deficiencia de potasio (del Rivero, 1964).

Las adiciones de carbonato de calcio en suelos ácidos puede incrementar la fijación de potasio y por eso la fertilización con cal o potasio nunca incrementan las cosechas, aún cuando aplicados juntos dan buenos resultados (Chapman, 1966).

La deficiencia de calcio provoca la acumulación de hidratos de carbono, reducción de la capacidad de almacenar nitrógeno y excesiva acumulación de potasio. Así mismo, algunos síntomas de deficiencia de calcio son : árboles endurecidos y poco desarrollados, desarrollo lento de raíces, las que son más débiles y cortas de consistencia gelatinosa y se pudren fácilmente. Los árboles tienen ligero crecimiento y existe una disminución en la formación de hojas, éstas son pequeñas y se amarillean con una clorosis típica que afecta a los márgenes y nervaduras, en las partes descoloridas se desarrollan pequeñas manchas necróticas. Esta clorosis progresa hacia el centro de la hoja y la base, a menudo las hojas no llegan a desarrollarse completamente, teniendo el ápice romo y toman un aspecto de corazón. La caída prematura de las hojas provoca el desarrollo de otras nuevas, que también caen con anticipación (Bryan, 1961, González, 1963, Campfer, 1963, del Rivero, 1964; Chandler, 1958; Chapman *et al.* 1966).

3.4.7 Azufre

El azufre se absorbe del suelo como aniones de sulfato divalente (SO_4^{2-}). Al parecer es metabolizado por las raíces sólo hasta el grado en que se requiere; el exceso de sulfato se transporta sin cambio hacia las partes aéreas en el xilema. Debido a que hay suficiente sulfato en la mayoría de los suelos, las plantas con deficiencia de azufre son poco comunes (Salisbury, 1992).

La mayor parte del azufre en las plantas se encuentra en las proteínas, específicamente en los aminoácidos cisteína y metionina, los cuales son constituyentes de las proteínas. Otros compuestos esenciales que contienen azufre son las vitaminas tiamina y biotina, así como la coenzima A, un compuesto esencial para la respiración y para la síntesis y degradación de ácidos grasos (Salisbury, 1992).

Las deficiencias de azufre en las plantas se manifiesta por una clorosis uniforme. (Cátedra de Bioquímica y Química Agrícola, 1979).

La carencia de azufre en los cítricos se manifiesta por el amarillamiento en las nuevas brotaciones, muy semejante a la carencia de nitrógeno. Sin embargo, se diferencia por que la deficiencia de nitrógeno ocurre en otoño e invierno, mientras que la de azufre en primavera. En muchas hojas el nervio central se vuelve más amarillo que el resto de la hoja. Estas hojas toman gradualmente una coloración bronceada y se vuelven espesas y sin lustre. Las nuevas brotaciones son más amarillas, las hojas más reducidas y al tendencia a que con el tiempo caluroso se presenten quemaduras en la punta y otras partes de las hojas cloróticas que se desprenden hacia el mes de septiembre, defoliación que produce la desecación de los brotes, y que tiende a progresar hacia abajo a lo largo de las ramas afectadas. Las frutas en muchos casos están arrugadas y adquieren un color pálido, hay disminución de la cantidad de zumo y la cáscara gruesa en la mayoría de los casos y, a veces, reducción de tamaño, aunque generalmente los frutos alcanzan el normal.

González, (1963), explica que los árboles tratados con azufre producen mayor cantidad de frutos y de mejor calidad. Además estimula el fruto y acelera la maduración.

3.4.8 Magnesio

El magnesio se absorbe como ión divalente (Mg^{2+}). El magnesio casi nunca es un factor limitante del suelo para el crecimiento vegetal. Además de su presencia en la clorofila, el magnesio es esencial por que se combina con el ATP (permitiendo que participe en muchas reacciones), por que activa muchas enzimas necesarias en fotosíntesis, respiración y formación de DNA y RNA (Salisbury, 1992)

Aproximadamente la mitad del magnesio contenido en el árbol se encuentra en tronco y ramas, y un tercio en las raíces, el resto en las hojas, pero al brotar y fructificar la planta se produce una migración significativa hacia los brotes y frutos. El magnesio como el potasio y a diferencia del calcio, es muy móvil en el árbol. Su desplazamiento es de las hojas a los frutos, pero especialmente a los frutos con semillas, y determina deficiencias en las hojas. Los cítricos contienen menos magnesio que calcio pero presentan con mayor frecuencia deficiencia de magnesio (Chandler, 1958).

El magnesio al igual que los otros elementos mayores se absorbe más en los meses calurosos de veranos que en el otoño y es prácticamente nulo en los meses fríos, durante el invierno (Ziegler y Wolfe, 1961).

Las pérdidas de magnesio son principalmente por lixiviación, la acidez del suelo también causa la pérdida de magnesio y puede haber dificultad por parte de la planta para su absorción. La aplicación de fertilizantes acidificantes que contienen cationes que interfieren con el magnesio en el mecanismo de cambio de bases, son también causa de pérdida de magnesio. También el magnesio influye sobre las propiedades físicas del suelo, disminuye la permeabilidad, retrasa la subida del agua por capilaridad, aumenta el fraccionamiento o incrementa su capacidad de absorción y la humedad del mismo (del Rivero, 1964)

Según Kampfer (1963), las deficiencias de magnesio se ven favorecidas por las siguientes causas: al descomponerse los minerales del suelo que contienen magnesio, el magnesio que pasa a la solución en forma iónica queda expuesto al lavado del suelo, a consecuencia de la elevada solubilidad de sus combinaciones, en los suelos arenosos y turbosos donde aparece preferentemente la deficiencia de magnesio en los suelos arenosos con escaso poder de absorción, las pérdidas por lixiviación son especialmente altas; las condiciones de humedad existentes en el suelo; el efecto positivo de un abono con magnesio, depende mucho más que de él de cualquier otro nutriente principal, de la relación del magnesio con determinados aniones o cationes, es decir, de sus interacciones

Las deficiencias de magnesio se manifiestan acompañadas de una serie de características, algunas son: clorosis en las hojas sobre todo en hojas maduras de árboles fuertemente cargados y en las ramas con mucha fruta, y es más notoria al final del verano y en el otoño, como las ramas afectadas por la deficiencia se caen, las ramas defoliadas se secan de la punta hacia la base. Así mismo, la fruta se ve afectada por una reducción de su tamaño. También disminuye el espesor de la piel, suaviza la textura de la corteza y disminuye los azúcares, sólidos solubles, acidez total y vitamina C. La deficiencia de magnesio reduce la cosecha y produce alternancia en la producción (Chapot, 1964; Bryan, 1961, González, 1963, del Rivero, 1964, Chandler, 1958, Embleton, 1966; Reitz *et al.* 1959)

3.4.9 Zinc

El zinc se absorbe como (Zn^{2+}), quizá a menudo a partir de quelatos de zinc. Este elemento participa en la formación de la clorofila o impide su destrucción. Al parecer también se le requiere para la producción de una hormona del crecimiento que se conoce como ácido indolacético (auxina) (Salisbury, 1992).

El zinc junto con el cobre forman un par de catalizadores coordinados y facilitan las reacciones que suponen una transformación de hidrógeno, pero son antagónicos entre sí, el exceso de fósforo puede producir deficiencia de zinc, Chapman (1966), atribuida a la formación de fosfato de zinc poco soluble.

El cobre reduce la absorción del zinc, Kampfer (1963), una deficiencia de magnesio también puede inducir una deficiencia de zinc, (Bryan, 1961), un exceso de potasio puede inducir una deficiencia de zinc. Un exceso de zinc puede provocar una deficiencia de hierro en la hojas (Chapman, 1966).

La deficiencia de zinc ocurre mas severamente en los suelos arenosos y arcillo-arenosos de reacción ácida a neutral. Los árboles que se encuentran en áreas que anteriormente se usaron como corrales de ganados usualmente muestran síntomas de deficiencias severas independientemente del tipo de suelo.

Ha sido demostrado que los excesos de fosfatos o nitrógeno inducen o incrementan la deficiencia de zinc.

Los huertos que reciben grandes y frecuentes aportes de estiércol de aves de corral a menudo muestran síntomas de deficiencia. Esta insuficiencia puede causar reducción en el vigor del árbol, baja producción, tamaño pequeño de la fruta y baja calidad de la misma

Los síntomas leves de deficiencia pueden tener ligeros efectos sobre la producción en naranjas, pero los rendimientos en limones pueden reducirse aunque los síntomas no sean visibles

El zinc no se trasloca a brotes de crecimiento sucesivos cuando los árboles están creciendo en suelos que no suministran de manera suficiente este elemento.

El zinc es absorbido por las hojas de los cítricos en cualquier época del año.

Bryan (1961), dice que los frutos de árboles deficientes en zinc son pequeños y de pobre calidad, y en los casos agudos son muy pequeños y la pulpa es estropajosa. Chapman (1966), añade que además son pobres en ácidos y en vitamina C en todos los casos

Los síntomas de deficiencia temprana de zinc en los cítricos es el moteado de la hoja. El síntoma típico consiste en que los nervios principales y el nervio central de la hoja se mantienen verdes junto a una faja paralela a los mismos, el resto de la superficie foliar entre los nervios toma un tinte verde amarillento, hasta producir un contraste muy grande entre las zonas verdes y amarillas, que es característica de ésta deficiencia

Estos mismos autores señalan que en los primeros estados de deficiencia los síntomas foliares pueden aparecer en las hojas sin afectar su tamaño normal. A medida que la deficiencia avanza, las nuevas hojas son pequeña estrechas y puntiagudas con una pérdida de clorofila muy grande y los brotes toman una forma de roseta (Bryan, 1961, Chapot, 1964; Chapman, 1966; del Rivero, 1968), el avance de la deficiencia lleva consigo un debilitamiento del árbol. Las ramas debilitadas comienzan a secarse a partir de las puntas después de su defoliación lo que determina una detención en el desarrollo de la planta.

3.4.10 Manganeso

El manganeso existe entres formas de oxidación (Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+}) en forma de óxidos insolubles en el suelo, y también existe como quelato. Se absorbe sobre todo como el catión manganeso divalente (Mn^{2+}), después de que ha sido liberado de algún quelato o de una reducción de oxidos de valencia superior en la superficie de la raíz. El manganeso tiene efecto sobre las membranas tilacoidales y tiene una función estructural en el sistema de membranas del cloroplasto y que una de sus participaciones importantes es, como en el caso del cloro, en la disociación fotosintética de la molécula de H_2O . El ión Mn^{2+} también activa numerosas enzimas (Salisbury, 1992)

Del Rivero (1968), señala que el manganeso en el suelo está gobernado por el pH del mismo, y debajo del pH 5.5 según Chapman (1968), predomina en forma intercambiable y en forma soluble en el agua, pero encima de este pH se presenta como óxidos trivalentes o tetravalentes. Es conocido que encima de pH 6.5 los óxidos de manganeso son altamente insolubles. González, (1963), señala que el manganeso es insoluble en suelos cuyo pH sea superior a 7.

Wallace (1961), es de la opinión que el pH elevado y la materia orgánica son factores importantes en la movilización del manganeso en el suelo, condición que es favorecida por la humedad del mismo.

Bryan (1961), señala que las cosechas abundantes pueden agotar las disponibilidades de manganeso en el suelo, pero que en la mayoría de los casos la deficiencia de este elemento resulta en ciertas condiciones desfavorables en el suelo.

Existen varias interacciones del manganeso con otros elementos, que intervienen en la nutrición de los cítricos, que pueden impedir o facilitar su absorción. Chapman, Brown y Rayner, citados por del Rivero(1968) han apreciado que en los cítricos la deficiencia de fósforo puede afectar desfavorablemente la asimilación de manganeso en los suelos alcalinos, y creen que puede atribuirse a que la falta de fósforo disminuye el desarrollo radical y la respiración de las raíces, lo que dificulta que la planta pueda disolver la cantidad de manganeso necesaria en los compuestos que lo contienen en forma más o menos asimilable en las condiciones alcalinas prevalecientes en dichos suelos.

Los mismos autores han estudiado que el exceso de potasio, junto con un bajo contenido de calcio pueden ocasionar deficiencia de manganeso.

Chapman (1968), dice que el ión amonio puede, bajo ciertas condiciones, producir deficiencia de manganeso. Así mismo, el exceso de manganeso puede producir deficiencia de potasio

Según Chapman, Brown y Rayner citados por del Rivero (1968), la deficiencia de manganeso se manifiesta con mayor intensidad en la primavera, especialmente en el rebrote, disminuyendo los síntomas a medida que avanza la estación. Según Russo y Roceti, citador por el mismo autor, en Italia la deficiencia de manganeso es más visible en otoño y se manifiesta mejor en las hojas viejas, las cuales tienden a desprenderse al final del otoño y en el invierno.

Jacob y Uexkull (1961), y del Rivero (1968), afirman que las hojas con síntomas de manganeso se encuentran con mayor frecuencia en la parte norte del árbol y también la más sombreada.

Reitz (1958), Bryan (1961) y González (1968), mencionan los síntomas de deficiencias de manganeso de la siguiente manera: las hojas jóvenes tienen una fina red de venas verdes con un fondo más pálido. Cuando la hoja madura, la deficiencia mediana de manganeso produce bandas de color verde en las cuales el centro de la banda es la nervadura, esto se produce tanto en el nervio principal como en los laterales y el área entre estas bandas es de color verde pálido. Si la deficiencia aumenta, las hojas toman un color mate y las bandas de color verde a lo largo de los nervios se hace más estrecha. De una deficiencia extrema toda la hoja toma un color amarillento y sólo las nervaduras toman un color verde.

Chapman y Kelly (1963), consideran que puede haber reducción en la cosecha bajo deficiencias suaves o extremas, pero no hay una reducción en el tamaño de los frutos.

Chapman (1968), señala que los síntomas se producen comúnmente en los cítricos por exceso en las aplicaciones al suelo o foliares.

Reitz (1958), señala que la deficiencia de manganeso puede ser corregida mediante aplicaciones del elemento al suelo en terrenos ácidos y aplicaciones foliares en terrenos alcalinos.

3.4.11 Hierro

La forma asimilable de hierro es Fe^{2+} , parece que tiene relación con dos o tres enzimas que catalizan ciertas reacciones de la síntesis de clorofila. Una forma estable y abundante se almacena en los cloroplastos en forma de un complejo hierro-proteína denominado *fitoferritina* (Seckback, 1982) citado por (Salisbury, 1992)

El hierro es esencial debido a que forma parte de ciertas enzimas y numerosas proteínas que acarrear electrones durante la fotosíntesis y la respiración. Experimenta oxidación y reducción alternas, entre los estados Fe^{2+} y Fe^{3+} cuando actúa como portador de electrones en las proteínas (Salisbury, 1992).

Según Wallace (1961), la movilidad del hierro parece estar influenciada por varios factores, como el elevado contenido de fósforo, deficiencia de potasio, cantidad de manganeso y fuerte intensidad lumínica.

Del Río (1968), indica que generalmente en el suelo existen cantidades suficientes de hierro formando compuestos variables, entre los que destacan los óxidos por ser responsables en gran parte de los colores rojos y pardos de las tierras.

El hierro se encuentra en los suelos en forma de óxidos, carbonatos y otras sales y casi siempre la cantidad del mismo es suficiente para las necesidades de las plantas, aunque no siempre se encuentre en forma asimilable (Wallace 1961)

Kampfer (1963), señala que los cítricos se vuelven cloróticos cuando el contenido de cobre en el suelo, con pH 5 o menos, sobrepasa la cantidad de 150 ppm, además encontró que en un suelo ácido con una capacidad de cambio de 4 a 6 miliequivalentes y contenido de cobre de 50 a 100 ppm aparecieron síntomas de deficiencia de hierro.

Chapman (1968), encontró que bajo condiciones neutras o alcalinas un alto nivel de fósforo puede, en algunas ocasiones, producir clorosis de hierro

Del Rivero (1968), indica que la deficiencia de hierro puede ser absoluta por carencia del elemento en el suelo y relativa o inducida por que el elemento no se encuentra asimilable para la planta. La deficiencia de hierro no es corriente en los suelos ácidos, pero también se da en ellos, caso de los suelos arenosos de Florida. El hierro posee una baja capacidad de traslocación en la planta, lo cual motiva la aparición de los primeros síntomas de deficiencia en los brotes jóvenes. Sus hojas permanecen pequeñas denotando una coloración amarillo pálida.

Chapman (1968), menciona que las hojas nuevas son las primeras afectadas y la clorosis se agrava progresivamente a medida que suceden menos ciclos vegetativos. Los síntomas foliares son más frecuentes en la parte sur de los árboles afectados. La desecación de las ramas por el ápice lleva consigo una reducción del tamaño del árbol.

Según Chapman, Brown y Rayner citados por del Rivero (1968), la deficiencia de hierro se manifiesta más en invierno y primavera que en verano y otoño. Esto se debe a que en esos meses la temperatura es más baja y las raíces respiran mejor y son menos capaces de disolver y absorber el hierro del suelo.

Chapman (1968), indica que dentro de un mismo huerto, los árboles viejos acusan más fuertemente la clorosis que los árboles jóvenes. Además señala que los limones son más propensos a la clorosis férrica.

Los árboles cloróticos revelan la incapacidad para madurar los frutos que han cuajado, muchos de los cuales caen en un estado temprano y los que desarrollan son de menor tamaño, de baja calidad, de un color amarillento, y con frecuencia su jugo posee menor proporción de materia seca soluble y con mayor acidez (Bryan 1961, Chapman, *et al.*, 1968).

3.4.12 Cobre

El cobre se absorbe como ión cúprico Cu^{2+} divalente en suelos aireados y como ión cuproso monovalente en suelos húmedos con poco oxígeno. El cobre está presente en diversas enzimas o proteínas implicadas en los procesos de oxidación y reducción. Dos ejemplos notables son la *citocromo oxidasa*, una enzima respiratoria que se halla en las mitocondrias, y la *plastocianina*, una proteína de los cloroplastos (Salisbury, 1992).

Labanauskas, Jones y Emblenton (1966), señala que el cobre en las hojas disminuye durante la floración, aumenta en el verano y desciende en el invierno hasta la nueva floración. A medida que las hojas envejecen disminuye su contenido de cobre. El mismo autor señala que las hojas de los cítricos contienen el cobre en pequeña cantidad y el elemento es muy móvil durante el rebrote de primavera.

El cobre como los demás elementos, está sujeto a ciertas relaciones con otros elementos, que se influyen mutuamente: el exceso de fósforo hace bajar el contenido de cobre en la hoja de los cítricos; la cal inmoviliza el cobre, pudiendo producir deficiencia de este elemento; un incremento en el contenido de nitratos puede originar una deficiencia de cobre; un exceso de cobre induce a la deficiencia de hierro.

La deficiencia de cobre según Reitz (1958), se produce por falta de este elemento en el suelo, en forma asimilable. El mismo autor señala que aunque la deficiencia de cobre ocurre en muchos tipos de suelos, es más marcada en las tierras nuevas y en los suelos que se mantienen limpios a base de muchos cultivos. Suelos con alto contenido de humus necesitan más cobre que aquellos con bajo contenido de humus.

Reuther y Labanauskas (1966), señalan que las causas y las prácticas culturales que más frecuentemente inciden en la deficiencia de cobre son: suelos turbosos, suelos calizos y alcalinos, especialmente los arenosos, arenas calizas, suelos ácidos y lavados, riegos con agua alcalina, exceso de abono nitrogenado, exceso de abono orgánico y acumulación de fósforo en el suelo.

Del Rivero (1968), señala que los síntomas de deficiencia generalmente aparecen primero en los frutos, luego en las ramas y finalmente en las hojas; en casos de deficiencias ligeras es posible que los síntomas queden reducidos a los frutos exclusivamente.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Según Reitz (1958), los síntomas de deficiencia en las hojas se notan cuando éstas adquieren una coloración verde oscuro, un tamaño exagerado de las hojas que aumenta su espesor, similar al causado por la aplicación de nitrógeno. Un síntoma temprano de la deficiencia es una vegetación exuberante de tallos blandos angulosos en forma de S.

La deficiencia aguda va acompañada de una floración intensa en primavera y de gran cuajado de frutos, pero la mayor parte cae luego en el verano. Los frutos tienen un color verde pálido y se rajan y agrietan en el plano ecuatorial, generalmente por un crecimiento desigual a causa del obstáculo que representa la incrustación de goma irregularmente distribuida en la corteza de los frutos. Los frutos que quedan tienen corteza gruesa, son irregulares, tienen menor tamaño, muy poco jugo y éste es poco ácido.

-

La toxicidad del cobre en el suelo por acumulación independientemente de su origen, está en función del pH, capacidad de cambio de bases del suelo, materia orgánica y cal.

Bryan (1961), comprobó que la toxicidad del cobre causa daños en las raíces, falta de vigor y desarrollo de los árboles y una baja producción, además de otros síntomas típicos de exceso como agrietamiento de la corteza, engomado, defoliación y en los casos más graves incluso la muerte del árbol.

3.4.13 Boro

El boro es absorbido en los suelos casi por completo como ácido bórico sin disociar H_3BO_3 , representado con mayor exactitud como $B(OH)_3$. Las funciones del boro no se han identificado con seguridad pero hay evidencia que señala hacia una participación especial del boro en la síntesis de ácidos nucleicos, tan esencial para la división celular en los meristemas apicales (Salisbury, 1992).

Del Rivero (1964), manifiesta que el principal lugar de acumulación de boro en los cítricos es en las hojas.

El boro según González (1963), se encuentra en el suelo formando parte de algunos silicatos, y son poco conocidas las transformaciones que experimenta en la tierra, siendo varios los factores como el pH, la cantidad de coloides, la materia orgánica, la cal y otros, los que determinan su solubilidad.

Bryan (1961), indica que los suelos ácidos en las regiones húmedas, frecuentemente presentan deficiencia de boro. Pero la deficiencia de boro puede ocurrir en cualquier tipo de suelo.

En un cultivo de cítricos en suelo arenoso con una solución nutritiva en la cual sólo se varió la concentración de boro se encontraron: que cuando aumenta el boro en la solución, aumenta el boro en las hojas; cuando el boro bajaba el fósforo aumentaba, cuando el boro suministrado fue bajo, la acumulación de potasio en la hoja se retardó y la del magnesio se acentuó, el nivel de acumulación del calcio disminuyó con un nivel de boro alto; el nitrógeno, manganeso, cobre, zinc y hierro no tuvieron ninguna variación

Bradford (1966), indica que la deficiencia de boro desarrolla una degeneración del tejido meristemático, incluyendo el cambium, la rotura de las paredes de las células del parénquima y un débil desarrollo del tejido vascular. El xilema y el floema desarrollan en forma imperfecta, hay hipertrofia en las paredes de las células y decoloración que frecuentemente proceden a la desintegración de la célula. Estos síntomas internos son acompañados por los siguientes síntomas externos: el crecimiento terminal presenta un enrosetamiento, muerte, decoloración, falla del brote terminal y estimulación del desarrollo de las yemas laterales, las cuales pueden desarrollar bien o morir; las hojas muestran varias anomalías tales como engrosamiento, fragilidad, enroscamiento, arrugamiento, marchitamiento y puntos cloróticos; en los frutos, la parte carnosa puede mostrar manchas oscuras, necrosis, roturas, pudrición seca o húmeda o puede mostrar decoloración en el sistema vascular.

Según Chapman (1968), como síntomas tempranos de una deficiencia de boro se pueden considerar, cosechas bajas, anormal caída de fruta joven con decoloración. Los síntomas según este mismo autor, aparecen primero en la primavera, siguiendo a varios meses de sequía.

3.4.14 Molibdeno

El molibdeno existe en los suelos en gran medida como sales de molibdeno (MoO_4^{2-}) y como MoS_2 . En la primera forma, el molibdeno existe en el estado redox (valencia) de Mo^{6+} , pero en las sales de sulfito se presenta como Mo^{4+} . La función mejor documentada del molibdeno en vegetales es como parte de la enzima *nitrato reductasa*, que reduce iones nitrato a iones nitrito, pero también puede participar en la degradación de purinas tales como adenina y guanina, debido a su esencialidad como parte de la enzima *xantina deshidrogenasa* (Mendel y Muller, 1976; Pérez Vicente *et al.*, 1988) citados por Salisbury, 1992). Una tercera función probable para el molibdeno es como parte estructural esencial de una oxidasa que convierte el aldehído del ácido abscísico en la hormona ABA (Walker-Simmons *et al.*, 1989) citado por Salisbury, (1992).

En los suelos el contenido del molibdeno suele ser de unas 2 ppm. A valores de pH comprendidos entre 5 y 6, la solubilidad de este elemento de este elemento aumenta por tanto, el encalado soluciona muchas de las deficiencias de molibdeno (Cátedra de Bioquímica y Química Agrícola, 1979).

Los síntomas de deficiencia empiezan a manifestarse a principios de verano como zonas embebidas en agua sobre hojas de la brotación de primavera que luego durante el verano y principios del otoño evolucionan a manchas amarillas de aspecto brillante, circulares o elípticas situadas entre los nervios, las cuales se incrustan con depósitos de goma por el envés, de color oscuro, originándose, con este motivo, una defoliación por desprendimiento de las hojas atacadas. (del Rivero 1964). Este mismo autor menciona que el molibdeno se trasloca con dificultad a las hojas viejas, pero, sin embargo, lo hace con bastante rapidez a las nuevas y sucesivas brotaciones. Este elemento es pues, una carencia de suelos ácidos y raramente se da en los alcalinos. Así mismo, una de las causas principales de carencia es que el anión molibdeno es fuertemente absorbido por los minerales y los coloides del suelo a pH inferiores a 6. La acción de los elementos sobre el suelo puede producir la formación de ciertos silicatos de aluminio que son capaces de fijar el molibdeno fuertemente.

Todas las variedades de cítricos son susceptibles a la carencia de molibdeno (Smith y Reuther, 1954).

Las pequeñas cantidades de molibdeno son beneficiosas para los cítricos, pero perjudiciales si la cantidad se eleva excesivamente

3.4.15 Cloro

El cloro se absorbe del suelo en forma de ión cloruro Cl^- y en su mayor parte permanece en esta forma. Una de las funciones del cloro consiste en estimular la ruptura (oxidación) de la molécula de H_2O durante la fotosíntesis, un que también es esencial en las raíces, para la división celular de las hojas y como un soluto osmóticamente activo de importancia (Terry, 1977; Flowers, 1988) citados por Salisbury, (1992).

El ión cloro es necesario en la fotosíntesis. Algunas investigaciones realizadas sobre los cloroplastos han demostrado que el cloro es necesario a nivel de la transferencia de electrones del agua a la clorofila en el fotosistema II Kelley y Izawa, citados por Dominguez (1988).

.El ión cloro favorece la hidratación y frena la transpiración por acción sobre la turgencia de las células subestomáticas Domínguez (1988).

Según Domínguez(1988),la mayor parte de las especies vegetales absorben cloro muy fácilmente y en cantidades importantes, según la riqueza en solución del suelo.

La absorción de cloro está sobre todo, bajo control metabólico siendo influida por la temperatura y los inhibidores fisiológicos según Mengel y Kirkby (1982). Estos mismos autores mencionan que los movimientos del cloro son fáciles en los tejidos vegetales a través de las membranas que limitan el citoplasma, pero en el caso de una elevada absorción de cloro, éste se acumula en el citoplasma.

3.4.16 Níquel

Existen buena evidencias que indican que el níquel Ni^{2+} es un elemento esencial para las plantas (Dalton *et al.*, 1988) citado por Salisbury, (1992) Desde hece muchos años se sabe que el níquel es parte fundamental de una enzima denominada *ureasa*, que cataliza la hidrólisis (degradación en que se utiliza H_2O) de urea en CO_2 y NH_4^+ . Si la ureasa es esencial para las plantas, entonces el níquel puede considerarse esencial conforme al segundo criterio de esencialidad. Pero no se sabía si la ureasa era esencial, por que no estaba claro si todas o casi todas las plantas forman urea y necesitan de la ureasa para hidrolizar la urea. Al parecer, las plantas por lo general forman urea y requieren ureasa. Por lo tanto, es probable que el níquel sea esencial para todos los vegetales, y es el primer elemento en ser agregado a la lista de elementos esenciales desde que lo fue el cloro en 1954.

3.5 Mecanismos de absorción de los elementos minerales

3.5.1 Nutrición mineral

De los cationes y aniones, que se encuentran en la solución del suelo, todos los cationes excepto el potasio son absorbidos por transporte pasivo, y todos los aniones y el potasio son absorbidos por transporte activo hacia la planta.

El transporte activo implica el atravesar la membrana plasmática activamente, es decir, con gasto de energía metabólica ATP y en contra del gradiente de concentración, siendo además un proceso altamente selectivo. Este comportamiento se ha tratado de explicar con diversas teorías. La que tiene mayor apoyo experimental en la actualidad es la de los portadores. Según ella, el proceso completo puede descomponerse de la siguiente manera:

- El ión se combina con una sustancia orgánica, el portador que radica en la misma membrana.
- El complejo, ión - portador, atraviesa la membrana.
- En la cara interior, el ión queda libre.
- El portador regenerado, vuelve al punto de partida dispuesto a actuar de nuevo.

La primera reacción transcurre con rapidez y sin gasto de energía, de modo que en fracciones de segundo se satura todo el portador existente. Debido a este efecto de saturación el transporte activo es en gran parte independiente de la concentración externa del ión. La velocidad la marca más bien la tercera reacción (regeneración del portador) que es la limitante. La energía metabólica podría ser aplicada en cualquiera de las tres últimas reacciones. Aún no se sabe sin embargo, la naturaleza química del portador y el detalle íntimo de como actúa. Como posibles portadores se han sugerido proteínas, péptidos, aminoácidos, RNA, ATP, fosfátidos, ácidos orgánicos, azúcares fosforilados, piridoxal, citocromos, agentes quelatantes. En los últimos años se ha llegado a establecer con seguridad que ciertas proteínas enzimáticas, las permeasas, juegan un papel importante en la absorción de sustancias a través de las membranas celulares. Inhibidores de la transcripción (p. ej. la actinomicina) o de la traducción (p. ej. la puromicina) pueden bloquear la síntesis de esas enzimas, con netos efectos negativos sobre la capacidad transportadora de la membrana (Gómez y Mellado, 1981).

La selectividad del proceso debe atribuirse a la existencia para cada ión de un portador específico, una permeasa específica, o quizá ambas. En aquellos casos donde la especificidad no es completa, surgen fenómenos de competencia entre iones similares.

Quando dos soluciones a diferente concentración se ponen en contacto directo, se alcanza el equilibrio después de cierto tiempo como consecuencia del movimiento al azar de las moléculas del soluto. Hay una difusión que debe entenderse neta, esto es, como diferencia entre las que tienen lugar en ambas direcciones. La ley de Fick establece que la velocidad de difusión es proporcional a la superficie de contacto entre las disoluciones y también al gradiente de concentración. También depende de la temperatura. La difusión supone una disipación de energía libre y un aumento de entropía. Experimentalmente se puede observar y medir con sustancias coloreadas y con isótopos.

El caso especial de la difusión a través de membranas se llama ósmosis. Las membranas pueden ser más o menos permeables, pero en ningún caso los son absolutamente. Suponen ciertas barreras de energía que los solutos han de atravesar, necesitando sus moléculas de ir dotadas de energía de activación individuales más altas y realizándose por tanto el proceso total con una mayor lentitud. Las membranas biológicas son bastante impermeables, debido sobre todo a los lípidos que contienen. Solamente aquellas moléculas neutras que tienen cierto grado de liposolubilidad pueden penetrar pasivamente en la célula de un modo apreciable por este procedimiento.

El proceso anterior puede verse favorecido cuando el soluto puede combinarse reversiblemente con sustancias determinadas de modo que el complejo resulte ser suficientemente liposoluble. Esta difusión facilitada presenta algunas características comunes con el transporte activo (especificidad, competencias y efectos de saturación) pero siempre ocurre a favor del gradiente de concentración y no hay gasto de energía metabólica.

Los poros de una membrana ofrecen otro tipo de oportunidad para el paso de sustancias. A través de ellos puede establecerse el flujo de masa que comprende tanto moléculas del soluto como del disolvente. En la velocidad del paso influyen un gradiente de presión mecánica, la viscosidad del fluido y, en gran proporción (su cuarta potencia), el radio del poro. Hay por tanto dos factores principales que condicionan la posibilidad del transporte pasivo de moléculas neutras a través de las membranas biológicas: un tamaño molecular pequeño y una liposolubilidad alta.

Los iones pueden atravesar la membrana por electroósmosis, que es un flujo de masa a través de los poros, estimulado, no por una diferencia de presión mecánica, sino por una diferencia de potencial eléctrico entre ambos lados.

La verdadera difusión, en el caso de los iones, está condicionada al mantenimiento del equilibrio eléctrico (Gómez y Mellado (1981).

3.5.2 Nutrición foliar

Un suelo puede contener todos los elementos para la nutrición pero éstos pueden estar en forma no disponible para la absorción radicular; tal es el caso frecuente del hierro y el fósforo cuando el suelo es alcalino, o sea que tiene un pH elevado. En esos casos se realiza una fertilización de estos elementos a nivel foliar constituyendo una nutrición o fertilización complementaria

Entre las partes aéreas de las plantas las hojas son las más activas en la absorción de las sustancias aplicadas, pues tienen una mayor superficie expuesta.

La efectividad de la fertilización foliar depende en gran medida de la cantidad absorbida de la sustancia a través de la superficie (siendo importante la composición química de las hojas) y de su traslado por los conductos del floema, requiriendo un gasto de energía metabólica.

Estas sustancias nutritivas deben atravesar la cutícula, las paredes (primaria y secundaria) y la membrana plasmática hasta llegar al interior de la hoja.

La cutícula principalmente está formada por pectinas, ceras y fibras celulósicas; en ella actúan, en el pasaje de las sustancias, grupos hidrófilos (que dejan pasar agua e iones), y grupos lipofílicos (que dejan pasar sustancias no polares que no tienen cargas eléctricas)(Rodríguez.1982)

Una vez atravesada la cutícula, las sustancias traspasan las paredes de la hoja a través de los ectodermos que son espacios con una densidad menor de microfibrillas en las zonas de las paredes primarias y secundarias

Las paredes también poseen propiedades hidrofílicas y lipofílicas. Luego, las sustancias absorbidas deben franquear las membranas celulares por medio de una absorción activa, requiriendo en este caso un gasto energético.

Los factores que afectan la absorción foliar son :

zona de contacto y superficie mojada: la superficie mojada debe ser lo mayor posible. La fertilización se hace en forma pulverizada. Como la tensión superficial del agua es distinta a la tensión superficial de la cutícula, la gota tiende a una esfera, disminuyendo el área de contacto, de allí que al agua se le agreguen sustancias que disminuyen su propia tensión superficial (como los detergentes) para aumentar de esta manera el mojado de la misma (Rodríguez, 1982).

La superficie inferior de la hoja absorbe de 3 a 5 veces más que la superficie superior, pues allí la cutícula es más delgada, hay mayor cantidad de estomas y los vasos floemáticos están más cerca.

a) **Temperatura:** a medida que aumenta la temperatura, por ejemplo, entre los 20 y 26°C, la cutícula se ablanda y el agua es más fluida, aumentando entonces la absorción de la solución nutritiva aplicada. Después de los 28°C comienza a producirse un secado superficial disminuyendo la penetración de la solución.

b) **Humedad relativa:** al aumentar la humedad relativa ambiental se posibilita la mayor permanencia de las gotas de solución en la superficie foliar, aumentando las posibilidades de su absorción.

c) **Edad de la hoja:** las hojas jóvenes tienen una mayor posibilidad de absorción que las viejas.

d) **Características químicas de la solución aplicada:** a manera de ejemplo se puede citar que se difunden a nivel foliar en un mayor grado los fosfatos y citratos de potasio que los cloruros y nitratos de potasio

e) **Luz:** al existir una óptima fotosíntesis habrá una energía disponible para la absorción activa de los nutrientes.

En la nutrición foliar se pulveriza la solución nutritiva en la parte aérea de la planta tratando de hacerlo en mayor medida en la cara inferior de las hojas, pues allí hay mayor grado de absorción. Las aplicaciones se realizan de día. El momento vegetativo influye ya que la absorción es más eficiente en las hojas de mejor estado. En el caso de querer pulverizar sustancias hidrofílicas (no polares) las aplicaciones se hacen preferentemente en las hojas más viejas por que éstas poseen más cera en su superficie favoreciendo ese tipo de absorción.

Para la aplicación de nutrición foliar se debe además tener en cuenta los siguientes puntos:

1. La fertilización clásica, comparada con la foliar, presenta las siguientes características: a) una más rápida utilización de los nutrientes por parte de la planta; b) la durabilidad de la fertilización, es menor debiéndose aumentar las aplicaciones; c) las dosis empleadas son menores; d) no se presentan los problemas de suelo, tan corrientes en los sistemas clásicos, y e) existe una mayor probabilidad de originar excesos de nutrientes.
2. Las aplicaciones de nutrición foliar deben aplicarse cuando hay una necesidad urgente.
3. Para su implementación se realiza un correcto diagnóstico de deficiencias para estimar la dosis a emplear. (Rodríguez Suppo, 1982)

3.5.3 Análisis de suelo

Según Rodríguez (1982), el análisis químico del suelo es el primer paso importante a la determinación de la fertilización.

El método incluye principalmente la determinación del pH, textura, materia orgánica, calcio y demás nutrientes en su forma asimilable por las plantas.

El propósito básico de la evaluación de la fertilidad del suelo es generar información acerca del estado nutrimental del suelo y predecir la respuesta relativa a la adición de nutrimentos. El estado nutrimental de los suelos cultivados es variable y cambia continuamente debido a la influencia de la adición de fertilizantes, a la pérdida de nutrimentos por lavado, a la remoción por el cultivo y mal manejo. La estimación en un sitio específico del estado de fertilidad actual de un suelo es, en consecuencia, muy importante para utilizar óptimamente las fuentes fertilizantes(Waugh, et al, (1980).

Menciona Hauser (1980), que los propósitos del análisis del suelo son los siguientes:

- a) Evaluar la fertilidad del suelo.
- b) Formular recomendaciones relativas a los fertilizantes.
- c) Determinar las necesidades de un cultivo antes de su implantación.
- d) Prever la respuesta en el rendimiento de un cultivo tras la aplicación de fertilizantes.

El análisis del suelo puede ser realizado en función del objetivo que desee satisfacer, de acuerdo a Fitts, y Nelson (1956), citados por Vázquez y Bautista (1993), existen cuatro grandes objetivos al analizar el suelo:

- 1) Agrupar el suelo en clases, con la finalidad de poder sugerir prácticas de fertilización.
- 2) Predecir la probabilidad de obtener una respuesta en el rendimiento del cultivo producto de la aplicación de nutrimentos al suelo.
- 3) Ayudar a elevar la productividad del suelo respecto a la fertilidad del mismo.
- 4) Determinar las condiciones del suelo que deban ser transformadas a través del uso de mejoradores o de prácticas culturales.

3.5.4 Análisis foliar

Hoy en día el análisis foliar periódico se usa como una herramienta para determinar con eficiencia el programa de fertilización de un huerto cítrico, ya que determina la forma como el árbol ha aprovechado los elementos puestos a su disposición y permite modificar la fórmula de abonamiento anualmente, tanto en cantidad como en calidad (Morín 1980).

Bould (1966), afirma que el análisis de la planta en un principio fue usado para evaluar la fertilidad del suelo, pero en la actualidad el análisis foliar debe utilizarse como una guía para el estado nutricional de la planta

Aldrich (1973), menciona que los propósitos de análisis de las plantas son los siguientes:

- a) Para diagnosticar o confirmar diagnosis de síntomas visibles**
- b) Para identificar deficiencias ocultas**
- c) Para identificar áreas de deficiencias incipientes.**
- d) Para indicar cual nutrimento aplicado entra a la planta.**
- e) Para indicar interacciones o antagonismos entre nutrimentos.**
- f) Como una ayuda para el entendimiento del funcionamiento interno de la planta.**
- g) Para sugerir pruebas adicionales para identificar las deficiencias.**
- h) Como una herramienta en la generación de recomendaciones de fertilización.**

Del Rivero (1968), menciona que los nutrientes en la hojas representan realmente el contenido de sustancias nutritivas y éstas se pueden comparar con niveles de estándares, correspondientes a variedades y especies análogos que presentan alta productividad y desarrollo considerado normal, de modo que se puede averiguar si hay exceso o deficiencia de un determinado elemento.

Según Smith (1966), los estudios de análisis foliares y las tablas de los valores estándares deben ser realizados para cada cultivo, debido a las innatas diferencias de requerimientos minerales y capacidad de absorción. Una considerable cantidad de elementos en las hojas, parecen ser similares para un determinado desarrollo de los cítricos en diferentes partes del mundo. Así, parece que las modificaciones entre las diferentes variedades son de pequeña magnitud.

3.5.5 Muestreo en cítricos

Un muestreo deficiente dará origen a la interpretación incorrecta de un resultado obtenido por cualquier prueba química rápida. Es necesario desarrollar esquemas adecuados de muestreo según la variabilidad horizontal y vertical de las propiedades físicas y químicas del suelo (Vergara 1992).

Este mismo autor menciona, que la muestra o muestras por analizar deberán ser representativas del área total que se vaya a sembrar y posiblemente a fertilizar. La homogeneidad del terreno determinará el número de muestra que deberá colectarse. No sólo es necesaria la subdivisión tomando como factor el suelo, sino que también, es importante al efectuar el muestreo considerar los cultivos y prácticas de fertilización anteriores. Generalmente, se consideran dos zonas para muestrear, una en la capa arable y otra debajo de ella.

Reuther y Smith (1954), citados por Orozco (1979), recomiendan que se tomen las hojas a una altura de 1 a 2.5 m sobre el nivel del suelo.

Algunos investigadores han encontrado diferencias en el contenido de nutrimentos de acuerdo a la altura en que se tome la muestra foliar (Sepúlveda 1979). Este mismo autor menciona que Chapman (1941), tomando hojas de limón a varias alturas, encontraron que las hojas muestreadas a 36 pulgadas de la base del follaje tuvieron menos fósforo (0.062%), que las tomadas a 96 pulgadas (0.15%).

Según Chapman y Pratt (1973), las normas de análisis de hojas se basan en hojas del ciclo de primavera de 7 a 8 meses de antigüedad, seleccionadas de los extremos cargados de frutos. Se deben seleccionar 4 hojas por árbol en torno a la periferia en una banda de aproximadamente de 0.30 a 2.13 m de altura del suelo en cada quinto árbol de todo el terreno. Se deben tomar hojas de tamaño promedio, para representar las condiciones que prevalecen en las hojas de esa edad.



Figura 10 Las hojas 1,2 y 3 son del ciclo de primavera o floración y cualquiera de ellas es apropiada para el muestreo; las hojas 4,5,6,7 y 8 son de un ciclo más antiguo y no deben recogerse como muestras de follaje (Chapman y Pratt, 1973).

Jones y Embleton (1968), indican que la edad de la hoja en el momento del muestreo en los cítricos debe ser de los 4 a los 9 meses de edad, mientras que Carpena (1957), señaló que en limón Verna deben tener de 6 a 9 meses de edad.

Orozco (1979), menciona que varios autores recomiendan para cítricos tomar alrededor del árbol 100 hojas por muestra, mientras que Carpena en limón Verna encontró que el número de hojas por muestra es de 50 a 60, resultados similares encontró Tomi para todos los cítricos en general

Smith (1966), comparando los contenidos de nutrimentos en muestras con diferentes número de hojas en naranja, no encontró diferencias significativas entre el uso de 25, 27, 30, 36 o 54 hojas por muestra.

Bacula citado por Orozco (1979), en un estudio para determinar el tamaño de muestra para el análisis foliar de macroelementos en naranja Washington Navel, encontró que deben tomarse alrededor de 72 hojas por muestra.

Medina (1978), en limón mexicano utilizó para el análisis foliar, una muestra de 30 hojas.

Del Rivero citado por Orozco (1979), señala que la fecha de muestreo está determinada por la estabilización de los nutrimentos en las hojas, aunque no indica una fecha en específico.

Rodney y Sharples citados por Orozco (1979), indican el mes de julio para la toma de muestra en sus investigaciones, mientras que Carpena, señala que el muestreo debe ser de mayo a julio y de septiembre a noviembre.

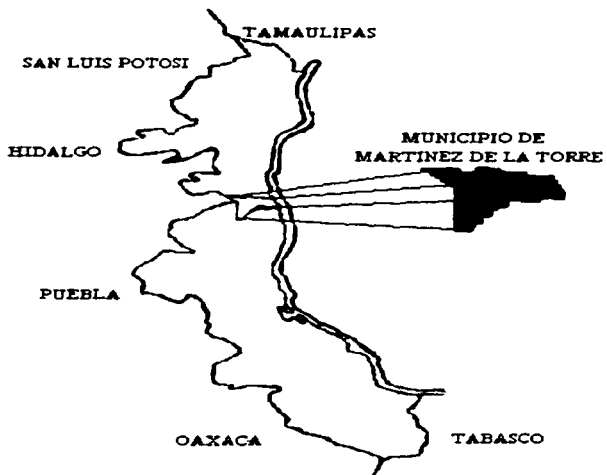
IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del sitio experimental

4.1.1 Ubicación geográfica

La investigación se realizó en las parcelas de la Segunda Ampliación del Ejido Manantiales, Martínez de la Torre Ver. Municipio con la mayor producción de limón persa a nivel nacional; Manantiales está situado a $97^{\circ} 6.7'$ de longitud este y a los $20^{\circ} 10.4'$ de latitud norte, su altura es de 100 m.s.n.m. (INEGI 1988)

Figura 11 Localización del Municipio de Martínez de la Torre



4.1.2 Clima

El clima de acuerdo a Enriqueta García (1973), es del tipo Af(m)egw* cálido húmedo con lluvias todo el año con la mayor parte de la precipitación (69.1%) del total anual en verano y parte del otoño y menos del 18% del total anual en los tres meses más secos. Presenta dos estaciones lluviosas separadas por una temporada seca corta en el verano y una larga en la mitad fría del año con una oscilación térmica de 8.9°C (extremoso), el mes más caliente antes del 21 de junio. La precipitación media anual es de 1840 mm, la temperatura media es de 24°C y la del mes más caliente (mayo) 27.7°C

4.1.3 Suelo

Los suelos que se encuentran en la zona de estudio son de textura franco-arenosa y franco-arcillo-arenosa poco profundos en las partes altas con presencia de tepetates, y profundos en las partes bajas.

4.1.4 Manejo del huerto

El huerto de limón tiene una edad de 8 años y se encuentra plantado a una distancia de 7X7 lo que indica que hay una densidad de plantación de 204 árboles por ha. La producción promedio de la huerta en 1996 fue de 19.2 ton/ha. Ver figura 12.



Figura 12 Densidad de plantación en el huerto de limón.

El huerto ha sido abonado con gallinaza durante el último año a razón de una cubeta de 18 lt por árbol aplicado afuera de la copa de éste; se han realizado podas de aclareo de ramas; los cortes de fruta se han realizado cada 20 días; el control de malezas se realiza con Glifosato a razón de 3.0 lt en 200 lt de agua aplicado en bandas; el control de plagas se realiza con Malathion 1000 aplicando 150 ml en 100 lt de agua. Ver figura 13



Figura 13 Control de malezas en el huerto.

4.1.5 Muestreo de suelo

El tipo de muestreo de suelo que se utilizó es simple estratificado. Este plan de muestreo requiere para su desarrollo que la población a muestrear sea dividida en una serie de subpoblaciones, es decir, un muestreo simple al azar.

Las principales razones por las que se utiliza este plan de muestreo son:

- 1) Obtener datos específicos para cada subpoblación
- 2) Incrementar la precisión de los datos para la totalidad de la población.

Se detectaron cinco zonas dentro del huerto, tomando en cuenta las características físicas del suelo, la pendiente del mismo y el estado aparente de la planta. Ver figura 14.



Figura 14 Características de pendiente del terreno.

Se determinó que la profundidad a la que se debería muestrear sería de 1 m. ya que las características de suelo bajo las cuales está la plantación es de textura muy ligera, en donde las raíces tienen un gran desarrollo tanto vertical como horizontal. También se consideró que (Dominguez 1988) en un esquema de planta de cítrico muestra el desarrollo de las raíces a través del perfil del suelo y la distribución de las mismas. Ver figura 15 y 16.

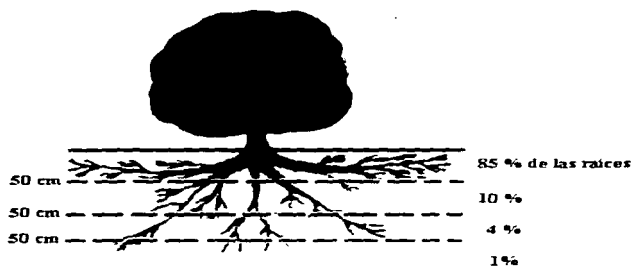


Figura 15 Distribución de las raíces de cítrico en % a través del horizonte del suelo (Dominguez, 1988).



Figura 16 Profundidad de muestreo.

Para cada zona se realizaron cinco cepas de 1 m de profundidad cada una, y formar en total cinco muestras compuestas y ser llevadas al laboratorio para su análisis. Ver figura 17a,17b,18 y 19 en secuencia.



Figura 17a. Abertura de cepas. -



Figura 17b. Abertura de cepas.

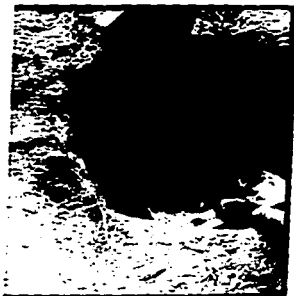


Figura 18 Toma de muestras de suelo.



Figura 19 Guardando las muestras de suelo.

4.1.6 Muestreo de planta

La muestra de vegetal se realizó cortando 20 hojas por árbol hacia los cuatro puntos cardinales del lugar donde se hizo la cepa, completando un total de 80 hojas por submuestra para formar un total de 400 hojas por muestra compuesta. Así se hizo para cada una de las zonas muestreadas.



Figura 20 Rama de limón persa con frutos.

El tipo de hoja que se muestreo fue la del crecimiento anterior o del crecimiento de primavera cuya edad va de 7 a 8 meses según (Chapman y Pratt, 1973). Ver figura 21.



Figura 21 Tipo de hoja de limón muestreada.

La altura a la cual se realizó la muestra fue de 80 cm a 1.80 m de altura considerando que hay un rango de 30 cm a 2.13 m según Chapman y Pratt (1973). Al igual que las muestras de suelo, las de planta fueron llevadas al laboratorio para sus determinaciones. Ver figura 22.



Figura 22 Altura de muestreo de planta.

4.1.7 Análisis de suelo y planta

Las determinaciones se realizaron de la siguiente manera:

La textura de los suelos fue determinada por el método de Hidrómetro de Day (citado por Ortiz, 1978).

El pH del suelo se determinó en una suspensión acuosa con relación agua-suelo de 2:1, que se mantuvo en reposo durante 30 min. y realizándose posteriormente la lectura en un potenciómetro Beckman Zeromatic II.

Para la determinación de nitrógeno total se utilizó el método Kjeldhal(Jackson, 1976).

La materia orgánica se determinó mediante el método combustión húmeda de Walkley y Black, modificado por Walkley (1947), considerando una oxidación de 77% (citado por Cajuste, 1982).

El fósforo disponible para suelos ácidos se utilizó el método Bray P-1 (Bray y Kutz, 1954) modificado por Cajuste (1982), usando una solución extractora de NH_4F 0.03N y HCl 0.025N empleando el método azul cloromolibdico.

La capacidad de intercambio catiónico se realizó con acetato de amonio 1N (modificado por Cajuste, 1982). La extracción de los cationes intercambiables fue realizada con NH_4Oac 1N pH 7 en la relación suelo: solución de 1:25 luego de tres extracciones sucesivas. El exceso de amonio en solución se eliminó con lavados de alcohol isopropílico. El amonio absorbido fue extraído con una solución de NaCl al 10% acidulada y dosificada por destilación y titulación (Peech, 1945).

Para la determinación de los cationes intercambiables (K, Ca, Mg y Na), se utilizó el filtrado obtenido en las extracciones con NH_4OAc 1N. El potasio y el sodio fueron cuantificados por fotometría de llama usando un espectrofotómetro de llama, Coleman Jr II. El calcio y el magnesio fueron cuantificados por espectro de absorción atómica.

Los elementos menores (Fe, Mn, Zn, Cu), para suelos ácidos se utilizó el método DTPA, (citado por Cajuste, 1982). Los extractantes resultantes fueron cuantificados mediante técnicas de absorción atómica, (citados por Southern, 1956, Follet y Lindsay, 1971).

Para el análisis vegetal, una vez cosechado el experimento en limón las hojas se lavaron con agua destilada, después se colocaron en bolsas de papel poniéndolas a secar en la estufa de circulación forzada de aire a una temperatura de 65° a 70° durante 48 horas hasta obtener peso constante. Luego de pesar materia seca se molió en un molino de acero inoxidable utilizando una maya del No. 40 para luego ser guardado en bolsas y ser analizado. Se determinaron los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc, con la finalidad de conocer el estado nutrimental del cultivo.

Se pesaron 0.5 gr. de materia vegetal y se colocaron en un matraz de Kjeldhal de 30 ml , luego se le adicionaron 3 ml de una mezcla digestora de HClO_4 y H_2SO_4 en relación 1:4. El uso de esta mezcla fue una modificación al método para la determinación del potasio, calcio y magnesio en el mismo extracto (Tserling, 1969), que utiliza una mezcla de una relación 1:9 , citado por Alvarez (1980), el material vegetal se quedó en predigestión durante el transcurso de la noche y al día siguiente se completó la digestión en una parrilla; se diluyó a 50 ml y se filtró en papel Wathman 41.

El potasio fue cuantificado en el extracto de materia seca vegetal por emisión de un fotómetro de llama Coleman Jr II. Para calcio y magnesio se determinaron mediante absorción atómica utilizando cloruro de lantano (Alcalde, 1981).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de suelo y planta así como la caracterización física de los suelos de la parcela de estudio, se presentan en los cuadros 4, 5 y 6.

Cuadro 4 Caracterización química de las muestras de suelo de las 5 zonas de estudio.

Zona (suelo)	1.2	%	%	ppm		meq/100 g					ppm			
	Ph	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	Fe	Cu	Mn	Zn	
I	5.0	1.3	0.07	2	0.45	1.98	0.67	0.07	3	25	0.20	4	0.37	
II	4.8	1.2	0.06	2	0.25	1.48	1.06	0.07	3	27	0.43	5	3.62	
III	4.6	3.8	0.19	14	0.24	1.96	1.31	0.07	4	150	0.24	8	2.72	
IV	5.2	2.8	0.14	8	0.41	2.8	1.42	0.06	5	55	0.22	6	1.70	
V	5.1	1.9	0.10	2	0.54	3.0	1.30	0.08	5	58	0.25	6	1.21	

El pH del suelo en las cinco zonas de estudio es muy ácido cuyos rangos van de 4.6 a 5.2, lo cual concuerda con las características que presentan los suelos de las regiones tropicales donde la alta temperatura y precipitación favorecen la lixiviación de los cationes, por lo que se requerirá de aportaciones de calcio con las fuentes adecuadas para elevar el pH de 5.5 a 6.0 que según Jacob y Uexkul (1961) es el óptimo para los cítricos; pero además, esta acidez se debe a la existencia importantes cantidades de materia orgánica sobre todo en la zona III bajo estas condiciones de clima.

La materia orgánica del suelo de las zonas I y II es medianamente pobre, rico en la zona III, medianamente rico en la zona IV y medio en la zona V, según Velasco (1983). Lo anterior concuerda con las características de pendiente que presenta el terreno, en donde las partículas de materia orgánica son arrastradas por el agua junto con el suelo hacia las zonas bajas del mismo (zona III y IV), pero además, en éstas zonas las hierbas crecen en mayor abundancia que en las zonas I, II y V, por lo que hay mayor aportación de material vegetal que con el proceso de descomposición dará origen a la materia orgánica.

El % de nitrógeno total en la zona I y II es medianamente pobre, medianamente rico en la zona III y mediano en IV y V según Moreno (1978), lo cuál coincide con los contenidos de materia orgánica y la pendiente del terreno en las cinco zonas de estudio ya que están íntimamente relacionados. Estos contenidos de nitrógeno son los que pueden provocar el excesivo crecimiento de los árboles sobre todo en la zona III, así como su poco desarrollo en las zonas I y II.

El fósforo asimilable se encuentra en cantidades bajas en las cinco zonas de estudio de acuerdo con CSTPA, (1980), lo cual coincide con Kampfer (1963) quien cita que cuando hay más nitrógeno en relación a fósforo los árboles absorben más nitrógeno y relativamente menos fósforo y recíprocamente. Bryan (1961), agrega que en regiones húmedas donde los suelos son ácidos y las reservas de calcio son reducidas o se han agotado, el fósforo es fijado con facilidad por combinaciones de fierro y aluminio como en este caso lo cual dificulta su asimilación. También el fósforo pudo ser lavado por las excesivas lluvias puesto que el suelo es arenoso.

El potasio en las zonas I, IV y V se encuentra en disponibilidad media, mientras que en las zonas II y III es bajo según Etchevers *et al.* (1971), con lo cual podemos explicar el tamaño pequeño de la fruta en éstas dos zonas con respecto a las otras. Además, como en la zona III las plantas tienen más desarrollo, la escasez de potasio puede deberse a la utilización de este por la planta. La fuerte actividad de crecimiento que la planta presenta en estas zonas puede coincidir con una importante utilización del potasio.

El calcio en las zonas I, II y III es muy baja y en las zonas IV y V es baja según Etchevers *et al.* (1971), lo cual concuerda con las características de los suelos ácidos de las zonas tropicales húmedas, donde este elemento está expuesto a pérdidas por lixiviación, pero sobre todo en éste caso que la zona de estudio presenta un suelo de tipo arenoso. Con lo anterior coincide Chapman (1966) y del Rivero (1964) quienes mencionan que las deficiencias de calcio pueden ser importantes en los suelos ácidos arenosos y muy lluviosos pero también en suelos derivados de rocas pobres en calcio. La deficiencia de calcio también explica el pH ácido del suelo en las cinco zonas de estudio.

El magnesio en los suelos de la zona I es muy baja, en la zona II es baja y en las zonas III, IV y V es media según Etchevers *et al.* (1971), lo que coincide con las características del suelo en estudio, ya que las zonas I y II tienen más altura con respecto a III, IV y V. Morín (1980) concuerda con lo anterior mencionando que una deficiencia de magnesio asociada a la acidez del suelo, puede haber dificultad de la planta para su absorción, así como la lixiviación del suelo y la humedad del mismo causan pérdida del elemento. Estas deficiencias de magnesio se pueden observar en las zonas I y II ya que el aspecto de muchos árboles son cloróticos, la fruta es pequeña y así como el espesor de la piel.

El zinc se encuentra en la zona I de manera deficiente mientras que en el resto de las zonas se encuentra en cantidades adecuadas según Viets y Lindsay (1973), lo que concuerda con Chapman (1966) que señala que los suelos ácidos lavados son bajos en zinc, de ahí que la zona I esté expuesta al mayor lavado con respecto a las demás zonas de estudio. Así mismo, los suelos en donde son aplicados estiércoles, y los terrenos que han sido utilizados para el pastoreo de ganado son generalmente pobres en zinc, como es el caso.

El manganeso se encuentra de manera adecuada en las cinco zonas de estudio según Viets y Lindsay (1973), con lo anterior coincide del Rivero (1968) quién menciona que a pH inferior a 5.5 los contenidos de manganeso en el suelo pueden ser importantes y de forma soluble y asimilable.

El fierro en las cinco zonas estudiadas se encuentra en cantidades adecuadas según Viets y Lindsay (1973) las cuales coinciden con las características de los suelos de las zonas tropicales. Al respecto Wallace (1961) cita que la asimilación del fierro aumenta con la acidez del suelo. Lo anterior puede ser peligroso para las plantas ya que se puede presentar una intoxicación por este elemento, para lo cual será necesario elevar el pH a los rangos adecuados para esta variedad. En este caso aún no tenemos problemas por excesos de fierro.

El cobre en las zonas I y II es deficiente, y en las zonas III, IV y V es marginal según Viets y Lindsay (1973), lo anterior concuerda con las características de los suelos ya que la textura de los mismos contribuyen a la lixiviación del elemento, así como el arrastre hacia las zonas más bajas del terreno. Además, Labanauskas (1966), señala que las prácticas culturales, los suelos ácidos y lavados son los que presentan mayor deficiencia de cobre.

La capacidad de intercambio catiónico en las zonas I, II y III es muy baja, y en las zonas IV y V es baja según Cottenie (1980). Esta Capacidad de Intercambio Catiónico va asociada al pH ácido así como a la deficiencia de calcio que existe en el suelo, lo cual dificulta la absorción de los nutrientes por la planta. Así mismo esta baja capacidad de intercambio catiónico tiene que ver con la textura del suelo, ya que se produce un fuerte lavado de elementos minerales debido a las abundantes lluvias.

Cuadro 5 Caracterización química de las muestras de vegetal de las 5 zonas de estudio.

Planta Zona	%		ppm					meq/100 g				ppm			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn						
I	1.2	0.17	1.75	0.84	0.32	80	4	11	16						
II	1.5	0.13	1.60	0.18	0.41	82	2	29	19						
III	1.5	0.14	1.16	0.16	0.36	62	0.5	33	18						
IV	1.6	0.14	1.36	0.07	0.31	85	3	34	25						
V	1.4	0.13	1.38	0.22	0.34	64	3	25	24						

Los resultados del análisis foliar reportan deficiencia en nitrógeno en todas las zonas de estudio, lo cual coincide con las características del suelo que es pobre en nitrógeno asimilable.

El fósforo en la planta se encuentra de manera suficiente, aunque en suelo se reporta pobre, ya que las plantas requieren pequeñas cantidades de éste elemento para sus funciones. Así mismo, éstas cantidades de fósforo que reporta el análisis de suelo se encuentra en forma asimilable por lo que la planta lo puede utilizar muy eficientemente.

El % de potasio en la planta se encuentra suficiente, lo cual demuestra la eficiencia de la planta para absorber este elemento aún cuando en el suelo se presente en concentraciones bajas.

El calcio en el tejido foliar se encuentra bajo, lo cual coincide con las características del suelo que se reporta también bajo. Lo anterior demuestra que hay una importante deficiencia de este elemento por lo que será necesario aplicar carbonato de calcio para corregir esta deficiencia, y así mismo, elevar el pH a 6.0 que es lo que se requiere para esta especie.

El magnesio en el análisis de tejido foliar se presenta de manera suficiente lo cual concuerda con las características de suelo, en donde sólo en una zona se presenta bajo de éste elemento.

El fierro y el manganeso en las cinco zonas se encuentra suficiente, lo que coincide con las características de las del análisis químico del suelo que es adecuado.

El cobre en la planta se encuentra deficiente en las cinco zonas, lo que coincide con las características del suelo, en donde se presenta también deficiente.

El zinc se encuentra en el tejido foliar de manera deficiente en las zonas I, II y III, mientras que en las zonas IV y V se encuentra suficiente.

Los resultados anteriores demuestran que el suelo en estudio carece de la mayoría de los elementos principales para la nutrición de las plantas, a excepción del manganeso y fierro que se encuentra en cantidades adecuadas. Así mismo, los elementos que se encuentran en cantidades adecuadas no son absorbidos eficientemente debido a la baja capacidad de intercambio catiónico que existe en el suelo ya que imposibilita el aprovechamiento de estos elementos.

El cuadro 6 muestra caracterización física de las muestras de los suelos en la zona de estudio.

Textura	% Arena	% Arcilla	% Limo	Interpretación
I	64.00	22.36	13.64	Franco Arenoso
II	70.00	16.00	14.00	Franco Arenoso
III	77.92	10.30	11.78	Franco Arenoso
IV	56.20	22.36	21.44	Franco Arcillo Arenoso
V	49.84	26.36	23.80	Franco Arcillo Arenoso

La textura del suelo de la zona I, II, y III presentan un tipo franco arenoso, mientras que en las zonas IV y V es del tipo franco arcillo arenoso. Estas características físicas de suelo son las que recomiendan muchos autores para el cultivo del limón, ya que favorece el desarrollo rápido de las huertas, así como la obtención de fruta de buena calidad. Sin embargo esta textura favorece el lavado de muchos elementos minerales por las fuertes lluvias.

VI. CONCLUSIONES

1. Sustentado en los resultados concluimos que el suelo de nuestra parcela en estudio se encuentra deficiente en nutrientes.
2. Los resultados de análisis químico de los tejidos vegetales nos indican que los niveles de concentración de los nutrientes son igualmente bajos.
3. Por lo tanto resulta indispensable la fertilización química a base nitrógeno, fósforo y potasio, así como también será necesario la aplicación de calcio para elevar el pH al nivel de 6.0 y tener un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo. Así mismo, será importante hacer aspersiones foliares de cobre y magnesio para corregir las deficiencias y tener una rápida respuesta de las plantas.
4. Para incrementar la productividad de la huerta en estudio es conveniente realizar las prácticas adecuadas de fertilización para una mejor nutrición de la huerta; el control de plagas y malas hierbas que nos permitan reducir la competencia por nutrientes en el limonal, así como las podas correctas para mejorar la calidad de la fruta.

VII. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados análisis de suelo y planta se recomienda hacer la aplicación de cal en todas las zonas de estudio, considerando a la acidez del suelo como la parte medular que está afectando la producción de la huerta. Lo anterior es con el fin de mejorar las condiciones físicas, químicas, y aprovechar los elementos que están fuertemente fijados a los coloides del suelo, y así elevar la capacidad de intercambio catiónico, la asimilación de nutrientes por la planta, y con ello seguramente se mejorará el estado nutricional de la huerta.

La aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio resulta indispensable para complementar la fertilización, y ésta se llevará a cabo considerando la cantidad de fruta cosechada, haciendo así una reposición de los elementos extraídos por cosecha.

Las épocas de aplicación de fertilizante que se recomiendan son: para nitrógeno, fósforo y potasio distribuirlo entres épocas del año, la primera antes de la brotación de primavera, la segunda antes de la brotación de verano y la tercera después de la poda que se realiza en septiembre y octubre.

El fraccionamiento de la fertilización se debe a que el nitrógeno forma compuestos solubles y volátiles, el fósforo al combinarse con hierro y aluminio forma compuestos poco solubles y el potasio está expuesto a cambios de estado por la temperatura y la humedad. Así mismo, las abundantes precipitaciones en la zona de estudio y el tipo de suelo arenoso con que se cuenta hace aún más factible este fraccionamiento.

Para corregir la deficiencia de magnesio y tener rápida respuesta se recomienda hacer aspersiones foliares con nitrato de magnesio a razón de 1.2 kg en 100 lt de agua cada vez que se presenten los síntomas. Así, para contrarrestar la deficiencia de cobre se recomienda hacer la aplicación foliar de 700 gr de sulfato de cobre en 100 lt de agua cuando se detecte ésta deficiencia.

Para obtener mejor calidad de fruta se recomienda hacer por lo menos dos podas al año, la primera después de la brotación de primavera con el fin de dejar pasar la luz a las partes internas de la copa del árbol y producir fruta de color homogéneo, al mismo tiempo servirá para eliminar el exceso de frutos que generalmente provocan el desgajamiento de ramas. La segunda poda se recomienda al final del verano y principio de otoño con el fin de provocar la floración que se traducirá en la cosecha de invierno.

El control de hierbas será necesario para evitar la competencia por nutrientes entre éstas y los árboles frutales, y tener mejor eficiencia en la absorción de los minerales del suelo.

Considerando la experiencia que se tuvo con la aplicación de gallinaza a la huerta, se recomienda seguirla aplicando junto con otros abonos orgánicos.

Se sugiere para nuevas investigaciones hacer análisis en los que se determine el nitrógeno aprovechable en lugar de nitrógeno total, para tener una idea más clara de la cantidad real que puede ser utilizada por la planta.

También se sugiere hacer análisis de fruta para estimar que cantidades de elementos son extraídos por la cosecha.

Se propone además, hacer pruebas de fertilización para determinar dosis óptimas de fertilización, así como pruebas de encalado para suelos ácidos.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aldrich, S.R. (1973). Plant Analysis: problems and opportunities. In Walsh, L.M. and J.D. Beaton (Ed.s) Soil testing and plant analysis. Soil sci. soc. Amer. Madison, WI.
- Aldrich, D. G. and J. J. Coony (1951). A response of lemon trees to phosphate fertilization. Calif. Citrogr.
- Ayala H. (1966). Condiciones del suelo para el cultivo de los cítricos. Fundación Shell Serie A No. 27 Venezuela.
- Batchelor, L. D. y Webber, H. J. (1948). The citrus industry IL: production of the crop. Berkeley, University of California press.
- Becerra, J. (1963). Citricultura. Apuntes de clase. La Molina Universidad Agraria Lima Perú.
- Bould, C. (1966). Leaf Analysis of deciduous fruits. En "fruit nutrition" Childers F.N. New Brunswick New Jersey US

Bradford, G.R. (1966). Boron. In:Chapman, H.D. Edit. *Diagnostic Criteria for plants and soils*. University of California, Div. Of Agr. SCI.

Bryan, O. C. (1961). Malnutrition sintomas of citrus with practical metodos of treatment. Florida State Departament, agr. Bull no. 93.

Campbell, C. W. (1968). Tahiti Lime Production in Florida. Cooperative Extensión Service, University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences.

Carbajal, A. A. y Menez, N. L.(1985). Estudio del equilibrio fisiológico de los elementos nutritivos en los tejidos foliares del cultivo de naranja valencia (*Citrus aurantifolia* L. Osbeck) como un método para el diagnóstico de deficiencias. FESC-UNAM México.

Castrol, C. T. (1986). Cítricos y otros frutales. Boletín de reseñas no. 27 La Habana Cuba.

Cat. (1989). Compendio de Agronomía Tropical. Tomo II. Ministerio de productos extranjeros de Francia. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Ed. IICA.

Chandler, W.H. (1958). Evergreen orchards. 2da. Ed. Philadelphia, Lea Febiger.

Chapman, H.D. (1968). The mineral nutrition of citrus. In: The citrus industry, Vol. 2.

Chapman, H. and Kelley, W. (1943). The Mineral Nutrition of Citrus. In: citrus industry. Ed. Webber H. , Batchelor L. University California Press USA.

Chapot, H. y Deluchi, V. (1964). Maladies troubles et ravageurs des grumes au Maroc. Rabat, Institute Nationale de la Recherche agronomique.

Claridades Agropecuarias. Revista de publicación mensual No 30 Febrero de 1996. ASERCA México. -

Cohen, A. (1976). Citrus Fertilization. International Potash Institute. Bern/Switzerland.

Dominguez, V. A. (1988). Los Microelementos en Agricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid España.

El Limón Persa (Estudio de Mercado Mundial). ASERCA Technomanagement Ingeniería y administración S.A. de C.V. México, 1995.

Emblenton, T. W. (1966). Magnesium In: Chapman, H.D. Diagnostic criteria for plants and Soils Berkeley, University of California, div. Agr.

Estrategia Nacional de Mediano Plazo (1993-1999) de Desarrollo y Promoción de Exportación de Limón, SARH. México 1993.

Estudio del Mercado Internacional del Limón fresco y jugo concentrado, aceite esencial y cáscara deshidratada. SARH- DGAI-DRCI. México 1987

FAO, (1975). Requerimientos de clima y suelo de cítricos, así como nutrición de cítricos. Análisis de la FAO. -

Fletcher, W. A. (1959). Citrus orchard nutrition and soil management of citrus land. New Zeal. J. Agric.

García de Miranda E. (1980). Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. UNAM, México.

Gómez C. M. , Schwentesius R. R. , Barrera G.A. (1994) El Limón persa en México (Una opción para el Trópico). SARH-UACH-CIESTAAM México.

Gómez C. , Mellado L. (1981). Elementos Minerales de las Plantas Monografías de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos No. 3 Universidad Politécnica de Madrid España.

González Sicilia, E, (1960) El cultivo de los Agrios. Instituto de Investigaciones Agronómicas, Madrid España.

Grajales O., Martínez E. (1982).Apuntes de Fisiología Vegetal. Ed. FESC-UNAM México.

Hauser, G. F. (1980). Interpretación de los análisis de suelo al formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de Suelos de la FAO No.18.

Hayes, W.B. (1960). Fruit growing in india. Kitabistan, Allahabad.

Hernández, J., A. Rodríguez, G. Gras, Mirtha Castellanos, Gladys del Vallin, A. del Castillo y J. Espinoza (1983). Fertilización de los cítricos. Primera reunión nacional de agroquímica. Ponencia, Academia de Ciencias de Cuba.

Hernando V. (1979). *Soils Analysis, Leaf Análisis and Fertilization*. Department of Soils Fertility and Plant, Madrid España.

Homer D. Chapman, Parker F. Pratt. (1973) *Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas*. 2da. Ed. Trillas México.

Jacob, A. y Uexkull, H. Von. (1961) *Fertilización, Nutrición y Abonado de los cultivos tropicales*. Amsterdam internat. Handelsmaatschappi voor Maststoffen NV.

Jones W. and Embleton, T. (1968). *Some guidelimes for the use of nitrogen leaf analysis for citrus*. California Citr.

Kampfer, M. (1963) *Nuevos Conocimientos sobre la Fertilización de Citricos*. Boletín Verde No. 1.

Labanauskas, C. K.; Jones, W.W. y Embleton, T.W. (1966). *Influence of Aplications of nitrogen, phosphate, potash, dolomite, and manure on the micronutrient concentration in Washington Navel. Orange leaves*.

López R. J. López M. J. (1985). *El Diagnóstico de Suelos y Plantas (Métodos de Campo y Laboratorio)*. 4ta. Ed. Mundi-Prensa, Madrid España.

Maldonado, T. R. Fertilización en Cítricos. UACH. Depto. de Suelos Chapingo México.

Memoria del Seminario de Citricultura. Realizado en Mérida Yucatan del 17 al 20 de junio de 1987, Banco de México.

Memoria del VI Curso de Actualización Frutícola (Tópicos Selectos para el Desarrollo de la Fruticultura). Realizado del 25 al 28 de Oct. de 1993. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C. CONACYT 1993.

Memoria sobre la Agroindustria del Limón Mexicano del 14 de mayo de 1994. SARH-INIA CAETECOMAN Colima.

Mengel, K. and Kirkby, E. A. (1982). Principles of plant nutrition. Intern. Potash Inst.

Morín CH. (1980). Cultivo de Cítricos. La Molina. Universidad Agraria, Lima Peru.

Naude, C. J. (1954). Fertilization of Citrus. Farming Soc. Africa.

Orozco, R. J. (1979). Estudio sobre las relaciones entre la fertilización con N P K el análisis foliar, la producción y la calidad del limón mexicano *Citrus aurantifolia*, Swingle. Colegio de Posgraduados Montecillo México.

Parker, E. R. y Jones, W. W. (1951). Effects of fertilizers upon the yield, size and quality of orange fruit. California Agricultural Experiment Station, Bull. No. 772.

Química del suelo y los fertilizantes. Bioquímica y Química Agrícola. Monografías de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Cátedra XVI. Universidad Politécnica Madrid España 1979.

Rebour, N. (1964). Los Agrios. Mundi-Prensa, Madrid España.

Reitz, H. J. (1858). Nitrogen deficiency. In: Prattr, R. M. (Ed.). Florida guide citrus insects diseases and nutritional disorders in color. Gainesville, University of Florida, agric. Exp. Station, Bull No. 53a.

Rivero, J. M. del (1968). Los estados de carencia de los agrios. 2da. Mundi-Prensa, Madrid España.

Rodney, P. R. and G. S. Sharples. (1961). Response of Lisbon lemon trees to applications of nitrogen, phosphate and manure . Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.

Rodríguez S. F. (1982). Fertilizantes (Nutrición Vegetal).AGT editor, S.A. México.

Salisbury B. F., Ross W. C. (1992). Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México.

Sepúlveda, T. J.L. (1981). Análisis del crecimiento del fruto del limón y sus interrelaciones con el N P K en relación a la fertilización nitrogenada. Chapingo México.

Síntesis Geográfica. Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Veracruz. INEGI 1978, México.

Smith, P. F. (1966). Citrus Nutrition. In: Nutrition of fruit crops. Ed. N.F. Childers. Horticultural Publication, USA.

Ulrich, A., Olik, K.(1966). Potassium. In: Chapman, H. D. (Ed.) Diagnostic criteria for plants and soils. University California, Div. of Agr. Sci.

Vaca E. J. M. (1986). Ensayo de fertilización de naranja *Citrus sinensis* (L) Osbeck variedad valencia, basado en el diagnóstico nutricional por medio del equilibrio Fisiológico en el Municipio de Tihuatlan Veracruz. FESC-UNAM México.

Vázquez, A. A., Bautista, A.N. (1993). Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. UACH, Depto. de Suelos. Chapingo México.

Wallace, A. Z. , Muller, R.T., y Nort, C.P. (1954). Traslocation de Nitrogen in Citrus trees. Amer. Soc. Hort. Sci.

Waugh, D.L. (1980). Discontinuous Models for rapid correlation, interpretación and utilization of soil analysis and fertilizer response data. North Carolina State University.

Ygor Da Silva Coelho, Mascarenhas M. J. (1990). Limao Tahiti: aspectos económicos y técnicas de cultivo. Circular técnica No. 13 EMBRAPA Rio de Janeiro.

Ziegler, L. W. y Wolfe, H. S. (1961). Citrus growing in Florida. Gainesville Florida University.