

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**DISTRIBUCIÓN RADICAL Y DIAGNÓSTICO
NUTRIMENTAL EN LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.)
EN MARTINEZ DE LA TORRE, VER.**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

P R E S E N T A:

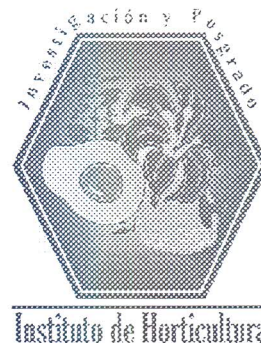
EDGAR CONTRERAS MORALES.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Chapingo, México, agosto de 2004.

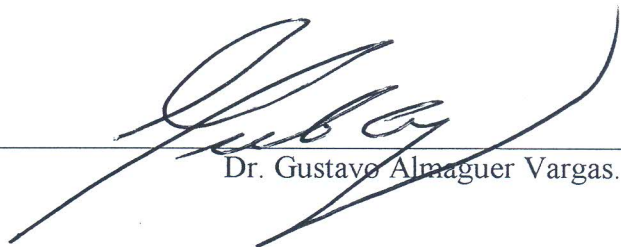


**DISTRIBUCIÓN RADICAL Y DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL EN LIMÓN
PERSA (*Citrus latifolia* Tan.) EN MARTINEZ DE LA TORRE, VER.**

Tesis realizada por EDGAR CONTRERAS MORALES bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

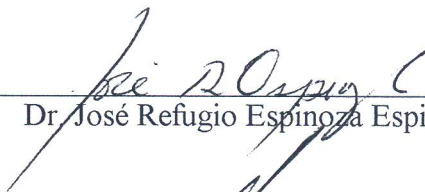
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR



Dr. Gustavo Almaguer Vargas.

ASESOR



Dr. José Refugio Espinoza Espinoza.

ASESOR



Dr. Ranferi Maldonado Torres.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA) por todas las facilidades brindadas para realizar estos estudios de Posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado durante la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura.

A la Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, y a la Coordinación del Posgrado en Horticultura por el apoyo otorgado.

Al Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 135 (C.B.T.a. No. 135) por el apoyo y facilidades brindadas para concluir estos estudios.

Al Dr. Gustavo Almaguer Vargas, por la acertada dirección de esta tesis y por su valioso apoyo durante su realización.

Al Dr. José Refugio Espinoza Espinoza por su orientación en el trabajo de campo y revisión así como por sus valiosas recomendaciones para la culminación del presente trabajo.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres por su valiosa colaboración durante el desarrollo de la presente investigación, orientación en el trabajo de laboratorio y por la revisión del mismo.

Al PIISCI (Programa Interdisciplinario de Investigación y Servicio en Citricultura) de la UACH por el financiamiento aportado.

A la señora Regina Espinosa Flores por su valioso apoyo en los análisis y determinaciones en el Laboratorio de Nutrición Vegetal.

Al Ing. José Juan Simón Guerrero y familia por el valioso apoyo brindado durante la realización del presente trabajo.

A los compañeros de la generación 2002-2003 de la Maestría en Ciencias en Horticultura por los momentos compartidos.

DEDICATORIA.

Con infinita gratitud a Dios porque a pesar de todos los contratiempos se logró culminar con esta meta. “Porque tres son los que dan testimonio en el cielo, el Padre, el Verbo, y el Espíritu Santo; y estos tres son uno”. 1ª Jn 5:7.

Con mucho amor y cariño a mi esposa Evelia Martínez Vera por compartir conmigo tristezas y alegrías y por su apoyo incondicional en todo momento para terminar con estos estudios.

A mis hijos Edgar Donald y Metztli Deyanira por motivarme a esforzarme y superarme cada día.

A mis padres Profr. Angel Contreras Rodiz y Sra. Antonia Morales Lagunes gracias por sus sabias enseñanzas y todo el valioso apoyo brindado a mí y a mi familia durante la realización de estos estudios.

A mis hermanos y familiares por el todo el apoyo brindado en beneficio de mi formación profesional.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor del presente trabajo es originario de la ciudad de Martínez de la Torre, Ver., realizó los estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo en la generación 1983-1990, egresó como Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. Hasta marzo de 1992 colaboró con el PIISCI (Programa Interdisciplinario de Investigación y Servicio en Citricultura) de la UACH. Posteriormente laboró en el sistema educativo Telebachillerato en el estado de Veracruz hasta marzo de 1995. En 1996 trabajó en la S.P.R. de R.L. “ANRAVE” como asesor técnico en el manejo de huertas de limón persa para exportación. De Enero de 1997 a la fecha labora para la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA). Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (2002-2003).

Actualmente labora en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario Num. 135 (C.B.T.a. No. 135) de Arroyo Hondo, Misantla, Ver., donde se desempeña como docente y jefe de la oficina de Investigación y Validación de Tecnologías.

CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS.	iii
INDICE DE FIGURAS.	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Importancia del cultivo de limas y limones	1
1.2. Funciones generales de los nutrimentos	4
1.3. LITERATURA CITADA	9
II. DISTRIBUCIÓN RADICAL DE ÁRBOLES DE LIMÓN PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tan.).	12
RESUMEN	12
ABSTRACT	12
2.1. INTRODUCCIÓN	13
2.2. OBJETIVO	18
2.3. HIPÓTESIS	18
2.4. MATERIALES Y METODOS	18
2.4.1. Sitio de estudio	18
2.4.2. Material vegetal	19
2.4.3. Manejo de los árboles.	19
2.4.4. Método de estudio	20
2.4.5. Conteo de raíces	20
2.4.6. Análisis de suelo	21
2.4.7. Análisis de datos	21
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
2.5. 1. Características de los suelos y árboles estudiados	22
2.5.2. Concentración de nutrimentos en hojas	22
2.5.3. Análisis del número de raíces	25
2.5.4. Análisis estadístico de los datos	29
2.6. CONCLUSIONES	38
2.7. LITERATURA CITADA	39
III. DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL FOLIAR EN ÁRBOLES DE LIMÓN	

PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tan.).	44
RESUMEN	44
ABSTRACT	44
3.1. INTRODUCCIÓN	45
3.2.OBJETIVO	49
3.3.HIPÓTESIS	49
3.4. MATERIALES Y METODOS	50
3.4.1. Sitio de estudio	50
3.4.2. Material vegetal	50
3.4.3. Manejo de los árboles	51
3.4.4. Método de estudio	51
3.4.5. Variables evaluadas	52
3.4.6. Análisis de suelos	53
3.4.7. Análisis de datos	54
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
3.5.1. Características de los suelos y árboles estudiados	55
3.5.2. Variables determinadas en árboles en suelo arenoso	55
3.5.3. Variables determinadas en árboles en suelo arcilloso	59
3.5.4. Índices de balance (DRIS)	63
3.6. CONCLUSIONES	64
3.7. LITERATURA CITADA	66

ÍNDICE DE CUADROS.

CUADRO	Pág.
Cuadro 1. Valores de las variables químicas, físicas, concentración de nutrimentos del suelo y características generales de los árboles de los huertos empleados para los estudios de distribución radical. Martínez de la Torre, Ver. 2003.	23
Cuadro 2. Distribución radical por estrato de profundidad y perfil realizado en árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio (Suelo arenoso). Martínez de la Torre, Ver. 2003.	26
Cuadro 3. Distribución radical por estrato de profundidad y perfil realizado en árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio (Suelo arcilloso). Nautla, Ver. 2003.	27
Cuadro 4. Número de raíces totales por clase y efecto de profundidad y distancia al tronco del árbol sobre el número de raíces de árboles de limón persa en suelo arenoso. Martínez de la Torre, Ver. 2003.	29
Cuadro 5. Número de raíces totales por clase y efecto de profundidad y distancia al tronco del árbol sobre el número de raíces de árboles de limón persa en suelo arcilloso. Nautla, Ver. 2003.	30
Cuadro 6. Resultados del análisis estadístico para las diferentes combinaciones de raíz (R), profundidad (P) y distancia (D) en la distribución radical de limón persa (Suelo arenoso). Martínez de la Torre, Ver. 2003.	31
Cuadro 7. Resultados del análisis estadístico para las diferentes combinaciones de raíz (R), profundidad (P) y distancia (D) en la distribución radical de limón persa (Suelo arcilloso). Nautla, Ver. 2003.	34
Cuadro 8. Comparación estadística de las combinaciones raíz, profundidad y distancia (R, P y D) para la distribución radical en limón persa en los dos huertos estudiados. 2003.	36
Cuadro 9. Cantidad de nutrimentos en diferentes órganos de mandarina (Marchal y Lacoëuilhe, 1969).	46

Cuadro 10. Valores de las variables químicas, físicas, concentración de nutrimentos del suelo y características generales de los árboles de los huertos empleados para los estudios de diagnóstico nutrimental. Martínez de la Torre, Ver. 2003.	56
Cuadro 11. Concentración de macronutrimentos en diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arenoso. Mtz. de la Torre, Ver. 2003.	57
Cuadro 12. Concentración de micronutrimentos en diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arenoso. Mtz. de la Torre, Ver. 2003.	57
Cuadro 13. Materia seca, humedad, peso fresco y seco de diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arenoso. Mtz. de la Torre, Ver. 2003.	58
Cuadro 14. Concentración de macronutrimentos en diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arcilloso. Nautla, Ver. 2003.	60
Cuadro 15. Concentración de micronutrimentos en diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arcilloso. Nautla, Ver. 2003.	61
Cuadro 16. Materia seca, humedad, peso fresco y seco de diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arcilloso. Nautla, Ver. 2003.	62
Cuadro 17. Resultados del programa DRIS índices de balance por nutrimento en hojas de limón persa en dos tipos de suelos. 2003.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
Figura 1. Concentración de macronutrientes en hojas de limón persa injertado sobre naranjo agrio (Suelo arenoso).	24
Figura 2. Concentración de micronutrientes en hojas de limón persa injertado sobre naranjo agrio (Suelo arenoso).	24
Figura 3. Concentración de macronutrientes en hojas de limón persa injertado sobre naranjo agrio (Suelo arcilloso).	24
Figura 4. Concentración de micronutrientes en hojas de limón persa injertado sobre naranjo agrio (Suelo arcilloso).	24
Figura 5. Porcentaje de raíces totales por estrato de profundidad (cm) y por perfil realizado en naranjo agrio (Suelo arenoso).	29
Figura 6. Porcentajes de raíces totales por estrato de profundidad (cm) y por perfil realizado en Naranjo agrio (Suelo arcilloso).	29
Figura 7. Variación del número de raíces R1, R2 y R3 en las diferentes combinaciones de Profundidad y Distancia (Suelo arenoso).	32
Figura 8. Variación del número de raíces R4 en las diferentes combinaciones de Profundidad y Distancia (Suelo arenoso).	32
Figura 9. Variación en el número de raíces R1, R2 y R3 en las diferentes combinaciones de Profundidad y Distancia (Suelo arcilloso).	35
Figura 10. Variación en el número de raíces R4 en las diferentes combinaciones de Profundidad y Distancia (Suelo arcilloso).	35
Figura 11. Porcentaje del peso fresco y seco totales de diferentes órganos del árbol de limón persa en suelo arenoso.	59
Figura 12. Porcentaje del peso seco total de diferentes órganos del árbol de limón persa en suelo arenoso.	59

Figura 13. Porcentaje de peso fresco y seco totales de diferentes órganos del árbol de limón persa en suelo arcilloso.	62
Figura 14. Porcentaje del peso seco total de diferentes órganos del árbol de limón persa en suelo arcilloso.	62

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia del cultivo de limas y limones

La producción de limas y limones a nivel mundial en 1990 ocupaba una superficie aproximada de 586,000 ha. Sin embargo en el año 2000 se incrementó a 746,062 ha, a un ritmo de crecimiento anual de 2.4 % representando un incremento de 27.5 %. Esto refleja la importancia del cultivo ya que el volumen de producción aumentó en el año 2000 a 10,882,114 t equivalente a un rendimiento promedio de 14.5 t ha⁻¹. México aporta 1,693,000 t de limas y limones, correspondiendo el 94 % de la producción a limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle) y el 6 % restante corresponde a limón persa, que se destina para el mercado de exportación. La India produce cerca de 1,342,000 t de limas y limones, siendo principalmente para consumo interno y un 0.2 % para exportación. En Argentina se produce la especie *Citrus limón* y el 90 % de la producción se destina para la elaboración de jugos concentrados, aceites esenciales, cáscara deshidratada y el resto se comercializa en fresco. En España el 60 % de su producción se comercializa en el mercado europeo. En Estados Unidos a pesar de los desastres naturales que ocurrieron en 1993 en Florida, el crecimiento sigue siendo continuo en superficie plantada de las diversas especies frutales sin embargo la producción de limón persa ha decaído notablemente por lo que en los próximos años continuarán satisfaciendo su consumo interno por medio de las importaciones provenientes de México y Brasil principalmente (Cook, 2000).

El consumo de limón fresco varía notablemente a nivel internacional. En promedio es menor a los 0.46 kg *per capita* por año (Gómez *et al.*, 1994). Los mayores niveles de

consumo se registran en los propios países productores (kg per capita): Italia 8.5, México 5.6, Brasil 5.3, España 4.6, Bélgica 3.5, Arabia Saudita 2.7, Francia 2.4, Alemania 1.7, EUA 1.6 y Japón 0.8. La mayor parte de limón se comercializa en fresco, aunque también se destina a la agroindustria para la extracción de jugos concentrados y aceites esenciales. El mercado europeo adquiere el 41.2 % del volumen mundial comercializado de limas y limones equivalentes a 603,635 t, seguido por E.E.UU. que compra el 14.2 correspondiente a 208,241 t y por su parte Japón absorbe el 6.3 %, es decir 91,728 t. Dentro del grupo de las limas, el limón 'persa' es la variedad mas comercializada, ya que el consumidor las prefiere por su tamaño, color y ausencia de semillas, esta última característica lo hace muy atractivo. Los principales proveedores de limón persa al mercado de la Unión Europea son México y Brasil con más del 75 % del mercado extracomunitario, seguidos por Venezuela, El Salvador, República Dominicana y Cuba. Para abastecer su consumo interno la Unión Europea importó en el 2000, 11,040 t de limón persa, siendo Holanda el mayor comprador, siguiendo Reino Unido, España y Francia, encontrándose como sus principales, proveedores Argentina, Sudáfrica, Turquía, Brasil y México. Cabe señalar que Argentina y Sudáfrica abastecen al mercado europeo de limón agrio, mientras que Brasil y México lo hacen con limón persa. México provee el 76.1 % del total de las importaciones al vecino país del norte durante todo el año, incrementando el volumen durante los meses de mayo y octubre, cuando la producción en Estados Unidos decae notablemente. Además del producto en fresco de limón persa México también provee aceites esenciales para este mercado (USDA, 2001).

En 1994 la superficie total de cítricos en México era de 369,348 ha, sin embargo para el año 2002, habían en el país cerca de 500,000 ha de cítricos, siendo la naranja la que ocupa la mayor extensión de terreno con 321,871 ha, siguiendo en orden de importancia la producción de limas y limones con cerca de 123,810 ha (FAO, 2002). La importancia del cultivo del limón persa (*Citrus latifolia* Tan.), ha radicado en la exportación de dicha fruta, que de acuerdo a cifras estimadas por la SAGARPA (2001) para el año 2000, la producción fue de 408,983 toneladas, de las cuales el 75 % fue exportada principalmente a los Estados Unidos. El estado de Veracruz ocupa el primer lugar nacional en cuanto a volumen de producción de limón persa (Ramos, 1998). En el año agrícola 2000, la producción fue de 239, 692 t aportando el 93.8 % del total nacional. El rendimiento promedio estatal es de 12.7 t ha⁻¹ ocupando el segundo lugar a nivel nacional (SAGARPA, 2001).

El crecimiento de la superficie cultivada con limón persa es destacado, pues de acuerdo al INEGI (1995) en el estado de Veracruz este cultivo todavía no figuraba como cultivo importante y se le ubicaba dentro del grupo del resto de los cultivos perennes, junto con capulín, macadamia, chicozapote, entre otros. Sin embargo en el censo agrícola de 1999 empieza a destacar por la superficie plantada, desplazando a cultivos que hasta ese momento eran de mayor importancia económica. Para el año 2002 se reportan 22,039 ha sembradas con 282,622.75 t y un valor de la producción de 70,412,167.34 pesos (SAGARPA, 2003).

En relación a su importancia social se utilizan en promedio 98 jornales por ha. Más el trabajo para su acopio, transportistas, intermediarios y comerciantes, y finalmente la

generación de empleos directos por parte de 70 emparadoras que existen en el país Gómez *et al.*, (1994). Este cultivo genera cerca de 2.5 millones de jornales anuales durante los procesos de producción, cosecha, empaque y comercialización (Curti *et al.*, 2000).

Los datos anteriores indican la importancia económica y social de este cultivo, sin embargo, para mejorar su producción es necesario atender problemas específicos de gran interés tales como el desconocimiento de la distribución del sistema radical por regiones, toda vez que el naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.) es el principal porta injerto empleado en este cultivo (más del 90 %) según lo señalado por Curti *et al.*, (2000). Aunado a lo anterior también es necesario conocer la distribución de nutrimentos en el árbol para tener información que permita mejorar la nutrición de este cultivo, ya que existen pocos trabajos al respecto, y con ello obtener rendimientos potenciales de más de 30 ton ha⁻¹.

1.2. Funciones generales de los nutrimentos

Los elementos considerados esenciales para el crecimiento de las plantas son 16, de los cuales 11 se han encontrado como deficientes en el cultivo de los cítricos (Vitti, 1992). Los llamados elementos mayores o macronutrimentos son aquellos que las plantas absorben en grandes cantidades (N, P, K, Ca y Mg). El nitrógeno (N) es considerado de gran importancia en las plantas debido a que es constituyente de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides, almidón y otras sustancias importantes. Sin embargo al parecer no posee ninguna función catalítica o electroquímica a pesar de estar

estructuralmente implicado en la mayoría de las moléculas catalíticas (Bidwell, 1979). Tiene una gran influencia en el crecimiento y rendimiento de las plantas (Wutscher y Smith, 1993).

El fósforo (P) es parte esencial de muchos glucosfosfatos que participan en la fotosíntesis, la respiración y otros procesos metabólicos; también forma parte de nucleótidos (RNA y DNA) y de fosfolípidos presentes en las membranas; el metabolismo energético en moléculas de ATP, ADN, AMP y pirofosfato (PPI) (Salisbury y Ross, 1994).

El potasio (K) es activador de muchas enzimas esenciales en la fotosíntesis y la respiración y activa enzimas necesarias para formar almidón y proteínas (Bhandal y Malik, citados por Salisbury y Ross, 1994). Este elemento es tan abundante que contribuye de manera importante al potencial osmótico de las células y a su turgencia (Salisbury y Ross, 1994).

Rodríguez en 1991 (citado por Vitti, 1992) menciona que los cítricos contienen altas concentraciones de calcio (Ca) en partes leñosas (40 %) y en hojas (34 % del total de la planta). De 70 a 80 % del Ca de la planta es insoluble en agua, contrariamente al K; se encuentra en formas de oxalato de calcio y pectato de calcio. Es un elemento de gran importancia en el desarrollo de las raíces, en el funcionamiento de la membrana celular y en la activación de enzimas como amilasas y fosfatasas (Vitti, 1992). El Ca es un componente inmóvil de las sustancias cementantes (Ca-pectato) de la pared celular. Es

esencial en la división y alargamiento celulares y no es redistribuido a tejidos jóvenes. Las deficiencias de calcio en cítricos no es muy conocida (Du Plessis, 1992).

El magnesio está involucrado en procesos de oxidación y reducción, en el transporte de electrones en el sistema fotosintético. Es esencial en el fotosistema II para la fotólisis, actúa como un enlace para el ATP y activa la AIA oxidasa (Jones *et al.*, 1991). Forma parte de la molécula de clorofila, actúa como cofactor en casi todas las enzimas involucradas en los procesos de fosforilación de gran importancia en el metabolismo (Marschner, 1986).

El boro (B) es un elemento esencial para plantas vasculares. Ciertas evidencias señalan su participación en la síntesis de ácidos nucleicos. Tan esencial es para la división celular en los meristemas apicales como en el alargamiento de los tubos polínicos (Salisbury y Ross, 1994). también puede ser necesario en la formación de la pared celular y en el metabolismo de componentes pécticos. El boro es relativamente inmóvil en la planta.

El cobre (Cu) se encuentra presente en diversas enzimas implicadas en los procesos de oxidación y reducción. Dos ejemplos notables son la citocromo-oxidasa, una enzima respiratoria que se encuentra en las mitocondrias, y la plastocianina, una proteína de los cloroplastos (Salisbury y Ross, 1994). Es también un componente importante del sistema transportador de electrones de la fotosíntesis (Bidwell, 1979).

La función más conocida del hierro (Fe) en la planta es en el sistema enzimático que incluye a la catalasa, la peroxidasa, así como en los citocromos; participa en la síntesis de la clorofila (Mengel y Kirkby, 1978); el Fe actúa bajo la forma de ferredoxina como componente de una proteína férrica (noemí-proteína) la cual participa en los procesos de oxidación y reducción en la transferencia de electrones; el Fe interviene también en la reducción del nitrito, de sulfatos y en la asimilación del nitrógeno (Meyer *et al.*, 1973). El Fe en plantas de cítricos es altamente inmóvil.

El manganeso (Mn) es esencial en la respiración y fotosíntesis, tiene una función estructural en el sistema de membranas del cloroplasto, tiene una participación importante en la disociación fotosintética de la molécula del agua; el ión Mn^{2+} también activa numerosas enzimas (Salisbury y Ross, 1994). En plantas y hojas jóvenes de cítricos, el Mn es bastante inmóvil.

El zinc es un elemento que se encuentra fuertemente unido a muchas enzimas y además es un activador obligado de numerosas e importantes enzimas en las que se incluyen las deshidrogenasas, el ácido glutámico, el alcohol, pirimidin nucleótidos y las anhidrasas (Bidwell, 1979). Participa en la síntesis del ácido indolacético (AIA) y en la estabilidad de los ribosomas citoplasmáticos lo cual lo hace esencial para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas (Du Plessis, 1992).

De acuerdo a la información anterior respecto a la importancia económica del cultivo del limón persa el objetivo general de esta investigación fue realizar un diagnóstico

nutricional y determinar la distribución radical del mismo, en dos diferentes tipos de suelo, para generar información que sirva como base en futuras investigaciones para la implementación y mejoramiento de las diversas labores culturales que se le realizan y así establecer estrategias que permitan mejorar el rendimiento y calidad de la producción.

1.3. LITERATURA CITADA

- ASERCA, 1995. El limón persa estudio del mercado mundial. Technomanagement S A. 186 Pags.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. AGT Editor. Mexico, D. F. 784 p.
- Cook, R. L. 2000. Tendencias internacionales en el sector de frutas y hortalizas frescas. *In*: R. R. Schwentesius y C. M. Gomez A. (Coords.). Internacionalización de la horticultura. Ed. Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAAM. P. 1-5. 186 pags.
- Curti-Díaz, S.A.; X. Loredó-Salazar; U. Díaz-Zorrilla; J.A. Sandoval R y J. Hernández H. 2000. Tecnología para producir limón persa. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Ixtacuaco. Libro Técnico Núm. 8. Veracruz, México. 144 p.
- Du Plessis, S. F. 1992. Relationship between nutritional elements, yield and fruit quality of citrus tree. International Seminar on Citrus Physiology. Bebedouro, Sao Paulo, Brazil, august 10-13. pp. 139-158.
- FAO. 2002. Frutos cítricos frescos y elaborados. Estadísticas anuales. Ed. FAO. 35 p.
- Gómez C. M. A.; Rita S. R. ; Alberto B. G. 1994. El limón persa en México, una opción para el trópico. CIESTAAM, UACH. Chapingo, México.
- INEGI, 1995. Anuario estadístico del estado de Veracruz. Tomo II. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 1997. Anuario estadístico del estado de Veracruz. Tomo II. Aguascalientes, Ags.

- INEGI, 1998. Anuario estadístico del estado de Veracruz. Tomo II. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2000. Anuario estadístico del estado de Veracruz. Tomo II. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2001, Anuario estadístico del estado de Veracruz. Tomo II. 1011 Pigs. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 2001, Anuario estadístico del estado de Veracruz. Tomo I. Aguascalientes, Ags.
- INEGI, 1999. Anuario estadístico del comercio exterior de los estados unidos mexicanos.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Ed. Academic Press. USA. pp. 411-420.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1978. Principes of plants nutrition. International Potash Institute Bern. Swizerland. Pp. 347-351.
- Meyer, B. S., D. B. Anderson, R. H. Bohning and D. G. Fratiante. 1973. Introduction to plant physiology (2a Ed) D. Van Nostrand Company New York. pp. 314-315.
- Ramos, N. J. A. 1998. Costos de producción y rentabilidad de los cítricos en México. FIRA Residencia estatal Veracruz. México.
- Salisbury, F. B.; C. W. Ross. 1994. Fisiologia Vegetal. Grupo Editorial Interamericana. USA. pp. 142-143.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2001. Anuario estadístico de la producción agrícola de México.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2003. Anuario estadístico de la producción agrícola de México.

USDA. 2001. Agricultural Statistics. Washington. U. S. A.

Vitti, G. C. 1992. Nutrition and growth of citrus plants. In: International Seminar on Citrus Physiology. Bebedouro, Sao Paulo, Brazil, august 10-13. 139158.

Wutscher, H. K. and P. F. Smith. 1993. Citrus. In: Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. W. F. Bennett (Editor). APS PRESS. St. Paul, Minnesota. USA.

II. DISTRIBUCIÓN RADICAL DE ÁRBOLES DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.)

Edgar Contreras Morales¹ y Gustavo Almaguer Vargas²

RESUMEN

Este estudio fue hecho para conocer la distribución radical de árboles de limón persa cultivados en un suelo arenoso y uno arcilloso en Martínez de la Torre, Ver. Se empleó el método de la pared del perfil del suelo, clasificando las raíces en cuatro categorías de acuerdo con su diámetro: R1 (> 15 mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) y R4 (< 1mm). Las dimensiones de la cepa fueron 4 m de largo, 1 m de profundidad y 0.8 m de ancho y se construyeron tres por cada árbol (a 50 cm del tronco, zona de goteo y la parte media entre las anteriores). En cada tipo de suelo se emplearon cuatro árboles homogéneos los cuales tenían 12 años de edad en suelo arenoso y 9 años de edad en el arcilloso. Las raíces se agruparon en tres estratos de profundidad (de 0 a 30 cm; 30-60 cm y de 60-100 cm). Se analizó el número de raíces con el programa SAS considerando a la profundidad y a la distancia como factores. La mayor cantidad de raíces se presentó, para ambos tipos de suelo, en el estrato de 0-30 cm de profundidad decreciendo hacia los estratos más profundos. Se observó la tendencia en el número de raíces, a descender conforme se incrementa la distancia desde el tronco. Las raíces más numerosas fueron las R4 o fibrosas seguidas en orden decreciente por R3, R2 y R1.

Palabras clave: Distribución radical, diámetro, profundidad del suelo.

ABSTRACT

This study was done with the aim of investigate on the root distribution of persian lime trees growing in a sandy soil and on a clay one in Martínez de la Torre, Ver. It was employed the soil trench profile method, and the roots were classified in four categories, according to their diameter: R1 (>15 mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) and R4 (<1 mm). The trenches were 4 m long, 1 m deep and 0.8 m wide and three trenches were made for each tree (50 cm from the trunk, canopy perimeter and half-way between them). For each soil four homogeneous trees, twelve-years-old and nine-years-old for the sandy soil and for the clay one. The roots were grouped into three depth stratum (0-30 cm, 30-60 cm and 60-100 cm). The number of roots was submitted to an analysis of variance and to a multiple means comparison test, considering the depth and the distance from the trunk as factors. The higher number of roots was observed, for both types of soil, in the 0-30 cm deep soil stratus, decreasing in the deeper stratum. The number of roots followed the tendency to decrease as the distance from the trunk increased. The most abundant roots were R4, or fibrous, followed by R3, R2 and R1.

Key words: Root distribution, diameter, soil depth.

¹ Tesista

² Director

2.1. INTRODUCCIÓN

En México el principal porta injerto para la producción de limón persa lo sigue siendo el naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.) en más del 90 % de las plantaciones, debido a sus adecuadas características (Curti *et al.*, 2000). Por lo anterior es importante determinar y conocer el comportamiento del sistema radical del árbol. Hardi (1974) define el espacio radical como el volumen de suelo que posee las características convenientes para el desarrollo y funcionamiento de las raíces. De acuerdo con Díaz (2003) las raíces de árboles se clasifican por su distribución como horizontales o verticales, donde las primeras están casi paralelas al suelo de 30 a 100 cm de profundidad y las segundas crecen hacia abajo hasta profundidades de 2 a 10 m. Por su función se consideran como estructurales o fibrosas; las primeras son largas, gruesas e incluyen raíces de orden cero (primarias) y de primer hasta tercer orden de ramificación. Las segundas son importantes para el funcionamiento de los frutales y se forman como laterales en el tercer o mayor orden de ramificación radical, siendo muy cortas (pocos milímetros hasta centímetros) y delgadas (< 3 mm). De acuerdo con su función, las fibrosas se clasifican en cuatro grupos: a) de crecimiento (hasta 25 cm de largo) constituyen la base para ramificaciones con cierta capacidad de absorción; b) absorbentes muy cortas (0.1 a 4 mm) y delgadas (0.3 a 3 mm) de vida corta de 15 a 25 días; c) intermedias las cuales fueron absorbentes y su presencia es señal de crecimiento de raíz; d) conductoras provenientes de las intermedias y llegan a ser raíces estructurales. Estudios sobre la distribución del sistema radical de los cítricos muestran el efecto que ejercen las propiedades físico-químicas, el manejo del suelo y del cultivo, sobre el desarrollo y disposición de las raíces (Avilán *et al.* 1979; Avilán *et al.* 1982; Avilán *et al.* 1983; Avilán *et al.* 1984; Ford, 1954; Hagin *et al.* 1965; Morín, 1980 y Weir, 1976). Lo anterior sirve como referencia para seleccionar

áreas adecuadas para establecer plantaciones y las prácticas agronómicas que permitan implementar un uso racional de los recursos suelo y planta e incrementar la productividad. Son varios los factores que afectan el desarrollo y distribución de las raíces de cítricos. Avilán *et al.*, (1986) comparando la distribución radical de naranjo agrio (*C. aurantium* L.), cleopatra (*C. reshni* Hort, ex Tan) y Volkameriana (*C. volkameriana* Pasq.) observaron que la secuencia textural en el perfil del suelo tiene una gran influencia. Otros estudios muestran diferencias en la distribución y peso radical en suelos de textura gruesa y fina. (Avilán *et al.*, 1980; Hagin *et al.*, 1965). Tozcu *et al.* (1984) indican que el naranjo agrio en suelos arenosos no puede crear una cabellera de raíces ampliamente extendida aunque Castle y Krezdorn (1977) señalan que esta baja eficiencia en la zona superficial es compensada por una mayor en capas profundas. Castle y Youtsey (1977) indican que en textura arenosa fina, el naranjo agrio presentó un vigoroso y extenso sistema radical. Valores altos ($1.5-1.6 \text{ g cm}^{-3}$) de densidad aparente del suelo inhiben el crecimiento vegetativo y radical, disminuyen la aireación y el potencial hídrico e incrementan la resistencia a la penetración (Ayres, 1973 y Cintra *et al.*, citados por Vieira *et al.*, 2004). Castle y Krezdorn (1977) encontraron que un mayor potencial hídrico incrementa el número de raíces. Conforme aumenta la compactación, el número de raíces disminuye pero en suelos con porosidad mayor al 40 % pueden penetrar sin dificultad. Wiersum (1957) probó que las raíces penetran una capa con estructura porosa rígida si su diámetro es menor al de los poros y que una buena estructura física del suelo es lo más importante para el crecimiento normal. Jacob y Uexkull (1964); Obreza y Collins (2002) y Serpa (1969) señalan que suelos profundos, arenosos, bien aireados, sin excesos de humedad, sin capas impermeables y buena fertilidad natural son los más apropiados. Noling (1992) menciona que la temperatura

mínima del suelo para el crecimiento de raíces de cítricos es de 12.2 °C con el período más activo en verano (26.6 °C) en clima cálido húmedo. Bryla *et al.*, (2001) determinaron que la mayoría de las raíces finas están distribuidas cerca de la superficie y en suelo húmedo la respiración de la raíz se incrementa exponencialmente con los cambios en la temperatura. Espeleta y Eissenstat (1997) estudiando la respuesta de las raíces finas a tratamientos de sequía comparando árboles adultos y plántulas encontraron que aquellas producidas por árboles adultos tendieron a presentar una mayor longitud específica comparando con las producidas por plántulas. Al respecto Achor y Eissenstat, resultados no publicados, citados por Espeleta y Eissenstat (1997) mencionan que las plántulas de cítricos tienen el potencial para desarrollar xilema secundario en sus raíces finas a diferencia de los árboles fructificantes. La distribución radical en cítricos se afecta por capas argílicas por una baja permeabilidad de 0.2 pulgadas hr^{-1} o menos (Ford, 1973; Obreza y Collins, 2002). De acuerdo con Noling (1992) en los horizontes del subsuelo con capas de arcilla, piedra caliza o marga (greda), pH abajo de 5 y altos niveles de metales (cobre, zinc y manganeso) el crecimiento radical en profundidad se restringe. Minessy *et al.* (1971) determinaron que con cambios en el nivel freático las raíces disminuyen su extensión y cambian su dirección hacia la superficie. Noling (1992) y Koller (1994) citado por Vieira *et al.*, (2004) mencionan que los cítricos en suelos arenosos exploran grandes profundidades con más del 50 % de sus raíces fibrosas hasta los 75 cm, en suelos mal drenados la profundidad de enraizamiento se limita a 70 cm con 75 % de raíces en la parte superficial. La cantidad de raíces tiende a ser mayor en la parte superficial del suelo y al aumentar la profundidad va disminuyendo gradualmente. Avilán *et al.* (1982) en cítricos encontraron elevados niveles de fertilidad en los primeros cm del suelo, con relación a fósforo, potasio y calcio, mientras que en

contraposición los resultados foliares para estos elementos varían grandemente de un lugar a otro. La absorción se efectúa debido a interacciones raíz-suelo (en lo referente a fósforo y potasio), lo que indica el grado de exploración del suelo. Minessy *et al.* (1971) en referencia a los niveles foliares de los elementos fósforo, potasio, calcio y magnesio respecto a la profundidad del nivel freático señalan una tendencia a variar del elemento calcio en los contenidos foliares, en función de la profundidad del nivel freático. El calcio disminuye en la medida que la mesa de agua se hace más superficial, al contrario de los elementos fósforo, potasio y magnesio que no muestran ninguna tendencia tomando en consideración los exigentes requerimientos de aireación de las raíces de los cítricos reportados por Stolzy *et al.* (1961). Cohen (1972) y Vieira *et al.* (2004) comparando sistemas radicales de porta injertos para limón persa, encontraron que los contenidos de P, Ca, Mg y la capacidad de intercambio catiónico fueron mayores en la capa superficial del suelo. Mientras que en la capa de 25-100 cm los contenidos de Al fueron altos y los de Ca y Mg fueron muy bajos lo cual interfirió con el desarrollo radical porque el exceso de Al y bajo contenido de Ca son barreras químicas para la ramificación y elongación radical. Respecto a la práctica de irrigación Noling (1992) indica que afecta la distribución y desarrollo de raíces encontrándose la mayor concentración de las fibrosas dentro del volumen de suelo húmedo alrededor de los emisores. Vieira y Gomes (1999) encontraron que la profundidad efectiva para lima ‘Rangpur’ injertada con lima persa fue de 50 cm para el caso de huertos irrigados. Mientras que Macahado y Coelho, (2000) citados por Vieira *et al.* (2004) para lima persa injertada sobre lima ‘Cravo’ encontraron una profundidad efectiva de 40 cm para huertos no irrigados. Vieira *et al.* (2004) correlacionando la cantidad de raíces y la distancia desde el tronco en portainjertos para limón persa en suelo arcilloso justifican la

fertilización y encalado al colocar el fertilizante en banda a los 2/3 dentro de la proyección de la copa y 1/3 fuera de la misma. Noling (1992) menciona que la más alta densidad de raíces en los primeros 60 cm de la superficie del suelo crecen bajo la copa del árbol decreciendo marcadamente con la distancia desde el tronco hacia la zona de goteo. En relación a la distancia lateral de raíces de seis porta injertos Vieira *et al.*, (2004) encontraron que fueron similares al radio de la copa del árbol presentándose mayor concentración bajo la copa sin embargo, Machado y Coelho (2000) citados por Vieira *et al.*, (2004) encontraron distancias más pequeñas que el radio de la copa para lima 'Rangpur'. Avilan *et al.* (1986) al estudiar y comparar el sistema radical de naranjo agrio, mandarino cleopatra y limón volkameriana, encontraron marcadas diferencias en distribución y espacio radical explorado. Avilán *et al.* (1982) estudiando el sistema radical en naranjo valencia y toronja marsh sobre porta injerto naranjo agrio en suelos calcáreos encontraron afectación en la distribución radical debido al horizonte calcáreo situado entre los 24 y 40 cm de profundidad presentándose un 80 % de raíces a los 30 cm. Morín (1985) señala que el naranjo agrio presenta una buena tolerancia a los suelos calcáreos. Quintero *et al.* (1997) estimando la biomasa y distribución radical en naranja valencia injertada sobre naranjo agrio encontraron que la distribución radical se localiza básicamente sobre los primeros 60 cm de profundidad. Quintero *et al.* (1997) usando dos métodos de estudio encontraron que la mayor cantidad de raíces se localiza después de los 100 cm de longitud a partir del tallo hasta la zona de goteo y dentro de los primeros 60 cm de profundidad disminuyendo con la profundidad. Al respecto Mattos *et al.* (2003) para naranja hamlin encontraron que conforme se incrementa la profundidad disminuye la densidad de raíces asimismo conforme se incrementa la distancia desde el

tronco, concentrándose las raíces fibrosas (<0.2 cm de diámetro) en los primeros 15 cm de profundidad y representando más del 70 % del total de raíces en la capa de 0 a 45 cm.

Debido a la importancia que tiene el conocimiento de la distribución radical respecto a la productividad del árbol, relacionado con el manejo, se planteó el siguiente objetivo para este trabajo.

2.2. OBJETIVO

Determinar la distribución horizontal del sistema radical de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en dos tipos de suelo.

2.3. HIPÓTESIS

La distribución del sistema radical está ligada al medio en que se desarrolla.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Sitio de estudio

El trabajo se realizó en dos huertos de árboles de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) injertados sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium* L). El huerto 1 se ubicó en suelo arenoso en el ejido ‘La Palma’ situado a 15 km al norte de Martínez de la Torre, Ver., a una altitud de 151 m. El segundo huerto se ubicó en suelo arcilloso en el ejido ‘La Peña’ municipio de Nautla, Ver., a una altitud de 10 m y a 40 km al este de Martínez de la Torre, Ver.

Para el huerto 1 el clima es cálido húmedo con lluvias todo el año, con influencia de monzón, con alta oscilación térmica, una precipitación anual de 1743 mm y la temperatura media anual es de 24 °C. Para el huerto 2 se reporta un clima cálido húmedo con una temperatura media anual de 25.5° C y una precipitación media anual de 1338 mm (García, 1981).

2.4.2. Material vegetal

En el huerto 1 se emplearon árboles de 12 años de edad plantados a 6 x 6 m en marco real. Para el huerto 2 se emplearon árboles de 9 años de edad sembrados a 5 x 5 m en marco real. Se seleccionaron cuatro árboles homogéneos por cada huerto según su edad, porte, vigor y sanidad considerando también el perímetro del tronco, altura del árbol, diámetro de copa y carga de fruta.

2.4.3. Manejo de los árboles.

El manejo agronómico de ambos huertos se considera normal, para ambos se realizan dos controles al año de maleza con herbicidas (glifosato), no se usa maquinaria (rastra o chapeadora) y se realizan dos fertilizaciones al año la primera en febrero-marzo y la segunda en julio-agosto (inicio de lluvias) empleando básicamente 2 kg urea al suelo por árbol. Generalmente el control de plagas y enfermedades es poco y se basa en la aplicación de fungicidas (cupravit) para el control de la antracnosis (*Colletotrichum acutatum*) en floración y acaricidas (ethión 500) para controlar ácaros como la araña roja (*Phyllocoptruta oleivora*) y ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) durante el amarre y crecimiento del fruto. Respecto a la poda se realiza una vez al año. En el caso

del huerto 1 se aplicaron a fines del mes de octubre de 2002 sustancias defoliantes (tidiazurón a 300 mg L^{-1}) para incrementar la producción invernal.

2.4.4. Método de estudio

El método de estudio empleado para determinar la distribución de las raíces fue el de la pared del perfil del suelo (descrito por Schuurman y Goedewaagen, 1965 y Böhm, 1979). Para el huerto 1, el trabajo se inició en el mes de febrero del 2003 y para el huerto 2 en el mes julio del 2003. Se construyeron tres cepas o trincheras por cada árbol empleado, en sentido transversal a la línea de árboles, de 4 m de largo, 1 m de profundidad y 0.8 m de ancho. Estas se ubicaron una a 50 cm del tronco del árbol, otra en la zona de goteo y otra más en la parte media entre el tronco y la zona de goteo.

2.4.5. Conteo de raíces

Para el conteo de raíces éstas se clasificaron de acuerdo a su diámetro en cuatro categorías, siendo las R1 raíces mayores de 15 mm, R2 raíces de 5 a 15 mm, R3 raíces de 1 a 5 mm y R4 raíces menores a 1 mm. Una vez clasificadas las raíces, se dibujó el perfil de cada una sobre tramos de polietileno de 1.2 m de altura por 4 m de largo para cubrir la pared del perfil del suelo, empleándose para ello plumones de tinta indeleble y apoyándose con un marco de madera de 1 m x 1m cuadriculado con hilos de cáñamo a cada 10 cm con objeto de agrupar los conteos en tres estratos de profundidad (0-30, 30-60 y 60-100 cm). Se empleó una simbología para las diferentes categorías de raíces, siendo un punto pequeño color café para la raíz menor de 1 mm, un punto azul para la raíz de 1 a 5 mm, un círculo azul para la raíz de 5 a 15 mm y un círculo azul grande y relleno para las raíces mayores a 15 mm. Posteriormente se guardaron los tramos de

polietileno para su conteo, registro y captura posterior, apoyándose en una mesa de trabajo con una cuadrícula de 1 m por 1 m dividida cada 10 cm.

2.4.6. Análisis foliar y de suelo

Se analizaron muestras de hojas tomadas de ramas sin frutos, de flujos de crecimiento del año de 5 a 7 meses de edad, de la quinta posición desde el ápice hacia la base que estuvieran sanas y sin daños) y se determinó por análisis químicos (Alcántar y Sandoval, 1999) N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn y Zn; así como muestras de suelo en cada huerto considerando tres estratos de profundidad (0-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm). Se determinaron las siguientes características del suelo (Etchevers, 2001) : la textura por el método de Bouyoucos; la materia orgánica por el método de Walkley y Black; el pH en relación 1:2 suelo-agua con potenciómetro; la conductividad eléctrica leída en el extracto para pH con el mismo aparato Hanna Modelo 99120; la capacidad de intercambio catiónico por cationes intercambiables extraídos con acetato de amonio 1.0 pH 7.0; el N por método Kjeldahl; el P por el método Bray; el K por espectrofotometría de emisión de flama; el Ca y Mg por Volumetría (EDTA 0.01 N); el Fe, Cu, Zn ,y Mn fueron extraídos y leídos en espectrofotómetro de absorción atómica; el B fue determinado por el método de la azometina-H.

2.4.7. Análisis de datos

Con los datos de números de raíces por cada categoría establecida, perfil estudiado y por cada estrato de profundidad se concentró la información para obtener los totales, promedios y porcentajes respecto a la distribución radical. También se corrió un programa de análisis de varianza (SAS) y las respectivas pruebas de medias,

considerando como factores de análisis: el estrato de profundidad P con tres niveles, el perfil o distancia D desde el tronco a la zona de goteo con tres niveles y las cuatro categorías de raíces R establecidas. A cada árbol se denominó un bloque B, siendo la variable respuesta el número de raíces por cada categoría. Analizándose cada factor por separado y sus respectivas combinaciones. Cabe mencionar que el análisis de la información fue para cada huerto en particular ya que entre ellos no se pueden hacer comparaciones estadísticas porque se confunden varios efectos.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5. 1. Características de los suelos y árboles estudiados

El Cuadro 1 muestra que el suelo arcilloso presentó las mejores características físico-químicas, con un pH adecuado cercano al neutro que favorece la absorción de nutrimentos y presentó mayor fertilidad según la capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica. La concentración de nutrimentos fue mayor en el suelo arcilloso respecto al arenoso de acuerdo a su clasificación (Guerrero, 1990). Para ambos suelos la concentración de nutrimentos fue mayor en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad.

2.5.2. Concentración de nutrimentos en hojas

Las Figuras 1, 2, 3 y 4 muestran que los macronutrimentos de los árboles en suelo arenoso presentaron valores bajos para N y suficientes para P, K, Ca y Mg mientras que para el suelo arcilloso los valores fueron bajos para N y K, y suficientes en P, Ca y Mg (Jones, 1991). En el huerto de suelo arenoso el B y Zn presentaron valores bajos, mientras que Cu, Fe y Mn mostraron valores suficientes a diferencia del arcilloso en el cual B, Fe y Mn presentaron valores suficientes, siendo bajos para Cu y Zn.

Cuadro 1. Valores de las variables químicas, físicas, concentración de nutrimentos del suelo y características generales de los árboles de los huertos empleados para los estudios de distribución radical. Martínez de la Torre, Ver. 2003.

CARACTERÍSTICA		SUELO ARENOSO (LA PALMA)			SUELO ARCILLOSO (NAUTLA)		
PROFUNDIDAD (cm)		0-30	30-60	60-100	0-30	30-60	60-100
Pendiente		< 2%	< 2%	< 2%	< 2%	< 2%	< 2%
pH		5.66	5.76	6.53	6.16	6.41	6.58
Clasificación.		Med ácido	Med ácido	Lig. ácido.	Med. Ácido	Lig. Ácido	Lig. Ácido
Conductividad eléctrica (ms cm ⁻¹)		0.27	0.04	0.02	0.62	0.34	0.31
Clasificación.		No salino	No salino	No salino	No salino	No salino	No salino
Capacidad de intercambio catiónico (cmoles/100g)		10.07	11.13	4.77	30.21	28.09	25.44
Clasificación (Fertilidad)		Media	Media	Baja	Alta	Alta	Alta
TEXTURA							
Arena	(%)	55.12	51.12	47.12	32.76	32.76	26.76
Limo	(%)	14.00	20.00	18.00	28.00	22.00	15.64
Arcilla	(%)	30.88	28.88	34.88	39.24	45.24	57.60
Clasificación.		Mig. Arc. Arenoso	Mig. Arc. Arenoso	Mig. Arc. Arenoso	Arcilla	Arcilla	Arcilla
Materia Orgánica	(%)	2.08	2.55	0.74	4.30	1.68	1.08
Clasificación.		Medio	Medio	Muy pobre	Rico	Pobre	Pobre
MACRONUTRIMENTOS							
Nitrógeno	(%)	0.012	0.007	0.004	0.007	0.004	0.006
Clasificación.		Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Fósforo	(mg kg ⁻¹)	21.26	2.41	0.00	43.36	0.46	0.00
Clasificación.		Normal	Muy bajo		Muy alto	Muy bajo	
Potasio	(mg kg ⁻¹)	191.93	56.47	93.98	316.97	116.90	150.25
Clasificación.		Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Normal	Muy bajo	Muy bajo
Calcio	(mg kg ⁻¹)	36.07	40.08	96.19	216.43	200.40	204.41
Clasificación.		Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
Magnesio	(mg kg ⁻¹)	12.16	19.46	19.46	26.75	26.75	36.48
Clasificación.		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
MICRONUTRIMENTOS							
Boro	(mg kg ⁻¹)	58.32	25.14	21.46	28.83	19.61	6.71
Cobre	(mg kg ⁻¹)	0.17	0.18	0.00	4.98	1.78	1.17
Hierro	(mg kg ⁻¹)	65.84	103.56	19.12	233.22	74.88	40.68
Manganeso	(mg kg ⁻¹)	37.52	7.64	4.17	47.82	30.28	59.2
Zinc	(mg kg ⁻¹)	1.24	0.96	0.24	5.05	0.87	0.50
ÁRBOLES							
Edad (años)			12			9	
Altura (m)			3.01			2.32	
Diámetro de copa (m)			5.30			4.85	
Perímetro del tronco (cm)			41.53			44.67	

Med= Medianamente Lig= Ligeramente Mig = Migajón Arc= Arcillo

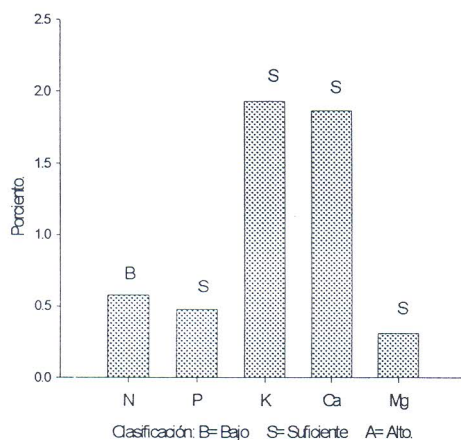


Figura 1. Concentración de macronutrientes en hojas de limón persa injertado sobre naranjo agrio (Suelo arenoso).

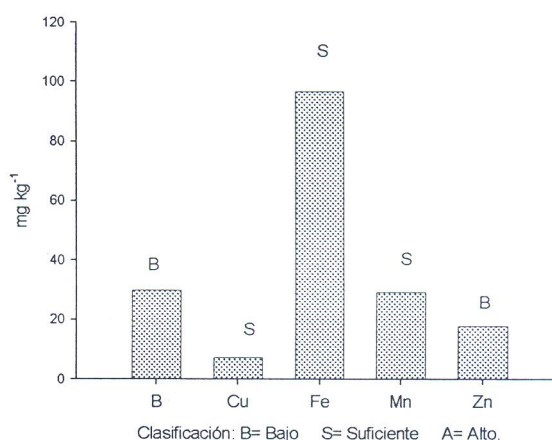


Figura 2. Concentración de micronutrientes en hojas de limón persa injertado sobre naranjo agrio (Suelo arenoso).

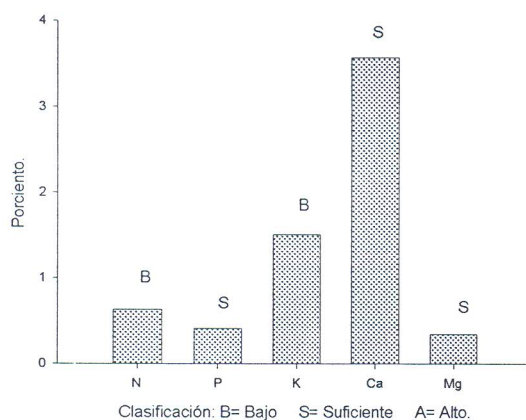


Figura 3. Concentración de macronutrientes en hojas de limón persa injertado sobre naranjo agrio (Suelo arcilloso).

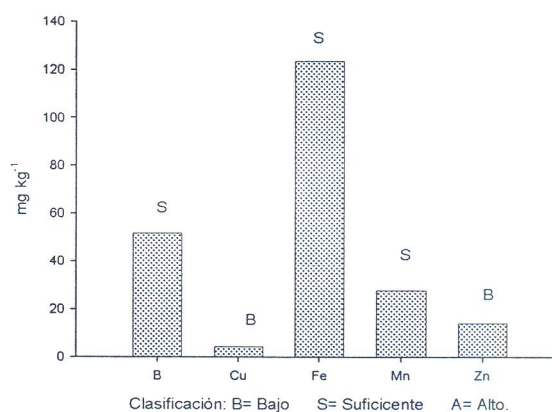


Figura 4. Concentración de micronutrientes en hojas de limón persa injertado sobre naranjo agrio (Suelo arcilloso).

Los árboles del suelo arcilloso fueron ricos en B pero bajos en Cu, mientras que el Fe, Mn y Zn se comportaron de manera similar en ambos huertos. El estado nutricional fue similar en ambas huertas aunque el pH, edad del árbol, el manejo y el suelo influyeron en los resultados.

2.5.3. Análisis del número de raíces

El Cuadro 2 presenta el concentrado de datos en número y porcentaje de los diferentes tipos de raíces para el huerto de suelo arenoso, se observa que los mayores valores tanto en número como porcentaje sin considerar el tipo de raíz tienden a presentarse en el estrato de 0 a 30 cm siendo mayores a los 50 cm de distancia del tronco con la tendencia a disminuir hacia la zona de goteo y hacia los estratos de profundidad de 30-60 y 60-100 cm respectivamente, resultados similares a los mencionados por Avilán *et al.*(1980) y Noling (1982). Considerando los tipos de raíces estudiados las R4 (< 1 mm) son las que presentaron los mayores valores respecto y el comportamiento observado fue que en orden descendente les siguieron R3 (1-5 mm), R2 (5-15 mm) y R1 (> 15 mm). Cabe hacer la observación que se encontraron grandes cantidades relativas de raíces hasta los 100 cm de profundidad predominando R4 pero existiendo valores bajos para los otros tipos, lo anterior se relaciona con las características, ya comentadas, del suelo en este huerto de estudio ya que una textura franca o migajón no opone mucha resistencia mecánica a la penetración de las raíces como lo indican Ayala (1976) y Noling (1982), además que la ubicación del terreno en una zona plana y buen drenaje y aireación posiblemente permite y obliga a las raíces a explorar estratos más profundos para obtener agua y nutrimentos por lo cual este suelo sería apropiado para el cultivo de los cítricos como lo indican Jacob y Uexkull (1964). Destacan las raíces fibrosas (< 1 mm) que son las encargadas principales de la absorción de agua y nutrimentos ya que se presentaron con valores superiores al 96 % respecto a los otros tipos estudiados que en general presentan valores inferiores R3 (2%), R2 (1%) y para R1 (0.5 %) coincidiendo con lo encontrado por Castle y Youtsey (1977). Cabe aclarar que aunque las raíces R1 presentaron los menores valores en número estas raíces son muy grandes en cuanto a

tamaño. Asimismo se observaron raíces que se extienden más allá de la zona de goteo al momento de hacer las cepas o trincheras.

Cuadro 2. Distribución radical por estrato de profundidad y perfil realizado en árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio (Suelo arenoso). Martínez de la Torre, Ver. 2003.

ESTRATO (cm)	TIPO DE RAIZ	50 CM DEL TRONCO (T)		PARTE MEDIA (T—Z. G.)		ZONA DE GOTEO (Z. G.)	
		NUMERO	%	NUMERO	%	NUMERO	%
0-30	R1*	14.5	0.41	4	0.16	0.5	0.02
	R2	34	0.96	19	0.78	2	0.08
	R3	54	1.52	27.5	1.12	25.5	1.05
	R4	2702	76.25	1456	59.46	1210	49.61
30-60	R1	0.5	0.01	0	0.00	0	0.00
	R2	4.5	0.13	1	0.04	0	0.00
	R3	5	0.14	5.5	0.22	6	0.25
	R4	309	8.72	286.5	11.70	371	15.21
60-100	R1	1.5	0.04	1	0.04	0.5	0.02
	R2	0.5	0.01	3.5	0.14	1	0.04
	R3	8	0.23	6.5	0.27	9	0.37
	R4	265	7.48	481	19.64	516	21.16
TOTAL							
	R1	16.5	0.47	5	0.20	1	0.04
	R2	39	1.10	24	0.98	3	0.12
	R3	71	2.00	40.5	1.65	41.5	1.70
	R4	3417	96.43	2379	97.16	2393.5	98.13
	TOTALES	3543.5	100.00	2448.5	100.00	2439	100.00

* R1 (> 15mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) y R4 (< 1 mm).

En el Cuadro 3 se puede observar para el huerto en suelo arcilloso que los mayores porcentajes de raíces, sin considerar cada tipo estudiado, se presentaron en el estrato de profundidad de 0 a 30 cm con valores mayores en la zona de goteo siguiéndole la parte media y al final a los 50 cm del tronco. La tendencia de los valores observados fue a descender hacia los estratos más profundos de 30-60 cm y 60-100 cm sólo que en estos estratos la tendencia de los porcentajes observados fue a decrecer desde los 50 cm del tronco hacia la zona de goteo. Lo mencionado anteriormente no concuerda con lo señalado por Quintero *et al.* (1997) en el sentido de que la mayor cantidad de raíces para naranja se localizaron después de los 100 cm de longitud a partir del tallo hasta la zona de goteo ni tampoco con lo obtenido para el huerto en suelo arenoso (Cuadro 2) pero si

con lo reportado por Avilán *et al.* (1980) ya que la mayor concentración de raíces (sin considerar el perfil) se presentó dentro de los primeros 60 cm de profundidad con la tendencia a disminuir conforme se incrementó la profundidad, el suelo arcilloso presentó una mejor fertilidad (alta) respecto al arenoso (media) lo cual también pudo influir sobre los resultados de acuerdo con lo señalado por Vieira *et al.* (2004). Respecto a los tipos de raíces se observa, de manera similar que al huerto anterior, que son las raíces R4 (< 1 mm) las que presentan los mayores valores en todas las combinaciones de estratos de profundidad y perfiles realizados coincidiendo con lo reportado por Noling (1992) para estudios de raíces fibrosas. La tendencia general observada a este respecto para R3 (1-5 mm), R2 (5-15 mm) y R1 (> 15 mm) es a presentar mayores valores en el estrato de 0-30 cm descendiendo hacia los estratos más profundos. Cabe destacar que por ejemplo R1 presenta un valor de 0.0% en el estrato de 60-100 cm y en la distancia de la zona de goteo, por lo cual a pesar de ser las raíces más grandes ya no exploran grandes distancias horizontales a partir del tronco (2.42 m de radio) posiblemente por lo señalado por

Cuadro 3. Distribución radical por estrato de profundidad y perfil realizado en árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio (Suelo arcilloso). Nautla, Ver. 2003.

ESTRATO (cm)	TIPO DE RAIZ	50 CM DEL TRONCO (T)		PARTE MEDIA (T---Z. G.)		ZONA DE GOTEO (Z.G.)	
		NUMERO	%	NUMERO	%	NUMERO	%
0-30	R1*	6.50	0.24	8	0.08	8	0.17
	R2	16.50	0.62	53	0.51	29	0.62
	R3	23.25	0.88	75	0.72	93	1.99
	R4	1341.00	50.48	5907	56.74	3231	69.04
30-60	R1	1.25	0.05	6.00	0.06	1.00	0.02
	R2	15.50	0.58	27.00	0.26	4.00	0.09
	R3	22.75	0.86	80.00	0.77	52.00	1.11
	R4	847.50	31.91	2945.00	28.29	1020.00	21.79
60-100	R1	0.25	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	R2	5.50	0.21	8.00	0.08	1.00	0.02
	R3	10.25	0.39	43.00	0.41	5.00	0.11
	R4	366.00	13.78	1259.00	12.09	236.00	5.04
TOTAL							
	R1	8	0.30	14	0.13	9	0.19
	R2	37.5	1.41	88	0.85	34	0.73
	R3	56.25	2.12	198	1.90	150	3.21
	R4	2554.5	96.17	10111	97.12	4487	95.88
	TOTALES	2656.25	100.00	10411	100.00	4680	100.00

* R1 (> 15mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) y R4 (< 1 mm).

Vieira *et al.* (2004) en relación a que se presenta una mayor concentración de raíces bajo la copa del árbol debido a que existen menos pérdidas de humedad por evaporación y se favorece más el desarrollo de éstas.

En las Figuras 5 y 6 se muestran las tendencias observadas respecto al porcentaje de raíces totales para ambos huertos donde en el estrato de 0 a 30 cm se presentaron los porcentajes mayores de raíces en los tres perfiles (distancias) realizados con la tendencia a descender (promedios) conforme se incrementó la profundidad y conforme aumentó la distancia desde el tronco lo cual coincide con lo indicado por Bryla *et al.*, (2001).

Ambos tipos de suelo fueron más fértiles en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad, aunque el suelo arcilloso fue más fértil que el arenoso, y considerando que los cítricos son muy exigentes en cuanto al oxígeno (Stolzy *et al.*, 1961) al aumentar la profundidad disminuye la aireación y con ello la cantidad de raíces; además de que para el caso específico del suelo arcilloso la profundización de la raíz se puede afectar aún más con los altos contenidos de arcilla en los estratos más profundos como lo indican Noling (1992) y Obreza y Collins (2002).

Los resultados anteriores coinciden con lo reportado por Macahado y Coelho, (2000) citados por Vieira *et al.* (2004) donde para lima persa encontraron una profundidad efectiva de 40 cm en huertos no irrigados.

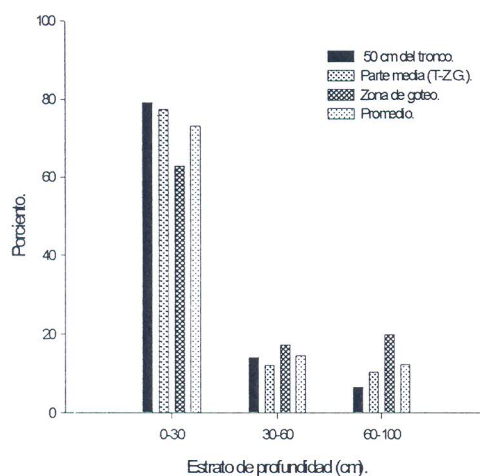


Figura 5. Porcentaje de raíces totales por estrato de profundidad (cm) y por perfil realizado en naranjo agrio (Suelo arenoso).

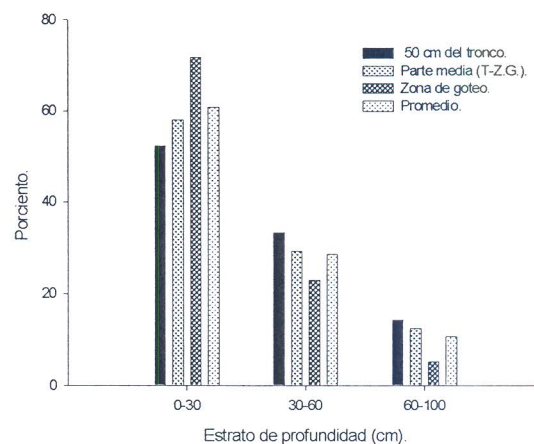


Figura 6. Porcentajes de raíces totales por estrato de profundidad (cm) y por perfil realizado en Naranjo agrio (Suelo arcilloso).

2.5.4. Análisis estadístico de los datos

Los Cuadros 4 y 5 muestran que son las raíces R4 (<1 mm) las que resultan más abundantes y diferentes al resto de los diámetros las cuales son entre sí estadísticamente iguales en los dos huertos estudiados. Para ambos el número de raíces en el estrato

Cuadro 4. Número de raíces totales por clase y efecto de profundidad y distancia al tronco del árbol sobre el número de raíces de árboles de limón persa en suelo arenoso. Martínez de la Torre, Ver. 2003.

RAÍCES	MEDIA		PROFUNDIDAD	MEDIA	DISTANCIA (PERFIL)		MEDIA
R1 (> 15mm)	2.17	b ^z	P1 (0-30 cm)	612.81	a	D1 (50 cm del Tronco)	368.58
R2 (5-15 mm)	8.19	b	P2 (30-60 cm)	115.44	b	D2 (Parte media)	273.52
R3 (1-5 mm)	16.42	b	P3 (60-100 cm)	87.81	b	D3 (Zona de goteo)	173.96
R4 (< 1 mm)	1061.31	a					
C.V.	129.6893			129.6893			129.6893
D.M.S.	216.98			171.13			171.13

^z Valores de números con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

R= Raíces: R1 (> 15mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) y R4 (< 1 mm).

P = Profundidad (cm) : P1 (0-30), P2 (30-60) y P3 (60-100).

D = Distancia: D1 (50 cm del tronco), D2 (parte media) y D3 (zona de goteo).

Cuadro 5. Número de raíces totales por clase y efecto de profundidad y distancia al tronco del árbol sobre el número de raíces de árboles de limón persa en suelo arcilloso. Nautla, Ver. 2003.

RAÍCES	MEDIA		PROFUNDIDAD	MEDIA		DISTANCIA (PERFIL)	MEDIA
R1 (> 15mm)	1.78	b ^z	P1 (0-30 cm)	381.54	a	D1 (50 cm del Tronco)	221.35 a
R2 (5-15 mm)	8.50	b	P2 (30-60 cm)	182.50	b	D2 (Parte media)	216.90 a
R3 (1-5 mm)	20.08	b	P3 (60-100 cm)	69.21	b	D3 (Zona de goteo)	195.00 a
R4 (< 1 mm)	813.97	a					
C.V.	67.452			67.452			67.452
D.M.S.	87.573			69.069			69.069

^z Valores de números con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

R= Raíces: R1 (> 15mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) y R4 (< 1 mm).

P = Profundidad (cm) : P1 (0-30), P2 (30-60) y P3 (60-100).

D = Distancia: D1 (50 cm del tronco), D2 (parte media) y D3 (zona de goteo).

de profundidad de 0 a 30 cm fue mayor a los otros, mientras que los otros dos fueron estadísticamente iguales entre sí. Para las distancias (perfiles) no hubo diferencias estadísticas en el huerto en suelo arcilloso, y en el huerto en suelo arenoso los mayores valores estuvieron a 50 cm del tronco descendiendo hacia la zona de goteo.

En el Cuadro 6 se observa para las diferentes combinaciones RP (raíz-profundidad) que resultó superior y estadísticamente diferente al resto de las combinaciones R4P1 (Raíz < 1 mm de 0-30 cm) con la tendencia a que las raíces R4 (< 1 mm) presentaron los mayores valores disminuyendo estos conforme aumentó la profundidad de P2 (30-60 cm) a P3 (60-100 cm). Los valores inferiores corresponden en este caso a las raíces tipo R1 (> 15 mm) los cuales son muy pequeños en las profundidades P2 (30-60 cm) y P3 (60-100 cm), sin embargo recordemos que aunque son pocas en número este tipo de raíces son las más grandes en cuanto a tamaño.

En lo referente a las combinaciones PD (profundidad-raíz) los valores superiores y estadísticamente diferentes al resto fueron para P1D1 (0-30 cm a 50 cm del tronco) y P1D2 (0-30 cm en la parte media) observándose que en cuanto a valor le sigue P1D3 (0-30 cm en la zona de goteo), lo que indica que el estrato de 0-30 cm a los 50 cm del tronco fue el que presentó mayor número de raíces sin considerar el tipo de estas y los menores valores se presentaron para el caso de las combinaciones P3D2 (60-100 cm en la parte media) y P3D1 (60-100 cm a 50 cm del tronco) lo que indica que en el estrato de 60 a 100 cm de profundidad fue donde se presentaron los menores valores. Para la combinación RD (raíz-distancia) los mayores valores corresponden a R4D1 (< 1mm a 50 cm del tronco), R4D2 (< 1mm en la parte media) y R4D3 (< 1mm en la zona de goteo) lo que indica que las raíces R4 (< 1mm) fueron superiores con la tendencia a disminuir conforme se incrementa la distancia desde los 50 cm del tronco hacia la zona de goteo. Mientras que los valores inferiores correspondieron a las raíces R1 (> 15 mm) en las distancias D2 (parte media) y D3 (zona de goteo).

Cuadro 6. Resultados del análisis estadístico para las diferentes combinaciones de raíz (R), profundidad (P) y distancia (D) en la distribución radical de limón persa (Suelo arenoso). Martínez de la Torre, Ver. 2003.

COMBINACION RP	MEDIA	COMBINACION PD	MEDIA	COMBINACION RD	MEDIA
R4P1	2391.3 a ^z	P1D1	876.0 a	R4D1	1431.9 a
R4P2	448.1 b	P1D2	634.9 a b	R4D2	1069.8 a b
R4P3	344.6 b	P1D3	327.6 b c	R4D3	682.2 b
R3P1	34.3 b	P2D1	156.1 c	R3D1	22.6 c
R2P1	20.2 b	P3D3	103.6 c	R3D2	15.2 c
R3P2	9.8 b	P2D2	99.5 c	R2D1	15.1 c
R1P1	5.5 b	P2D3	90.7 c	R3D3	11.5 c
R3P3	5.2 b	P3D2	86.2 c	R2D2	7.8 c
R2P2	3.4 b	P3D1	73.6 c	R1D1	4.8 c
R2P3	1.0 b			R2D3	1.8 c
R1P3	0.5 b			R1D2	1.3 c
R1P2	0.5 b			R1D3	0.4 c
C.V.	128.14		128.14		128.14
D.M.S.	475.73		390.36		475.73

^z Valores de números con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

R= Raíces: R1 (> 15mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) y R4 (< 1 mm).

P = Profundidad (cm) : P1 (0-30), P2 (30-60) y P3 (60-100).

D = Distancia: D1 (50 cm del tronco), D2 (parte media) y D3 (zona de goteo).

Las Figuras 7 y 8 muestran la variación del número de raíces según el diámetro de éstas para el huerto en suelo arenoso. Se observa que la tendencia para todos los tipos de raíz en estudio fue que los mayores valores se localizaron en la profundidad 1 (0-30 cm) en orden descendente desde la distancia D1 (50 cm del tronco) hasta la D3 (zona de goteo), de manera que los menores valores para todos los tipos de raíces tendieron a presentarse en la profundidad P3 y distancia D3 (60-100 cm, en la zona de goteo).

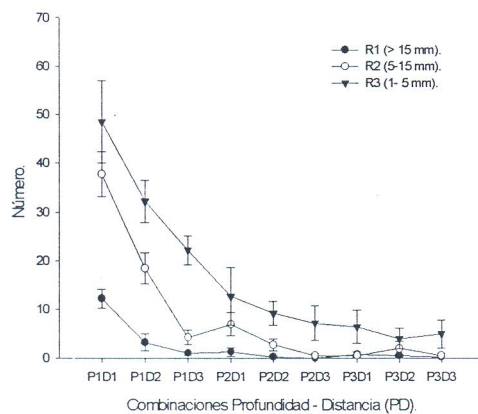


Figura 7. Variación del número de raíces R1, R2 y R3 en las diferentes combinaciones de Profundidad y Distancia (Suelo arenoso).

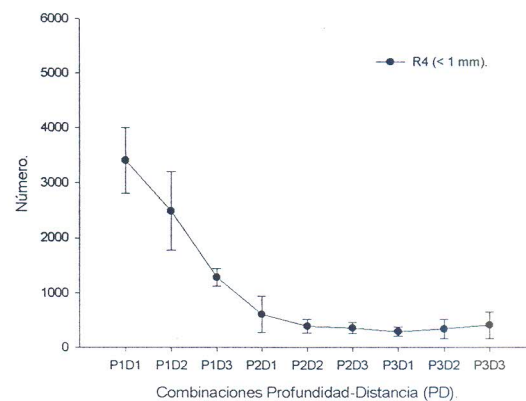


Figura 8. Variación del número de raíces R4 en las diferentes combinaciones de Profundidad y Distancia (Suelo arenoso).

En el Cuadro 7 se observa respecto a las combinaciones RP (raíz-profundidad), que las tres combinaciones superiores y estadísticamente diferentes entre sí fueron en orden descendente R4P1 (< 1mm y 0-30 cm), R4P2 (< 1mm y 30-60 cm) y R4P3 (< 1mm y 60-100 cm). El resto de las combinaciones estudiadas presentaron valores muy inferiores en cuanto a número respecto a las ya mencionadas y fueron estadísticamente iguales entre sí. De manera similar a los resultados para suelo arenoso nuevamente las combinaciones que tendieron a presentar los valores inferiores fueron R1P3 (> 15 mm y

60-100 cm) y R1P2 (>15 mm y 30-60 cm) lo que indica que este tipo de raíces que son muy grandes ya no alcanzan a explorar los estratos más profundos y por la textura pesada del suelo arcilloso esto dificultaría aún más su penetración respecto al suelo arenoso de acuerdo con Noling (1992) y, Obreza y Collins (2002).

Por otra parte en lo referente a las combinaciones PD (profundidad-distancia) destacan con los valores superiores P1 (0-30 cm) en las distancias D3 (zona de goteo), D2 (parte media) y D1 (50 cm del tronco). Mientras que los valores inferiores correspondieron a las profundidades P3 (60-100 cm) en las distancias D3 (zona de goteo), D2 (parte media) y D1 (50 cm del tronco); y con valores intermedios en la columna respectiva se tuvo a la profundidad P2 (30-60 cm). La tendencia general observada es a disminuir el número de raíces conforme se incrementa la profundidad, lo cual está asociado el tipo de textura del suelo y a su fertilidad por estratos de profundidad así como a la disminución de la aireación y temperatura de acuerdo con lo reportado por Noling (1992). Para las profundidades P2 (30-60 cm) y P3 (60-100 cm) la tendencia observada fue a disminuir el número de raíces conforme aumentó la distancia respecto al tronco del árbol. Sin embargo para la profundidad P1 (0-30 cm) la tendencia fue a presentar mayores valores en la zona de goteo decreciendo hacia el tronco. Para las combinaciones RD (raíz-distancia) los valores superiores pero estadísticamente iguales entre sí fueron en orden descendente R4D1 (< 1mm y 50 cm del tronco), R4D2 (< 1mm y parte media) y R4D3 (< 1 mm y zona de goteo) mismas que fueron diferentes estadísticamente al resto de las combinaciones, en este caso el orden decreciente fue para R3 (1-5 mm), R2 (5-15 mm) y R1 (> 15 mm) y para las distancias D la tendencia fue a disminuir el valor en orden decreciente desde los 50 cm del tronco hacia la zona de goteo cuestión que es similar a

lo observado para el suelo arenoso coincidiendo con lo señalado por Bryla *et al.* (2001) y Avilan *et al.* (1980) ya que en cítricos la mayoría de las raíces finas (< 1 mm) están distribuidas cerca de la superficie del suelo, lo que explica que tanto para el suelo arenoso como para el arcilloso las raíces R4 presentaron los mayores valores en la profundidad 1 (0-30 cm) y que de acuerdo a la textura y clima de una región la planta se ve obligada a desarrollar más su sistema radical.

Cuadro 7. Resultados del análisis estadístico para las diferentes combinaciones de raíz (R), profundidad (P) y distancia (D) en la distribución radical de limón persa (Suelo arcilloso). Nautla, Ver. 2003.

COMBINACION RP	MEDIA	COMBINACION PD	MEDIA	COMBINACION RD	MEDIA
R4P1	1477.75a ^z	P1D3	420.13 a	R4D1	851.50 a
R4P2	697.92 b	P1D2	377.69 a b	R4D2	842.58 a
R4P3	266.25 c	P1D1	346.81 a b c	R4D3	747.83 a
R3P1	29.50 d	P2D1	221.75 b c d	R3D3	25.00 b
R3P2	22.92 d	P2D2	191.13 c d	R3D1	18.75 b
R2P1	14.75 d	P2D3	134.63 d e	R3D2	16.50 b
R2P2	8.08 d	P3D1	95.50 d e	R2D1	12.50 b
R3P3	7.83 d	P3D2	81.88 d e	R2D2	7.33 b
R1P1	4.17 d	P3D3	30.25 e	R2D3	5.67 b
R2P3	2.67 d			R1D1	2.67 b
R1P2	1.08 d			R1D3	1.50 b
R1P3	0.08 d			R1D2	1.17 b
C.V.	66.081		66.081		66.081
D.M.S.	190.37		156.21		190.37

^z Valores de números con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

R= Raíces: R1 (> 15mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) y R4 (< 1 mm).

P = Profundidad (cm) : P1 (0-30), P2 (30-60) y P3 (60-100).

D = Distancia: D1 (50 cm del tronco), D2 (parte media) y D3 (zona de goteo).

Las Figuras 9 y 10 muestran la variación del número de raíces según el tipo de éstas en el suelo arcilloso. Se pudo observar que la tendencia para todos los tipos de raíz en estudio es que los mayores valores se localizan en la profundidad 1 (0-30 cm), sin embargo, el comportamiento es diferente al encontrado en el suelo arenoso respecto a la profundidad 1 (0 a 30 cm) en las tres distancias ya que hubo en este caso mayores valores en la distancia 3 (zona de goteo) decreciendo hacia los 50 cm del tronco. Mientras que los menores valores para todos los tipos de raíces tendieron a presentarse

en la combinación P3D3 (60-100 cm, en la zona de goteo). Sin embargo a partir de la profundidad 2 (30-60 cm) hacia la zona de goteo se presenta la misma tendencia del huerto en suelo arenoso observándose que nuevamente los menores valores para todos los tipos de raíces se localizan en la combinación P3D3 (60-100 cm en la zona de goteo).

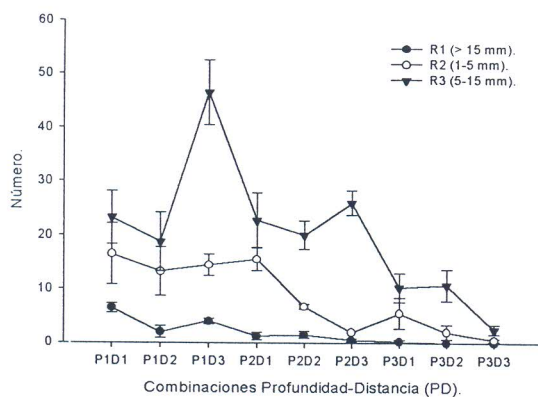


Figura 9. Variación en el número de raíces R1, R2 y R3 en las diferentes combinaciones de Profundidad y Distancia (Suelo arcilloso).

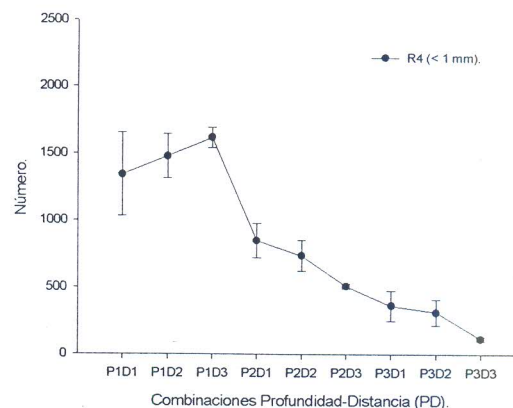


Figura 10. Variación en el número de raíces R4 en las diferentes combinaciones de Profundidad y Distancia (Suelo arcilloso).

El Cuadro 8 muestra que para el huerto en suelo arenoso los valores mayores corresponden a las nueve primeras combinaciones que incluyen a R4 (< 1mm) y destaca que las tres primeras corresponden a P1 (0-30 cm) y así sucesivamente para P2 (30-60 cm) y P3 (60-100 cm). Los menores valores en el cuadro citado para este lote lo presentan R1 (> 15 mm) en las profundidades P3 (60 –100 cm) y P2 (30-60 cm) y en la distancia D3 (zona de goteo) donde incluso R1P2D3 presentó un valor de cero número de raíces. Respecto al huerto en suelo arcilloso los valores obtenidos muestran que las combinaciones RPD superiores estadísticamente y diferentes al resto de las mismas fueron R4P1D3, R4P1D2, R4P1D1 lo que indica que las raíces menores de 1 mm en el

Cuadro 8. Comparación estadística de las combinaciones raíz, profundidad y distancia (R, P y D) para la distribución radical en limón persa en los dos huertos estudiados. 2003.

SUELO ARENOSO (LA PALMA)			SUELO ARCILLOSO (NAUTLA)		
COMBINACION	MEDIA		COMBINACION	MEDIA	
RPD			RPD		
R4P1D1	3405.5	a	R4P1D3	1615.50	a
R4P1D2	2485.0	a	R4P1D2	1476.75	a
R4P1D3	1282.8	b	R4P1D1	1341.00	a
R4P2D1	603.5	b c	R4P2D1	847.50	b
R4P3D3	408.8	b c	R4P2D2	736.25	b c
R4P2D2	385.8	b c	R4P2D3	510.00	b c d
R4P2D3	355.0	b c	R4P3D1	366.00	c d e
R4P3D2	338.3	b c	R4P3D2	314.75	d e
R4P3D1	286.8	c	R4P3D3	118.00	e
R3P1D1	48.5	c	R3P1D3	46.50	e
R2P1D1	37.8	c	R3P2D3	26.00	e
R3P1D2	32.3	c	R3P1D1	23.25	e
R3P1D3	22.3	c	R3P2D1	22.75	e
R2P1D2	18.5	c	R3P2D2	20.00	e
R3P2D1	12.8	c	R3P1D2	18.75	e
R1P1D1	12.3	c	R2P1D1	16.50	e
R3P2D2	9.3	c	R2P2D1	15.50	e
R3P2D3	7.3	c	R2P1D3	14.50	e
R2P2D1	7.0	c	R2P1D2	13.25	e
R3P3D1	6.5	c	R3P3D2	10.75	e
R3P3D3	5.0	c	R3P3D1	10.25	e
R2P1D3	4.3	c	R2P2D2	6.75	e
R3P3D2	4.0	c	R1P1D1	6.50	e
R1P1D2	3.3	c	R2P3D1	5.50	e
R2P2D2	2.8	c	R1P1D3	4.00	e
R2P3D2	2.0	c	R3P3D3	2.50	e
R1P2D1	1.3	c	R2P3D2	2.00	e
R1P1D3	1.0	c	R1P1D2	2.00	e
R1P3D1	0.8	c	R2P2D3	2.00	e
R2P3D3	0.5	c	R1P2D2	1.50	e
R2P2D3	0.5	c	R1P2D1	1.25	e
R1P3D2	0.5	c	R1P2D3	0.50	e
R2P3D1	0.5	c	R2P3D3	0.50	e
R1P2D2	0.3	c	R1P3D1	0.25	e
R1P3D3	0.3	c	R1P3D3	0.00	e
R1P2D3	0.0	c	R1P3D2	0.00	e
C.V.	128.141			66.081	
D.M.S.	973.83			389.7	

^z Valores de números con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

R= Raíces: R1 (> 15mm), R2 (5-15 mm), R3 (1-5 mm) y R4 (< 1 mm).

P = Profundidad (cm) : P1 (0-30), P2 (30-60) y P3 (60-100).

D = Distancia: D1 (50 cm del tronco), D2 (parte media) y D3 (zona de goteo).

estrato de 0 a 30 cm son las que presentaron mayores valores en las tres distancias estudiadas. Sin embargo cabe destacar también que las primeras nueve combinaciones RPD para este huerto incluyen a R4 ($< 1\text{mm}$) y corresponden a las primeras nueve combinaciones del huerto en suelo arenoso que también incluyen a R4 ($< 1\text{mm}$).

Se observa también que los valores inferiores, con valores de cero, corresponden a las combinaciones R1P3D3 y R1P3D2 donde R1 ($> 15\text{ mm}$), P3 (60-100 cm) y D3 (zona de goteo) siendo D2 (la parte media) que son similares a los encontrados para el lote de suelo arenoso. Entonces a medida que se incrementa la distancia respecto al tronco y la profundidad el número de raíces, sin considerar el tipo, presenta la tendencia a disminuir, lo cual está asociado en cada huerto con la textura específica en cada estrato la cual influye en la retención de humedad, porosidad, resistencia mecánica a la penetración y en su fertilidad.

2.6. CONCLUSIONES

Para los dos tipos de suelos la mayor cantidad de raíces se presentó en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad (58.3 % y 61.3 % para suelo arcilloso y arenoso respectivamente) decreciendo hacia los estratos más profundos de 30 a 60 y de 60 a 100 cm.

Asimismo la tendencia general observada, por parte de la cantidad de raíces, fue a descender conforme se incrementa la distancia desde el tronco hacia la zona de goteo.

La distribución de las raíces estuvo afectada por las características físico-químicas de los suelos y las características de los árboles del estudio.

En ambos tipos de suelos la mayor cantidad, por cada tipo de raíz considerando la profundidad (estrato) y la distancia (perfil) fue para el tipo R4 ($< 1\text{mm}$) o fibrosas con más del 95 % seguidas en orden decreciente por R3 (5-15 m), R2 (1-5 mm) y por último R1 ($> 15\text{ mm}$).

2.7. LITERATURA CITADA.

- Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo A.C. Chapingo, México.
- Avilan, L.; Meneses, L.; Guadarrama, R. 1979. Estudio de los sistemas radicales del mango (*Mangifera indica* L.) y del grapefruit (*Citrus paradisi* Mc. Fayden) cultivados en los suelos de los Llanos Altos Centrales de Venezuela. *Agronomía Trop. (Ven.)* 29(2):173-184.
- Avilan, L.; Meneses, L.; Sucre, R.; Pérez, O.; Velarde, C. 1979. Efectos de algunas propiedades físicas del suelo sobre la distribución radical y producción en cítricas. *Agronomía Trop. (Ven.)* 29(5):413-427.
- Avilan, L.; Leal, F.; Meneses, L. 1982. Distribución del sistema radical de la naranja dulce (*Citrus sinensis*) y grapefruit (*C. paradisi*) sobre patrón Cajera (*C. aurantium*) en suelos calcáreos de la Hoya del Lago de Valencia. *Agronomía Trop. (Ven.)* 32(1-6):155-170.
- Avilan, L.; Meneses, L.; Sucre, R. 1983. Comportamiento del sistema radical del patrón Cleopatra injertado con naranja 'Valencia' en suelos de textura fina. *Agronomía Trop. (Ven.)* 33(1-6):509-534.
- Avilan, L.; García, Ma. L.; Leal, F.; Sucre, R. 1984. Estudio del sistema radical del Limón Criollo (*Citrus aurantifolia* Swingle) en un suelo de origen aluvial. *Revista Facultad de Agronomía (Maracay, Ven.)* 13(1-4): 61-72.
- Avilan, L.; Velarde, C.; Meneses, L. 1986. Distribución del sistema radical de los patrones de cítricos naranjo agrio (*C. aurantium* L.) Cleopatra (*C. reshni* Hort, ex Tan) y Volkameriana (*C. volkameriana* Pasq.). *Agronomía Trop. (Ven.)* 36 (4-6): 97-113.

- Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. Berlin: Springer-Verlag. 188 p.
- Bryla, D. R.; Bouma, T. J.; Hartmaond U.; Eissenstat D. M. 2001. Influence of temperature and soil drying on respiration of individual roots in citrus. *Plant Cell and Enviroment* 24(8): 781-790.
- Castle, W.; Krezdorn, H. 1977. Soil water use and apparent root efficiencies of citrus trees on four rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. (EE.UU.)* 1 02(4):403-406.
- Castle, W.; Youtsfy, CH. 1977. Root system characteristics of citrus nursery trees. *Proc. Fla. State Hort. Soc. (EE.UU.)* 90:39-44.
- Castle, W. 1978. Citrus root systems: their structure, function, growth, and relationship to tree performance. *Proc. Int. Soc. Citriculture.* p. 62-69.
- Cohen, L. 1972. Decline of citrus true in poorly aerated soils. *Proc. 18th. International Horticultural Congress. Tel-Aviv.* 221 p
- Díaz, M. H. D. 2002. Fisiología de árboles frutales. Primera edición. Edit. AGT Editor S.A. 390 p.
- Espeleta, J. F. and Eissenstat D. M. 1997. Responses of citrus fine roots to localized soil drying: a comparison of seedlings with adult fruit trees. *Tree Physiology* 18: 113-119.
- Etchevers, B. J. D. 2001. Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos. IRENAT. Colegio de Posgraduados. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo A.C.
- Ford, H. 1954. Root distribution in relation to the water table. *Proc. Fla. State Hort. Soc. (EE.UU.)* 67:30-33.

- Ford, H. Eight years of root injury from water table fluctuations The Citrus Industry 54(6): 10 - 16. 1973.
- García, M.E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Tercera edición. U.N.A.M. México. 252 p.
- Guerrero, G. A. 1990. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 pp.
- Hagin, J.; Lifshitz, Z.; Monselise, P. 1965. The influence of soil aeration on the growth of citrus. Israel J. Agric. Res. (Israel) 15(2):59-64.
- Hardy, F. 1974. Root room. Trop. Agric. (Trinidad) 51(2):272-278.
- Jacob, A y H. Von Uexkull. 1964. Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales Wageningen; Veeman 5. Zonen, Holanda, 1964. 595 p.
- Jones, J. B, B. Wolf ; H. A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Ed. MicroMacro Publishing, Inc. USA.
- Mattos Jr., D.; Graetz, D. A. and Alva, A. K. 2003. Biomass distribution and Nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy entisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:555-563.
- Minessy, F.; Barakat, M.; El Azab, E. 1971. Effect of some soil properties on root and top growth and mineral content of Washington Navel orange and Balady Mandarin. Plant and Soil (Netherlands) 34(1):1-15.
- Morín, CH. 1980. Cultivo de los cítricos. Lima, Perú, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 598 p.

- Noling, J. W. 1992. Citrus root growth and soil pest management practices. Series of the Entomology and of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Obreza, T. A. y M. E. Collins. 2002. Common soils used for citrus production in Florida. Series of the Soil and Water Science Department University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Quintero, M. B.; Lee R., V. y Alcalá R., J. M. 1997. Estimación de biomasa y distribución radical de naranjo 'Valencia' en suelos calcáreos de Tamaulipas. In: Memoria XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco, México. pp 95.
- Quintero, M. B.; Lee R., V. y Alcalá R., J. M. 1997. Metodologías para estudiar el sistema radical en los cítricos en Tamaulipas. In: Memoria XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco, México. pp 95.
- Schuurman, J. J. and Goedewaagen, M.A.J. 1965. Methods for the examination of root systems and roots. Institute for soil Fertility, Groningen. Centre for agricultural publications and documentation. Wageningen. Holland.
- Serpa, D. Areas de vida de las cítricos en la región Central de Venezuela. Trabajo de Ascensos, Maracay, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. 1969. 64p.
- Stolzy, L. L.; J. Szuskiewicz, T. and Lunt, O. 1961. Root growth and diffusion rates as functions of oxygen concentration. Proceeding soil science Society American 25: 463-467.
- Vieira, J. N. C. S.; Massanori, M. I. y Colauto, S. N. M. 2004. Root distribution of rootstocks for 'Tahiti' lime. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.) 61 (1): 94-99.

- Vieira, D. B. y Gomes, E. M. 1999. Determinacao da profundidade efetiva do sistema radicular do limao 'Cravo' com copa de lima ácida 'Tahiti'. Laranja, 20: 419-431.
- Weir, C. 1976. Effect of various rootstock on the growth and yield of "Valencia" orange, March seedles grapefruit, and Ortanique trees in Jamaica. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico (P.R.) 60(4): 485-490.
- Wiersum, L. 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots Pl Soil 9(1): 75 - 85. 1957.

DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL FOLIAR EN ÁRBOLES DE LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* Tan.)

Edgar Contreras Morales¹ y Gustavo Almaguer Vargas²

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en árboles de limón persa en dos tipos de suelos para conocer la distribución de nutrimentos en los órganos de la planta y determinar el estado nutrimental. Se usaron dos huertos de árboles. El primero de 12 años de edad en suelo arenoso y el segundo de nueve años de edad en suelo arcilloso. El método de estudio consistió en fraccionar la planta en sus diferentes partes: hoja, flor, fruto, ramas, tronco y raíces. Las variables determinadas fueron: peso fresco y peso seco; concentración de nutrimentos por análisis químicos: N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn y Zn. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y prueba de comparación de medias para comparar los diferentes partes del árbol entre sí respecto a las variables determinadas. Además se corrió un programa de diagnóstico DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico) para determinar los índices de balance (IB) de cada nutrimento y el orden de requerimiento nutrimental. La concentración de nutrimentos entre las partes del árbol para los dos huertos estudiados presentó marcadas diferencias. Las raíces fibrosas (< 1 mm de diámetro) para ambos huertos presentaron concentraciones altas de micronutrimentos destacando Fe y Mn. Para ambos huertos los nutrimentos extraídos en mayor cantidad por el fruto fueron el K y el Ca; y en menor cantidad el Zn y el Cu. Se determinó el orden de requerimiento nutrimental siendo, para ambos huertos, el Cu y el N los nutrimentos más requeridos.

Palabras clave: DRIS, nutrimentos, fruto.

ABSTRACT

This study was carried out on Persian lime trees grown in two soil types in order to determine the nutrimental distribution in the plant organs and the nutrimental status of the tree. Two orchards were used. One of them was in sandy soil and the trees were twelve years old. The other was in a clay soil and the trees were nine years old. The plants were fractioned into their parts: leaves, flowers, fruit, branches (four categories), trunk and roots (four categories). The variables evaluated were: fresh and dry weight and concentration of nutriments (N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, and Zn). The data were submitted to variance analysis and to a multiple means comparison test to compare the parts of the tree. In addition, the DRIS diagnostic program was used to determine the balance indexes for each nutrient and the order of nutrimental requirement. The concentrations of nutrients among the parts of the tree for the two orchards studied showed remarkable differences. The fibrous roots (<1 mm diameter), for both orchards, showed high concentrations of micronutrients, mainly for Fe and Mn. For both orchards, the highest amount of nutrients extracted by the fruit were K and Ca; in lower amounts, Zn and Cu. The order of nutrimental requirement was determined, and Cu and N were the more required for both orchards.

Key words: DRIS, nutrients, fruit.

¹Tesista

²Director de tesis

3.1. INTRODUCCION

Para un adecuado establecimiento de los requerimientos nutrimentales y precisar las cantidades de fertilizantes usados en la agricultura es necesario generar información sobre el estado nutrimental de un cultivo. El conocimiento sobre la distribución de nutrimentos en árboles es importante para establecer programas de manejo para la producción de cítricos. Smith (1966) y Chapman (1968) reportan resultados de varios análisis químicos de componentes de la biomasa de árboles de cítricos para comprender las cantidades, proporciones y distribución de nutrimentos en las fracciones que componen la planta. Bataglia *et al.* (1977) presentaron un estudio sobre la composición mineral de frutos (cáscara, pulpa + jugo y semillas) de naranja dulce, lima ácida, toronja, tanger y mandarina. Asimismo Amorós (1995) y Jackson *et al.* (1995) también han reportado datos sobre la cantidad de nutrimentos removidos por tonelada de naranjas y mandarinas. La acumulación de nutrimentos por la biomasa de la planta ha sido empleada como uno de los componentes para estimar los requerimientos de fertilizantes para cultivos anuales de granos. Lo anterior también es válido para establecer programas de manejo de nutrimentos para árboles cítricos (Quaggio *et al.* 1996). Sin embargo, a diferencia de los cultivos anuales, en el caso de los cítricos los nutrimentos presentes en la estructura de los árboles representan un gran almacén año con año, el cual proporciona nutrimentos para la producción de fruta durante las épocas de deficiencia de nutrimentos (Kato, 1986; Feigenbaum *et al.*, 1987; Legaz *et al.*, 1995). Incluso estos estudios se han enfocado a la realización de modelos donde se incorpora la información a sistemas computacionales expertos (Bustan *et al.*, 1999) para determinar los requerimientos nutrimentales de los cítricos, por lo cual son de gran interés los patrones

de acumulación y remoción de nutrimentos por el cultivo. Marchal y Lacoëuilhe (1969) determinaron la cantidad de 10 nutrimentos en diferentes órganos de un cítrico con una producción de 80 kg de fruta por planta así como el porcentaje de materia seca que presenta cada órgano, mismos que se reportan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Cantidad de nutrimentos en diferentes órganos de mandarina (Marchal y Lacoëuilhe, 1969).

Órgano	M.S. %	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		-----g-----				-----mg-----					
Raíces	15.85	33	2	20	50	2	9700	450	128	237	36
Tallos y ramas	48.98	157	3	39	307	6	3379	205	96	145	153
Hojas	19.37	102	3	18	206	18	843	206	68	30	169
Frutos	15.80	156	12	188	100	16	592	155	122	117	117
Total	100	438	20	255	663	42	14154	1016	414	529	475

Se observa que los tallos y ramas ocupan casi un 50 % de la materia seca del árbol y en este caso las raíces sólo un 15.85 %. Existe una concentración nutrimental diferencial para macro y micronutrimentos de acuerdo al órgano de que se trate destacando que las raíces presentan altos contenidos de micronutrimentos excepto de B comparación de otros órganos. Respecto a macronutrimentos las mayores concentraciones para Ca están en ramas y tallos, K en frutos, P en frutos, N en frutos y Mg en hojas. Quintero *et al.* (1997) estimando la biomasa del sistema radical en naranjo ‘Valencia’ en suelos calcáreos encontró un peso seco total de 131.613 kg siendo el mayor valor (93.683 kg) para las raíces con diámetro mayor a 10 mm decreciendo conforme disminuye el diámetro presentando 6.171 kg para raíces menores a 1.0 mm. Alva (1999) para árboles no fructificantes de naranja ‘Hamlin’ reporta que la porción leñosa del árbol (tronco y ramas) representa más del 60 % del total del peso de la materia seca, mientras que las

hojas contribuyen con menos del 20 % y el N en las hojas representa más del 40 % del nitrógeno total del árbol. Destacando también que la producción de materia seca del árbol fue mayor aplicando fertilizantes de liberación controlada o fertirrigación respecto a la forma soluble granular. Haag *et al.*, (1993) para seis cultivares de cítricos reporta que la tasa decreciente de extracción de nutrimentos fue: K, N, Ca, Mg, P = S, Fe, B, Zn, Mn y Cu. El cultivar que exportó la mayor cantidad de nutrimentos fue Pera, seguida por Hamlin = Cravo, Murcott, Valencia y Natal. Bataglia *et al.* (1978) concluyen respecto a la extracción de nutrimentos en g ton^{-1} de fruto fresco para varios cultivares entre los que menciona a la lima 'Taití': N 1906; P 173; K 1513; Ca 526; Mg 127; S 137; B 2.2; Cl 24.7; Fe 6.6, Mn 2.8; Mo 0.008; Zn 0.9; Ca 0.003; Na 43.5 y Al 7.6. Malavolta *et al.* (1984) reportan las cantidades de macronutrimentos en kg ton^{-1} de fruta fresca para varios cultivares entre los que se menciona a la lima 'Taití': N 1.67; P 0.17; K 2.18; Ca 0.66; Mg 0.17 y S 0.42. Malavolta *et al.* (1988) indican la cantidad en g ton^{-1} de fruta fresca de micronutrimentos extraídos por varios cultivares entre ellos la lima 'Taití': B 3.45; Cu 0.46; Fe 4.91; Mn 0.98 y Zn 1.11. Koo (1984) indica que la cantidad de nutrimentos promedio exportados en g ton^{-1} de fruta fresca para limas y limones es: N 1638, P_2O_5 366, K_2O 2086, MgO 209, CaO 658, S 74, Fe 2.1, Mn 0.4, Zn 0.7, Cu 0.3 y B 0.5. Jailson *et al.* (2003) para lima 'Rangpur' o 'Cravo' menciona que la salinidad disminuye la producción de materia seca total de tallos y raíces a un nivel de 80 mM de NaCl afectando también el área foliar y la materia seca de la hoja además de que los incrementos en los niveles de salinidad causan reducción en la relación raíz:copa. Smith *et al.* (1954) reportan concentraciones en mg kg^{-1} para micronutrimentos en raíces fibrosas de naranja 'Valencia' en textura arenosa de: B 25; Cu 157; Fe 1783; Mn 257 y Zn 462. Aunque Wutscher (1986) reporta en suelo arenoso

para raíces fibrosas de naranja ‘Hamlin’ Fe 201 mg kg⁻¹; y para Mn y Zn mas de 1400 mg kg⁻¹ debido a las condiciones de suelo y características del porta injerto. Mattos *et al.* (2003) encontraron que los componentes de la parte aérea representaron la mayor proporción de la biomasa total: fruto 30.3 %, hoja 9.7 %, ramas 26.1 %, tronco 6.3 % y raíces 27.8 %. Mientras que la concentración de calcio fue más grande en hojas viejas y tejidos leñosos que en otras partes del árbol. Mientras que las concentraciones de micronutrientes fueron marcadamente mayores en las raíces fibrosas comparado con las raíces leñosas. El calcio representó la mayor cantidad de un nutriente (273.8 g por árbol) seguido por N y K (234.7 y 181.5 g respectivamente) y otros macronutrientes comprendieron cerca del 11 % del total del contenido de nutrientes del árbol. Los contenidos de nutrientes en kg ton⁻¹ en el fruto fueron N 1.20, K 1.54, P 0.18, Ca 0.57, Mg 0.12, S 0.09, B 1.63×10^{-3} , Cu 0.39×10^{-3} , Fe 2.1×10^{-3} , Mn 0.38×10^{-3} y Zn 0.40×10^{-3} . El contenido total de N, K y P en la huerta fue 66.5, 52.0 y 8.3 kg ha⁻¹ respectivamente lo cual fue equivalente a la cantidad aplicada anualmente mediante la fertilización. Mattos *et al.* (2003) estudiando la distribución de biomasa y de ¹⁵N en naranja ‘Hamlin’ en un suelo entisol arenoso indica que más del 70 % de la biomasa del árbol correspondió a la fracción aérea y que la acumulación de ¹⁵N fue baja en tejido leñoso. La mayor proporción de la materia seca del árbol fue para el fruto el cual representó de un 28 a 30 %. Las hojas contribuyeron con un 13 % de la biomasa de la parte aérea y las raíces con un 27.7 % del total de la materia seca del árbol. En este caso las raíces fibrosas presentaron una alta proporción de la fracción subterránea (35.6 %) después de la raíz principal (38.4 %). Las raíces leñosas representaron menos del 26 % del total del sistema radical. Feigenbaum *et al.* (1987) para naranja ‘Shamouti’ encontró la siguiente distribución de materia seca: ramas 30.1%, tronco y ramas pequeñas 25.3

%, raíces 24.0 %, fruto 13.3 % y hojas 7.3 %. Para árboles no fructificantes Alva *et al.* (1999) encontraron que las raíces, el tronco, ramas grandes, hojas y ramas pequeñas representan un 28.1, 26.1, 21.2, 18.0 y 7.8 % respectivamente de la biomasa del árbol. Al respecto Kato (1986) indica que el crecimiento vegetativo anual y el rendimiento de frutos cítricos contienen una proporción variable del fertilizante aplicado durante el periodo de crecimiento, pero una gran cantidad de N en el nuevo crecimiento puede ser movido desde la biomasa del árbol. Entonces las reservas de N en hojas y componentes estructurales del árbol juegan un papel importante en el desarrollo de nuevos flujos de crecimiento y flores. Legaz *et al.* (1981) indica que la distribución de N en naranja ‘Valencia’ medida con ^{15}N se presentó en el orden siguiente: hojas (49.7 %), raíces (19.2 %), ramas y tallo (14.3 %), flores (10.6 %) y ovarios (6.1 %). La distribución de la materia seca en árboles cítricos varía con el nivel de N en todo el árbol y con el desarrollo del fruto lo cual genera competencia entre los componentes del árbol (Lea-Cox *et al.*, 2001).

3.2.OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue determinar la cantidad y distribución de nutrimentos en diferentes órganos de árboles de limón persa para obtener el nivel de la extracción de nutrimentos que permita diseñar mejores estrategias para la nutrición del cultivo.

3.3. HIPÓTESIS

El contenido de nutrimentos en árboles adultos de limón persa no está influenciado por el tipo de órgano en que se esté determinando.

3.4. MATERIALES Y METODOS.

3.4.1. Sitio de estudio

El trabajo se realizó en dos huertos de árboles de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) injertados sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium* L). El huerto 1 se ubicó en suelo arenoso en el ejido 'La Palma' situado a 15 km al norte de Martínez de la Torre, Ver., a una altitud de 151 m. El segundo huerto se ubicó en suelo arcilloso en el ejido 'La Peña' municipio de Nautla, Ver., a una altitud de 10 m y a 40 km al este de Martínez de la Torre, Ver.

Para el huerto 1 el clima es cálido húmedo con lluvias todo el año, con influencia de monzón, con alta oscilación térmica, una precipitación anual de 1743 mm y la temperatura media anual es de 24 °C. Para el huerto 2 se reporta un clima cálido húmedo con una temperatura media anual de 25.5° C y una precipitación media anual de 1338 mm (García, 1981).

3.4.2. Material vegetal

Para el huerto 1 se emplearon árboles de 12 años de edad plantados a 6 x 6 m en marco real. En el huerto 2 se emplearon árboles de 9 años de edad sembrados a 5 x 5 m en marco real. Se seleccionaron cuatro árboles homogéneos por cada huerto según su edad, porte, vigor y sanidad considerando también el perímetro del tronco, altura del árbol, diámetro de copa y carga de fruta.

3.4.3. Manejo de los árboles

El manejo agronómico de ambos huertos se considera normal, para ambos huertos se realizan dos controles al año de maleza con herbicidas (glifosato), no se usa maquinaria (rastra o chapeadora) y se realizan dos fertilizaciones al año la primera en febrero-marzo y la segunda en julio-agosto (inicio de lluvias) empleando básicamente 2 kg urea al suelo por árbol. Generalmente el control de plagas y enfermedades es poco y se basa en la aplicación de fungicidas (cupravit) y acaricidas (ethión) para el control de la antracnosis (*Colletotrichum acutatum*) en floración y acaricidas (ethión 500) para controlar ácaros como la araña roja (*Phyllocoptruta oleivora*) y ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) durante el amarre y crecimiento del fruto. Respecto a la poda se realiza una vez al año. En el caso del huerto 1 se aplicaron a fines del mes de octubre de 2002 sustancias defoliantes (tidiazurón a 300 mg L⁻¹) para incrementar la producción invernal.

3.4.4. Método de estudio

Para este trabajo se fraccionó cada árbol por completo en cada uno de los dos huertos estudiados en los siguientes órganos: Tronco o tallo leñoso (muy duro o lignificado) que sostiene a las ramas primarias o estructurales obtenido con motosierra. Rama 1 (R1) ramas primarias que emergen del tronco caracterizadas por no presentar hojas y son leñosas (muy duras o lignificadas) con un diámetro promedio de 5.58 cm. Rama 2 (R2) ramas secundarias que emergen de las primarias caracterizadas por no presentar hoja y ser leñosas con un diámetro promedio de 3.24 cm. Rama 3 (R3) ramas terciarias foliadas generalmente que no presentan mucho leño con un diámetro promedio de 2.22 cm. Rama 4 (R4) ramas cuaternarias foliadas de consistencia muy flexible no leñosas

con un diámetro promedio de 1.03 cm. Las ramas se fraccionaron con tijera y serrucho de poda según su dureza. Asimismo se separaron las hojas, flores (presentes sólo en el huerto 1) y fruto de corte manualmente. Las raíces se clasificaron en raíz R1 mayor de 15 mm de diámetro, raíz R2 de 5 a 15 mm de diámetro, raíz R3 de 1 a 5 mm de diámetro y raíz R4 menor a 1 mm de diámetro. Para obtener las raíces, por cada árbol, se hizo una cepa o trinchera, de dimensiones conocidas (4 m de largo, 1m de profundidad y 0.8 m de ancho) para obtener la relación peso volumen, en la parte media entre el perfil a 50 cm del tronco y el de la parte media entre los 50 cm del tronco y la zona de goteo (perfiles empleados para el estudio de distribución radical). Al momento de sacar la tierra ésta se coló en un cernidor obteniéndose todas las raíces mismas que luego se separaron en las 4 categorías previamente establecidas. A cada parte obtenida del árbol se le pesó en fresco en campo empleando una báscula casera con capacidad de 5 kg y división mínima de 5 g, guardándose una muestra representativa para cada fracción del árbol registrándose el peso fresco en campo. Las muestras se guardaron en refrigeración en bolsas de plástico debidamente etiquetadas. Para su traslado al laboratorio se colocaron en una hielera a aproximadamente 5 °C. En laboratorio éstas se lavaron con agua de la llave y posteriormente con agua destilada para pasar después a la estufa secadora.

3.4.5. Variables evaluadas

Las variables evaluadas en este trabajo fueron: Peso fresco que se tomó directamente en campo. El peso seco que se determinó después de colocar las muestras de cada órgano en laboratorio en una estufa secadora ELISA modelo 293A a 70 °C hasta obtener peso

constante, cuyo tiempo dependió de la dureza de cada tejido. El dato se obtuvo pesando la muestra en una balanza eléctrica OHAUS E4000D de 610g de capacidad, o bien con una balanza granataria. Porcentaje de humedad y porcentaje de materia seca variables que se calcularon, para cada fracción del árbol, directamente con los datos de peso fresco y peso seco previamente determinados. Concentración de nutrimentos una vez secadas las diferentes muestras se prepararon para el análisis fraccionándose y moliéndose en un molino de cuchillas de acero inoxidable Thomas Willey Mill modelo ED-5. Del tejido seco y molido se tomaron 0.5 g pesados en balanza eléctrica Sartorius modelo BL610 mismos que se colocaron en un matraz de digestión adicionándole 4 ml de mezcla diácida (4:1 de ácido sulfúrico y ácido perclórico) más 2 ml de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada al 30 %) para acelerar la reacción y después se colocó el matraz en una estufa de digestión Lindenberg SB a 260° C hasta que se obtuvo un extracto (digestado) transparente y cristalino que se aforó a 50 ml quedando listo para los análisis posteriores de nutrimentos por los métodos siguientes (Alcántar y Sandoval, 1999): Nitrógeno por método Khejdahl. Fósforo por fotolorimetría vanadato-molibdato (amarillo) leído en espectrofotómetro Spectronic 20. Potasio por flamometría leído en flamómetro Corning modelo 410. Calcio, magnesio, cobre, hierro, zinc y manganeso fueron determinados en un espectrofotómetro de absorción atómica. Boro fue determinado por el método de la azometina-H.

3.4.6. Análisis de suelos

Se analizaron muestras de suelo en cada huerto considerando tres estratos de profundidad (0-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm). Determinándose las siguientes

características del suelo (Etchevers, 2001): La textura por el método de Bouyoucos. Materia orgánica por el método de Walkley y Back. pH relación 1:2 suelo-agua con potenciómetro. Conductividad eléctrica leída en el extracto para pH con el mismo aparato Hanna Modelo 991201. Capacidad de intercambio catiónico por cationes intercambiables extraídos con acetato de amonio 1.0 N pH 7.0. N por método Kjeldahl. P por el método Bray. K por espectrofotometría de emisión de flama. Ca y Mg por Volumetría (EDTA 0.01 N). Fe, Cu, Zn ,y Mn fueron extraídos y leídos en espectrofotómetro de absorción atómica. El B fue determinado por el método de la azometina-H. Asimismo a cada huerto de árboles se les determinó la edad, la altura, diámetro de copa y el perímetro del tronco.

3.4.7. Análisis de datos

La información se analizó en cada huerto empleando un análisis de varianza (SAS) considerando en cada huerto a cada árbol como un bloque y comparando estadísticamente entre sí los órganos obtenidos respecto a las diferentes variables evaluadas con las respectivas pruebas de medias de Tukey con un alfa de 0.05. Asimismo para determinar el Balance Nutricional de cada huerto se corrió un programa, con los datos de concentración de nutrimentos en hojas, de análisis DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación) para ello se emplearon las normas DRIS internacionales para cítricos (Alves y Azevedo, 2003).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Características de los suelos y árboles estudiados

El Cuadro 10 muestra las características generales de los suelos de los huertos empleados para este estudio, se aprecia que el huerto de suelo arcilloso presentó una textura pesada con una mayor fertilidad y pH adecuado, mientras que el huerto de suelo arenoso resultó con menor fertilidad y pH más ácidos en los diferentes estratos de profundidad.

3.5.2. Variables determinadas en árboles en suelo arenoso

En el Cuadro 11 se observa que para N, P, K y Mg los órganos que presentaron los valores superiores fueron la flor y la hoja, asociado el N y Mg a la clorofila, fotosíntesis, proteínas y rendimiento (Marschner, 1986; Wutscher y Smith, 1993). El Ca presentó mayor acumulación en tejidos leñosos (tronco y ramas) y en hojas como lo indican Marchal y Lacoëuilhe (1969) y Rodríguez (1991) citado por Vitti (1992) y Mattos *et al.* (2003). Respecto a micronutrientes (Cuadro 12) para B y Cu no hubo diferencias estadísticas entre las partes evaluadas, sin embargo el Fe, Mn y Zn (que tienen baja movilidad) presentaron valores superiores o excesivos para las raíces fibrosas (< 1mm) coincidiendo con lo reportado por Smith *et al.* (1954), Wutscher (1986) y Mattos *et al.* (2003).

Cuadro 10. Valores de las variables químicas, físicas, concentración de nutrimentos del suelo y características generales de los árboles de los huertos empleados para los estudios de diagnóstico nutrimental. Martínez de la Torre, Ver. 2003.

CARACTERÍSTICA		SUELO ARENOSO (LA PALMA)			SUELO ARCILLOSO (NAUTLA)		
PROFUNDIDAD (cm)		0-30	30-60	60-100	0-30	30-60	60-100
Pendiente		< 2%	< 2%	< 2%	< 2%	< 2%	< 2%
pH		5.66	5.76	6.53	6.16	6.41	6.58
Clasificación.		Med ácido	Med ácido	Lig. ácido.	Med. Ácido	Lig. Ácido	Lig. Ácido
Conductividad eléctrica (mS cm ⁻¹)		0.27	0.04	0.02	0.62	0.34	0.31
Clasificación.		No salino	No salino	No salino	No salino	No salino	No salino
Capacidad de intercambio catiónico (cmoles/100g)		10.07	11.13	4.77	30.21	28.09	25.44
Clasificación (Fertilidad)		Media	Media	Baja	Alta	Alta	Alta
TEXTURA							
Arena	(%)	55.12	51.12	47.12	32.76	32.76	26.76
Limo	(%)	14.00	20.00	18.00	28.00	22.00	15.64
Arcilla	(%)	30.88	28.88	34.88	39.24	45.24	57.60
Clasificación.		Mig. Arc. Arenoso	Mig. Arc. Arenoso	Mig. Arc. Arenoso	Arcilla	Arcilla	Arcilla
Materia Orgánica	(%)	2.08	2.55	0.74	4.30	1.68	1.08
Clasificación.		Medio	Medio	Muy pobre	Rico	Pobre	Pobre
MACRONUTRIMENTOS							
Nitrógeno	(%)	0.012	0.007	0.004	0.007	0.004	0.006
Clasificación.		Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Fósforo	(mg kg ⁻¹)	21.26	2.41	0.00	43.36	0.46	0.00
Clasificación.		Normal	Muy bajo		Muy alto	Muy bajo	
Potasio	(mg kg ⁻¹)	191.93	56.47	93.98	316.97	116.90	150.25
Clasificación.		Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Normal	Muy bajo	Muy bajo
Calcio	(mg kg ⁻¹)	36.07	40.08	96.19	216.43	200.40	204.41
Clasificación.		Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
Magnesio	(mg kg ⁻¹)	12.16	19.46	19.46	26.75	26.75	36.48
Clasificación.		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
MICRONUTRIMENTOS							
Boro	(mg kg ⁻¹)	58.32	25.14	21.46	28.83	19.61	6.71
Cobre	(mg kg ⁻¹)	0.17	0.18	0.00	4.98	1.78	1.17
Hierro	(mg kg ⁻¹)	65.84	103.56	19.12	233.22	74.88	40.68
Manganeso	(mg kg ⁻¹)	37.52	7.64	4.17	47.82	30.28	59.2
Zinc	(mg kg ⁻¹)	1.24	0.96	0.24	5.05	0.87	0.50
ÁRBOLES							
Edad (años)			12			9	
Altura (m)			3.01			2.32	
Diámetro de copa (m)			5.30			4.85	
Perímetro del tronco (cm)			41.53			44.67	

Med= Medianamente Lig= Ligeramente Mig = Migajón Arc= Arcillo

Cuadro 11. Concentración de macronutrientes en diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arenoso. Mtz. de la Torre, Ver. 2003.

Organo	N	P	K	Ca	Mg
-----%-----					
Fruto	0.144 b*	0.277 bc	1.314 bc	0.549 c	0.120 bcd
Flor	0.504 a	0.511 a	1.953 a	1.621 abc	0.312 a
Hoja	0.579 a	0.474 ab	1.931 ab	1.862 abc	0.310 a
Tronco	0.189 b	0.108 c	0.468 d	2.624 a	0.045 e
Rama 1	0.141 b	0.131 c	0.695 cd	2.259 ab	0.100 bcde
Rama 2	0.152 b	0.120 c	0.632 d	1.759 abc	0.122 bcd
Rama 3	0.122 b	0.139 c	0.633 d	1.242 abc	0.097 bcde
Rama 4	0.174 b	0.219 c	0.680 d	1.315 abc	0.150 bc
Raíz 4 (< 1mm)	0.163 b	0.163 c	0.352 d	0.669 c	0.165 b
Raíz 3 (1-5mm)	0.278 b	0.156 c	0.515 d	1.147 abc	0.115 bcde
Raíz 2 (5-15mm)	0.181 b	0.127 c	0.442 d	1.033 bc	0.092 cde
Raíz 1 (> 15mm)	0.167 b	0.131 c	0.495 d	1.157 abc	0.075 de
DMS	0.196	0.220	0.621	1.581	0.070
C.V.	33.92	41.57	29.70	44.33	19.87

* Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

Cuadro 12. Concentración de micronutrientes en diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arenoso. Mtz. de la Torre, Ver. 2003.

Organo	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----µg g ⁻¹ -----					
Fruto	27.58 a*	4.00 a	33.3 b	12.10 b	6.025 bc
Flor	38.01 a	8.05 a	82.1 b	26.13 b	18.800 bc
Hoja	29.91 a	7.15 a	96.6 b	29.18 b	17.825 bc
Tronco	24.37 a	4.27 a	72.1 b	12.83 b	6.525 bc
Rama 1	39.44 a	3.95 a	47.5 b	11.33 b	3.675 c
Rama 2	36.89 a	4.00 a	47.6 b	11.33 b	4.050 c
Rama 3	39.28 a	4.02 a	44.8 b	9.53 b	4.575 c
Rama 4	25.27 a	3.92 a	51.8 b	9.83 b	8.650 bc
Raíz 4 (< 1mm)	38.89 a	7.47 a	1008.7 a	1726.98 a	93.325 a
Raíz 3 (1-5mm)	43.64 a	5.20 a	196.2 b	219.38 b	33.150 b
Raíz 2 (5-15mm)	40.05 a	3.62 a	77.5 b	30.53 b	9.800 bc
Raíz 1 (> 15mm)	36.84 a	5.27 a	63.8 b	16.10 b	2.850 c
DMS	36.039	4.69	406.29	327.22	28.328
C.V.	41.45	37.20	107.78	74.77	65.43

* Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

El mayor porcentaje de materia seca (Cuadro 13) fue para los tejidos leñosos tronco, ramas y raíces. Para el porcentaje de humedad fueron superiores el fruto, flor y la hoja por ser órganos más turgentes. El peso promedio en fresco obtenido para un árbol en este estudio fue de 251.962 kg para este tipo de suelo y edad del árbol y un peso seco de 114.132 kg, observándose la distribución en el Cuadro citado destacando que los mayores porcentajes de peso seco fueron para los tejidos leñosos como lo reportan Marchal y Lacoeyllhe (1969), Feigenbaum *et al.* (1987) y Alva *et al.* (1999).

Cuadro 13. Materia seca, humedad, peso fresco y seco de diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arenoso. Mtz. de la Torre, Ver. 2003.

Organo	Materia seca (%)	Humedad (%)	Peso fresco (kg)	Peso seco (kg)	Peso seco (%)
Fruto	12.518 b*	87.483 a	29.500 ab	3.695 cd	3.24
Flor	24.150 b	75.850 a	0.815 e	0.120 d	0.11
Hoja	25.533 b	74.468 a	29.773 ab	10.745 bc	9.41
Tronco	60.065 a	39.395 b	10.040 de	5.995 cd	5.25
Rama 1	60.230 a	39.770 b	16.368 bcd	9.880 bc	8.66
Rama 2	60.353 a	39.648 b	34.928 a	21.368 a	18.72
Rama 3	57.585 a	42.415 b	28.023 abc	15.993 ab	14.01
Rama 4	47.738 a	52.263 b	33.110 a	15.610 ab	13.68
Raíz 4 (< 1mm)	58.283 a	41.718 b	23.745 abcd	9.450 bc	8.28
Raíz 3 (1-5mm)	58.113 a	41.888 b	10.575 de	4.415 cd	3.87
Raíz 2 (5-15mm)	54.710 a	45.290 b	14.430 cde	6.628 cd	5.81
Raíz 1 (> 15mm)	50.310 a	49.690 b	20.655 abcd	10.233 bc	8.97
DMS	18.108	18.108	14.587	8.195	
C.V.	15.365	13.883	27.982	34.707	

*Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

La Figura 11 muestra la relación del porcentaje de peso fresco y seco totales y se puede apreciar que a un peso fresco alto, el fruto por ejemplo, no corresponderá

necesariamente un porcentaje de peso seco alto lo cual estará en función del tipo de tejido de que se trate (leñoso o turgente). Respecto al porcentaje de peso seco total la Figura 12 muestra para este estudio la siguiente distribución: fruto 3.24 %, flor 0.11 %, hoja 9.41 %, tronco 5.25 %, ramas 55.07 % y raíces 26.92. Estos resultados confirman lo reportado por otros autores como Feigenbaum *et al.* (1987) y Alva *et al.* (1999) respecto a los comportamientos de los diferentes órganos, sin embargo hay discrepancias debidas posiblemente a que se trata de especies diferentes y condiciones de manejo también diferentes.

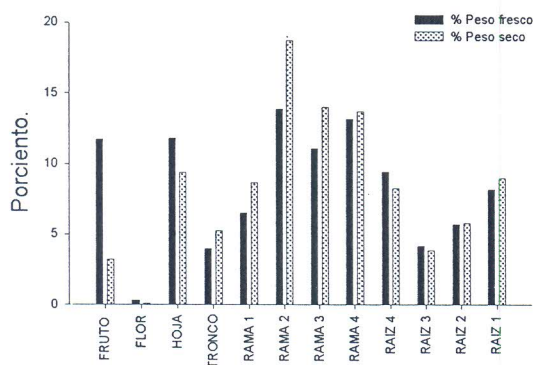


Figura 11. Porcentaje del peso fresco y seco totales de diferentes partes del árbol de limón persa en suelo arenoso.

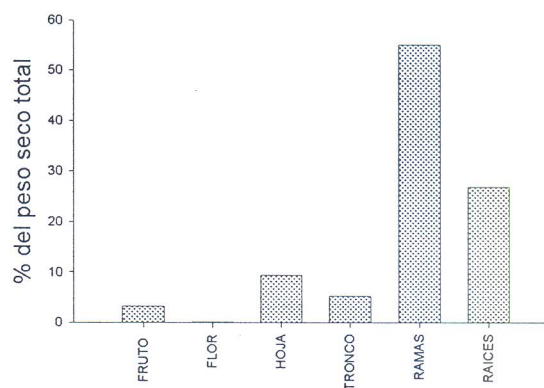


Figura 12. Porcentaje del peso seco total de diferentes partes del árbol de limón persa en suelo arenoso.

3.5.3. Variables determinadas en árboles en suelo arcilloso

El Cuadro 14 muestra la concentración de macronutrientes en diferentes partes del árbol y se puede observar que la hoja presentó los mayores valores para N, P, K, Ca y Mg, destacando en este caso su alto contenido de Ca aunque se mantiene lo observado en el huerto de suelo arenoso donde los tejidos más leñosos (tronco y ramas) presentaron concentraciones mayores seguidos por las raíces.

Cuadro 14. Concentración de macronutrientes en diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arcilloso. Nautla, Ver. 2003.

Órgano	N	P	K	Ca	Mg
	-----%-----				
Fruto	0.230 bc *	0.303 abc	1.219 a	0.536 e	0.102 bc
Hoja	0.627 a	0.410 a	1.507 a	3.563 a	0.347 a
Tronco	0.332 b	0.175 c	0.669 b	3.597 a	0.065 c
Rama 1	0.272 bc	0.199 bc	0.759 b	2.812 ab	0.112 bc
Rama 2	0.200 bc	0.200 bc	0.661 b	2.521 abc	0.127 b
Rama 3	0.202 bc	0.229 bc	0.477 b	1.704 bcd	0.137 b
Rama 4	0.205 bc	0.326 ab	0.471 b	1.538 cde	0.145 b
Raíz 4 (< 1mm)	0.282 bc	0.232 bc	0.530 b	1.694 bcd	0.132 b
Raíz 3 (1-5mm)	0.265 bc	0.253 bc	0.625 b	1.502 cde	0.120 bc
Raíz 2 (5-15mm)	0.200 bc	0.253 bc	0.503 b	1.378 de	0.097 bc
Raíz 1 (> 15mm)	0.175 c	0.249 bc	0.472 b	1.781 bcd	0.092 bc
DMS	0.147	0.134	0.348	1.127	0.059
C.V.	22.026	21.240	19.725	22.283	18.127

*Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

En el caso de micronutrientes (Cuadro 15) no hubo diferencias estadísticas entre las diferentes partes del árbol respecto a B, sin embargo, para Cu destaca la raíz fibrosa R4 (< 1mm) que presentó el valor superior seguida por la hoja, fruto, tronco y ramas. Respecto a Fe, Mn y Zn se repite el mismo comportamiento observado en el huerto del suelo arenoso y es la raíz fibrosa R4 (< 1mm) la que presenta valores superiores pero no tan altos como los obtenidos para el huerto del suelo arenoso como lo indican Smith *et al.* (1954), Wutscher (1986) y Mattos *et al.* (2003).

Cuadro 15. Concentración de micronutrientos en diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arcilloso. Nautla, Ver. 2003.

Órgano	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$\mu\text{g g}^{-1}$					
Fruto	50.97 a *	3.700 ab	34.88 b	9.73 b	3.750 bc
Hoja	51.82 a	4.275 ab	123.68 b	27.78 b	14.025 b
Tronco	59.47 a	3.275 b	135.38 b	15.30 b	3.575 bc
Rama 1	60.32 a	3.200 b	78.20 b	11.10 b	6.075 bc
Rama 2	52.67 a	3.425 ab	58.45 b	9.93 b	2.750 c
Rama 3	54.37 a	3.625 ab	63.08 b	9.68 b	4.100 bc
Rama 4	43.33 a	2.350 b	70.23 b	9.40 b	6.825 bc
Raíz 4 (< 1mm)	58.62 a	6.800 a	512.55 a	154.65 a	39.575 a
Raíz 3 (1-5mm)	60.32 a	1.950 b	235.00 b	35.30 b	12.625 bc
Raíz 2 (5-15mm)	63.71 a	2.125 b	211.43 b	16.25 b	5.700 bc
Raíz 1 (> 15mm)	61.17 a	0.800 b	151.43 b	14.40 b	2.975 bc
DMS	61.674	3.522	233.59	56.498	11.051
C.V.	44.740	44.367	62.423	80.632	48.487

* Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales ($\alpha = 0.05$).

En el Cuadro 16 se observa que los tejidos leñosos presentan mayor porcentaje de materia seca y viceversa respecto al porcentaje de humedad. El peso fresco promedio del árbol fue de 113.954 kg y 59.956 para el peso seco, datos muy diferentes a los del huerto de suelo arenoso pero la diferencia en edad y manejo entre los árboles fue determinante.

La Figura 13 presenta la misma tendencia que en suelo arenoso respecto a cada tipo de órgano (tejido) estudiado y a la relación que guardan el porcentaje de peso fresco y seco. En la Figura 14 se presenta la distribución de materia seca de acuerdo a cada parte del árbol la cual fue la siguiente: fruto 1.08 %, hoja 7.59, tronco 6.59 %, ramas 62.32 % y raíces 22.42 %.

Cuadro 16. Materia seca, humedad, peso fresco y seco de diferentes órganos de árboles de limón persa injertados sobre naranjo agrio en suelo arcilloso. Nautla, Ver. 2003.

Organo	Materia seca (%)		Humedad (%)		Peso fresco (kg)	Peso seco (kg)		Peso seco (%)
Fruto	14.588	f*	85.413	a	4.465	c	0.645	d
Hoja	35.655	de	64.345	b	12.780	abc	4.550	bcd
Tronco	59.858	ab	40.143	ef	6.660	bc	3.953	cd
Rama 1	60.203	ab	39.798	ef	17.193	a	10.110	a
Rama 2	60.148	ab	39.853	ef	15.083	ab	9.073	ab
Rama 3	66.548	a	33.453	f	13.610	abc	9.045	abc
Rama 4	61.753	ab	38.248	ef	14.925	ab	9.143	ab
Raíz 4 (< 1mm)	34.003	e	65.998	b	4.338	c	1.450	d
Raíz 3 (1-5mm)	44.943	cd	55.058	cd	6.525	bc	2.913	d
Raíz 2 (5-15mm)	45.845	c	54.155	d	7.965	abc	3.673	d
Raíz 1 (> 15mm)	52.235	bc	47.765	de	10.410	abc	5.410	abcd
DMS	10.04		10.04		10.121		5.105	
C.V.	8.384		7.961		39.740		38.099	

Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales (alfa = 0.05).

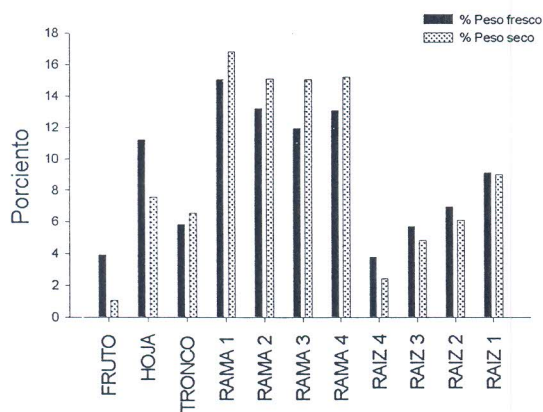


Figura 13. Porcentaje de peso fresco y seco totales de diferentes partes del árbol de limón persa en suelo arcilloso.

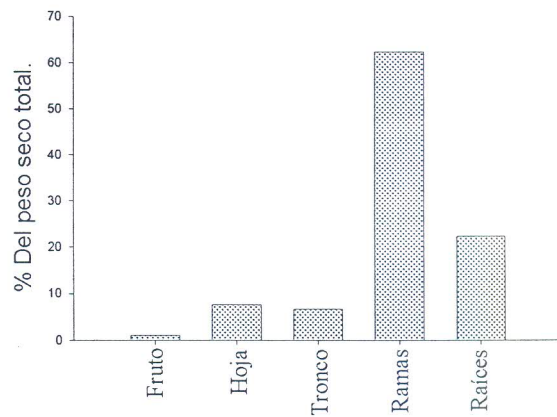


Figura 14. Porcentaje del peso seco total de diferentes partes del árbol de limón persa en suelo arcilloso.

Cabe hacer la observación de que para el huerto en suelo arenoso el estudio se hizo en los meses de marzo-abril de 2003 y se le habían aplicado sustancias defoliantes en

octubre-noviembre de 2002 para obtener una producción forzada de 30 kg promedio por árbol en abril-mayo 2003 por lo cual hubo más cantidad de fruta que en el huerto en suelo arcilloso donde el estudio se hizo en julio-agosto de 2003 y no había casi fruta ya que se había cortado la de la cosecha normal de junio-julio.

3.5.4. Índices de balance (DRIS)

El Cuadro 17 presenta los índices de balance para cada nutrimento en los dos huertos empleados en este estudio destacando que en los dos casos el nutrimento de mayor requerimiento nutrimental es el cobre (Cu) que presenta los menores valores. Por otra parte los árboles del suelo arcilloso presentaron el mayor índice de balance nutrimental (IBN) con un valor de 1097 mientras que para los árboles del suelo arenoso este valor fue de 623, lo anterior indica que hay un mayor desbalance nutrimental en los árboles del huerto en suelo arcilloso.

Cuadro 17. Resultados del programa DRIS índices de balance por nutrimento en hojas de limón persa en dos tipos de suelos. 2003.

TIPO DE SUELO	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	*IBN
			%						µg g ⁻¹		
Arenoso	0.579	0.474	1.931	1.862	0.310	96.6	29.18	17.825	7.15	29.91	
IB	-177	77	87	51	25	42	54	27	-239	16	623
ORN											
Cu > N > B > Mg > Zn > Fe > Ca > Mn > P > K											
Arcilloso	0.627	0.410	1.507	3.563	0.347	123.68	27.78	14.025	4.275	51.82	
IB	-201	68	64	71	59	82	65	20	-480	84	1097
ORN											
Cu > N > Zn > Mg > K > Mn > P > Ca > Fe > B											
IBN = Índice de balance nutrimental IB = Índice de balance del nutrimento											
ORN = Orden de requerimiento nutrimental											

3.6. CONCLUSIONES

La concentración de nutrimentos entre las distintas partes del árbol para los dos huertos empleados en este estudio presentaron marcadas diferencias de acuerdo al órgano y nutrimento determinado lo que indica una relación estrecha entre la función del órgano y la concentración de un nutrimento asociado a esa función tal es el caso del Ca en los tejidos leñosos y Mg y N en la hoja.

Respecto a la concentración de micronutrimentos en ambos huertos las raíces fibrosas (< 1 mm) presentaron los valores más altos destacando en este aspecto el Fe y Mn.

En ambos huertos de estudio la parte aérea representó un 75 % del total de la materia seca del árbol correspondiendo los mayores valores a las ramas seguidas por las raíces.

La extracción de nutrimentos por una tonelada de fruta fresca expresada en g ton^{-1} para el huerto de suelo arenoso fue en orden decreciente: K 1644.86; Ca 687.23; P 346.74; N 180.25; Mg 150.21; Fe 4.168; B 3.452; Mn 1.51; Zn 0.754 y Cu 0.5.

La extracción de nutrimentos por una tonelada de fruta fresca expresada en g ton^{-1} para el huerto de suelo arcilloso fue en orden decreciente: K 1774.62; Ca 780.3; P 441.10; N 334.83; Mg 48.49; B 7.27; Fe 5.07; Mn 1.41; Zn 0.545 y Cu 0.538.

Respecto a macronutrimentos el huerto más fértil (arcilloso) y con pH cercano al neutro presentó mayores valores en la extracción por parte del fruto difiriendo ambos huertos en el orden decreciente de extracción únicamente en el Fe y B.

El orden de requerimiento nutrimental para los árboles del huerto de suelo arenoso fue el siguiente: $\text{Cu} > \text{N} > \text{B} > \text{Mg} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{P} > \text{K}$.

El orden de requerimiento nutrimental para los árboles del huerto de suelo arenoso fue el siguiente: $\text{Cu} > \text{N} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Mn} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{B}$.

3.7. LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo A.C. Chapingo, México.
- Alva, A.K.; Fares, A.; Dou, H. 1999. Dry matter and nitrogen, phosphorus, and potassium partitioning in citrus trees. In: ASA Annual Meeting, Madison, 1999. Abstracts. Salt Lake City, UT.
- Alves, M. F. F. A. y Azevedo, J. C. 2003. DRIS norms for 'Valencia' sweet orange on three rootstocks. *Pesq. Agropec. Bras.* 38 (1), p. 85-93.
- Amoros, C. M. 1995. Producción de agrios. Madrid: Grupo Mundi Prensa. 286 p.
- Bataglia, O.C.; Rodriguez, O.; Hiroce, R.; Gallo, J.R.; Furlani, P.R.; Furlani, A.M.C. 1977. Composição mineral de frutos cítricos na colheita. *Bragantia*, v.36, p.215-221.
- Bataglia, O.C.; Rodriguez, O.; Hiroce, R.; Gallo, J.R.; Furlani, P.R.; Furlani, A.M.C. 1978. Extrair de nutrientes por frutos cítricos na colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA 4., 1978. Salvador, Anais... Cruz das Almas: SBF. p.117-123.
- Bustan, A.; Goldschmidt, E.E.; Erner, Y. 1999. Progress in the development of "Citrus" A dynamic model of citrus productivity. *Acts Horticulturae*, n.499, p.69-80.
- Chapman, H.D. 1968. The mineral nutrition of citrus. In: Reuther, W.; Weber, H.J.; Batchelor, L.D. (Ed.) *The citrus industry*. Riverside: University of California. v.2, p.127-289.
- Etchevers, B. J. D. 2001. Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos. IRENAT. Colegio de Posgraduados. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo A.C.
- Feigenbaum, S.; Bielora, H.; Erner, Y.; Dasberg S. 1987. The fate of ¹⁵N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. *Plant and Soil*, v.97, p.179-187.

- Haag, H.P.; Gutiérrez, L.E. y Dechen, A.R. 1993. Variacao de matéria seca e de nutrientes nas folhas e nos frutos, producao de ácido ascórbico e suco, em seis cultivares de citros, durante um ciclo. *Sci. agric. Piracicaba* 50 (2):193-203.
- Jackson, A. K. L. K.; Wheaton, T.A. 1995. Nutrition of Florida citrus trees. Gainesville: University of Florida. p.3-11.
- Kato, T. 1986. Nitrogen metabolism and utilization in citrus. *Hortic. Rev.* 8:181-216.
- Koo, R. C. J. 1984. Recommended Fertilizers and Nutritional Sprays for Citrus. Florida Agriculture Experiment Station Bul. 536D, USA.
- Lea-Cox, J.D., J.P. Syvertsen, and D.A. Graetz. 2001. Springtime "Nitrogen uptake, partitioning, and leaching losses from young bearing *Citrus* trees of differing nitrogen status. *J. Am. Soc. Hortic.* 126:242-251.
- Legaz, F., E. Primo-Millo, E. Primo-Yufera, and C. Gil. 1981. Dynamics of "N-labeled nitrogen nutrients in Valencia orange trees. *Proc. Int. Soc. Citriculture* 2:575-582.
- Legaz, F.; Serna, M.D.; Primo-Millo, E. 1995. Mobilization of the reserve N in citrus. *Plant and Soil*, v.173, p.205-210.
- Lopes, C.J.; Pelacani, C. R. y Dos Santos, S. W. 2003. Producao e particao de materia seca e abertura estomática do limoeiro 'Cravo' submetido a estresse salino.
- Malavolta, E.; Silva, A.Q.; Cesar, M.J.A.; Teofilo Sobrinho, I.; Pompeu, Jr., J. 1984. Variacgao de materia seca e de macronutrientes nos frutos de cinco variedades de citros durante seu crescimento. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura 7., 1984, Florianopolis. Anais Florianopolis: SBF, p.424-434.
- Malavolta, E.; Silva, A.Q.; Silva, H.; Cesar, M.J.A.; Teofilo Sobrinho, J.; Pompeu, J. Jr. 1988. Acumulagao de materia seca e de micronutrientes nos frutos de cinco variedades de citros durante o seu crescimento. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura 9. Campinas, Anais... Campinas:SBF, 1988. v.1, p.205-8.
- Marchal, J. and Lacoeyuilhe J. J. 1969. Bilan mineral du mandarinier. *Fruti, París* 24(6) 199-218.
- Mattos, J.D.; Quaggio, J. A. y Cantarella, H. 2003. Nutrient content of biomass components of Hamlin swett orange trees. *Scientia Agrícola* 60 (1): 155-160.
- Mattos, J. D.; Graetz, D. A. y Alva, A. K. 2003. Biomass distribution and nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy entisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 555-563.

- Quaggio, J.A.; Raij, B. Van; Toledo Piza, Jr., C. 1996. Frutíferas. Recomendacoes de adubagao e calagem para o estado de Sao Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agronómico & Fundagao IAC. p.121-153.
- Quintero, M. B.; Lee R., V. y Alcalá R., J. M. 1997. Estimación de biomasa y distribución radical de naranjo 'Valencia' en suelos calcáreos de Tamaulipas. In: Memoria XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco, México. pp 95.
- Smith, P.F.; Reuther, W.; Specht A.W.; Hrciar, G. 1954. Effect of differential nitrogen, potassium, and magnesium supply to young Valencia orange trees in sand culture on mineral composition especially of leaves and fibrous roots. *Plant Physiology*, v.29, p.349-355.
- Smith, P.F. 1966. Leaf Analysis of Citrus, In: Childers, N.F. (Ed.) *Temperate to tropical fruit nutrition*. 2.ed. Somerville: Somerset Press. p.208-228.
- Wutscher, H.K. 1986. Comparison of soil, leaf and feeder root nutrient levels in the citrus blight-free and citrus blight-affected areas of a 'Hamlin' orange grove. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, v.99, p.74-77.