

Universidad de Guadalajara  
Escuela de Agricultura

*"EFECTO DE LA FERTILIZACION EN LA DENSIDAD DE RAICES  
DEL LIMON MEXICANO (Citrus aurantifolia, Swingle) ASOCIADO  
CON PALMA DE COCO (Cocos nucifera, L.)"*

T e s i s :

Que para obtener el título de

Ingeniero Agrónomo

P r e s e n t a

JUAN JOSE SALAZAR SILVA

Guadalajara, Jal. 1981.



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Escuela de Agricultura

Enero 29 de 1981

EXPEDIENTE .....

NUMERO .....

**C. PROFESORES:**

~~ING. JOSE MARIA CHAVEZ ANAYA, Director~~  
~~ING. JOSE MARIA AYALA RAMIREZ, Asesor~~  
~~ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA, Asesor~~

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis: "EFECTO DE FERTILIZACION EN LA DENSIDAD DE RAICES DEL LIMON MEXICANO (Citrus aurantifolia Swingle) ASOCIADO CON PALMA DE COCO (Cocos nucifera L.)

presentado por el Pasante JUAN JOSE SALAZAR SILVA han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes que sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarle las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
"PIENSA Y TRABAJA"  
EL SECRETARIO

ING. JULIAN SANCHEZ GONZALEZ

srd.

Las Agujas, Mpio. de Zapopan, Jal., Enero 30 de 1981

C. ING. LEONEL GONZALEZ JAUREGUI  
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA  
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
P R E S E N T E

Habiendo sido revisada la Tesis del PASANTE JUAN

JOSE SALAZAR SILVA

Titulada:

EFFECTO DE FERTILIZACION EN LA DENSIDAD DE RAICES DEL LIMON MEXICANO -  
(Citrus aurantifolia Swingle) ASOCIADO CON PALMA DE COCO (Cocos nucife-  
ra L.)

Damos nuestra aprobación para la Impresión de la misma

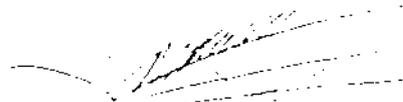
DIRECTOR

  
\_\_\_\_\_  
ING. JOSE MARIA CHAVEZ ANAYA

ASESOR

ASESOR

\_\_\_\_\_  
ING. JOSE MARIA AYALA RAMIREZ

  
\_\_\_\_\_  
ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA

srd.

" D E D I C A T O R I A "

Con cariño y respeto dedico  
esta tesis a mis padres:  
Sr. José Salazar Salazar y  
Sra. Angela Silva de Sala--  
zar, que con amor, conse---  
jos y sacrificios han sabi-  
do guiarme por la senda del  
bien, esperando con ello co  
rresponder a sus esfuerzos-  
y ver realizados sus anhe--  
los. .

Con amor a mi esposa Chela,  
que ha sabido comprenderme.

A mi hijo Juan José.

A mis abuelitos:  
José M. Salazar Ureña  
Ma. Concepción Salazar de  
Salazar +

## AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA:  
Con sincero agradecimiento.

A MI ESCUELA DE AGRICULTURA.

AL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTI-  
GACIONES AGRICOLAS, por las faci-  
lidades brindadas en la elabora--  
ción de la presente tesis.

A MIS COMPAÑEROS.

A los MC Victor Medina Urrutia y  
MC José Orozco Romero, por su ---  
gran colaboración para elaborar -  
esta tesis.

A LOS INGS.

JOSE MARIA CHAVEZ ANAYA

ANDRES RODRIGUEZ GARCIA

JOSE MARIA AYALA RAMIREZ,

que mediante su dirección  
y asesoramiento fue posi-  
ble la realización de és-  
ta, mi Tesis Profesional.

# C O N T E N I D O

Pág.

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

I.	INTRODUCCION	1
II.	REVISION BIBLIOGRAFICA	2
	2.1 Factores que afectan el crecimiento y la <u>dis</u> tribución radical de frutales.	2
	2.1.1 Textura del suelo	2
	2.1.2 Nutrimentos	3
	2.1.3 Compactación	6
	2.1.4 Humedad del suelo	7
	2.1.5 Manejo del suelo	9
	2.2 Métodos de estudio radicular	10
	2.2.1 Método esquelético	10
	2.2.2 Método del monolito	11
	2.2.3 Método estacionario	11
	2.2.4 Método de laboratorio	12
III.	OBJETIVOS, HIPOTESIS Y SUPUESTOS	14
IV.	MATERIALES Y METODOS	15
	4.1 Localización del sitio experimental	15
	4.2 Descripción de la zona	15
	4.3 Clima	15
	4.4 Suelo	17
	4.5 Material vegetativo	18
	4.6 Manejo del huerto	18
	4.7 Tratamientos y diseño experimental	19

	Pág.
4.7.1 Tratamientos	19
4.7.2 Diseño experimental	19
4.7.3 Diseño de tratamientos.	19
4.8 Fertilización	19
4.9 Método de aplicación	20
4.10 Descripción de los métodos	20
4.11 Sitios de muestreo	21
4.12 Volumen de la muestra	21
4.13 Manejo de la muestra	21
4.14 Raíces utilizadas en el presente estudio	23
4.15 Determinación del peso de raíces	23
4.16 Análisis de suelos	23
4.16.1 Determinaciones físicas	23
4.16.2 Determinaciones químicas	23
V. RESULTADOS	26
5.1 Distribución radical de limón mexicano <i>Citrus aurantifolia</i> Swingle asociada con palma de coco. Efecto de dosis de fertilización.	26
5.1.1 Efecto de dosis de fertilización en la densidad de raíces	26
5.1.2 Distribución horizontal de raíces	29
5.1.3 Efecto de cinco dosis de fertilización en la densidad de raíces en cuatro distancias del tronco	30
5.1.4 Distribución vertical de raíces	36
5.1.5 Efecto de cinco dosis de fertilización en la densidad de raíces a dos-	36

	profundidades	
5.1.6	Efecto de la orientación de muestreo en la distribución vertical de raíces	37
5.1.7	Efecto de interacción, distribución horizontal por profundidad	39
VI.	DISCUSION	42
6.1.1	Efecto de dosis de fertilización en densidad de raíces	42
6.1.2	Distribución horizontal de raíces	46
6.1.3	Efecto de dosis de fertilización en la distribución horizontal de raíces	49
6.1.4	Distribución vertical de raíces	50
6.1.5	Efecto de la fertilización en la distribución vertical de raíces	52
6.1.6	Efectos de la orientación	53
6.1.7	Efecto de la profundidad en la distribución horizontal de raíces	55
VII.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	57
VIII.	BILIOGRAFIA	60
IX	APENDICE	63

## INDICE DE CUADROS

No.	DESCRIPCION	Pág.
1.	Características físico-químicas del suelo donde se estableció el experimento	17
2.	Densidad de raíces en cinco tratamientos de fertilización. Promedios de 64 muestras (medias retransformadas)	28
3.	Densidad de raíces en cuatro distancias del tronco. Promedio de 80 muestras (medias retransformadas)	30
4.	Efecto de cinco dosis de fertilización en la densidad de raíces de cuatro distancias. Promedio de 16 muestras (medias retransformadas)	32
5.	Densidad de raíces en dos profundidades del suelo-promedio de 160 muestras (medias retransformadas)	
6.	Densidad de raíces en dos profundidades del suelo-y cinco dosis de fertilización. Promedio de 64 --- muestras (medias retransformadas)	38
7.	Densidad de raíces en cuatro distancias del tronco y dos profundidades del suelo. Promedio de 80 muestras. (Medias retransformadas)	39
1A.	Análisis de Varianza	63

## INDICE DE FIGURAS

No.	DESCRIPCION	Pág.
1.	Croquis de localización del experimento.	16
2.	Croquis del huerto limón - palma.	16
3.	Croquis de los lugares del muestreo.	22
4.	Croquis del trazo de riego "espina de pescado".	25
5.	Barreno tipo "california" usada en el presente estudio.	22
6.	Efecto de dosis de fertilización en la densidad de raíces.	27
7.	Distribución horizontal de raíces.	31
8.	Interacción dosis de fertilización y distribución horizontal de raíces.	31
9.	Distribución vertical de raíces.	34
10.	Interacción dosis X distribución vertical.	34
11.	Influencia de la orientación del muestreo.	35
12.	Interacción orientación y distribución vertical.	35
13.	Efecto de la interacción profundidad X distribución vertical.	40

## I. INTRODUCCION

La superficie cultivada de limón en el Estado de Colima es de 24,000 hectáreas, que representan más del 40% de la superficie total cultivada, por lo que es el Estado productor de limón más importante en la República, aportando los mayores ingresos económicos en el sector frutícola en esta entidad.

Dada la <sup>de</sup> importancia del cultivo es necesario tener un mejor conocimiento acerca del comportamiento de la misma planta para mejorar las prácticas de cultivo. ←

Los estudios de raíces en árboles, permiten mejorar las prácticas de riego, fertilización y demás labores culturales. Por lo anterior en el presente trabajo se pretende tener un conocimiento de la distribución horizontal y vertical de raíces del limón mexicano bajo diferentes dosis de fertilización.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Factores que afectan el crecimiento y la distribución radical de frutales.

El crecimiento y la forma que adquiere el sistema radical de una planta, es afectada por varios factores, los más importantes son: textura, compactación, humedad, aireación, temperatura, nutrimentos, manejo del suelo y las características heredadas genéticamente a la planta. Ghosh (1973).

#### 2.1.1 Textura del suelo.

Ford (1959) citado por Medina (1978) al evaluar el efecto de varias capas de arcilla situadas a diferente profundidad en el suelo sobre el crecimiento radical de los cítricos, encontró que el mandarino Cleopatra tuvo más raíces en la capa de arcilla que el limón Rugoso el cual se adapta más a suelos arenosos y que además el cultivar de naranjo puede favorecer la mayor cantidad de raíces en un patrón independientemente de la textura del suelo.

Oskamp (1932), encontró que la distribución radical de ce-rezo varía de acuerdo al tipo de suelo, ya que en suelos de barro y grava el mayor porcentaje de raíces estaba a 30 centímetros de profundidad; siguiendo en la misma tendencia los suelos con barro y arena fina, así como los

suelos de textura media y compactos, mientras que en suelos de textura ligera y profundos, las raíces fibrosas se encontraron a mayor profundidad; resultados similares encontraron Oskamp y Batje (1932) en cerezo.

Trocme y Gras (1972) citado por Mata (1975), reportan que las piedras son un obstáculo para el crecimiento de las raíces, y que por lo tanto inducen a que cambien de dirección favoreciéndose la ramificación; fenómeno parecido -- puede observarse cuando existen rocas sin porosidad o piedras calizas que favorecen la emisión de un capellón de raicillas en el límite que separa el suelo normal y la capa calcárea.

#### 2.1.2. Nutrimientos.

Según Addoms y Kramer (1946), mencionan que las raíces -- hasta de 1 y 2 centímetros pueden absorber agua y cuando crecen en capas ricas en materia orgánica y nutrimentos, -- éstas se ramifican intensamente. En Trinidad, Gregory --- (1935 citado por Medina) encontró que en los pomelos de 3 años el fertilizante incrementó el sistema radical en un 100%, siendo este incremento tanto en profundidad como en desarrollo lateral.

Ford et. al. (1957) en varios experimentos sobre naranjas cv Valencia señala que el fertilizante nitrogenado a niveles bajos favorece el desarrollo de raíces tanto en profundidad como lateralmente en relación al testigo. Sin em bargo, el mismo autor indica que cuando los niveles de ni trógeno se elevan de 110 a 540 y 1000 g/árbol en naranjos

jóvenes, o bien de 400 a 800 y 1,500 g/árbol, en plantas adultas se produce una reducción en el crecimiento radical. Es decir, que con niveles medio y alto de nitrógeno se obtienen el 11 y 13% menos de raíces, respectivamente que cuando se usa el nivel de nitrógeno más bajo. En algunos casos esta tendencia se observó no sólo en el crecimiento vertical de las raíces, sino también lateralmente.

Parece que no solo la cantidad de fertilizante nitrogenado modifica la cantidad de raíces en el suelo, sino también la fuente de nitrógeno empleada según señalan Cahoon et. al. (1960), quienes al aplicar sulfato de amonio, nitrato de sodio, nitrato de calcio y estiércol a razón de - 1.36 Kg/árbol/año, en naranjos encontraron que el sulfato de amonio y la urea produjeron la mayor concentración de raíces en la capa de 0 a 120 centímetros. Asimismo Cahoon et. al. observaron que en el perfil estudiado el sulfato de amonio, la urea y el estiércol favorecieron el desarrollo de raíces abajo de los 30 cm.; en contraste el nitrato de calcio y el testigo lo hicieron en los primeros 30 centímetros de profundidad; Posteriormente al relacionar estos efectos con los tipos de labranza y frecuencia de riegos, Cahoon y Stolzy (1966), indican que los fertilizantes por sí solos producen reacciones que cambian las características físicas, químicas y biológicas del suelo, las que a su vez modifican la tasa de infiltración de agua, el nivel de salinidad y la aireación del suelo responsables del crecimiento de las raíces. De estos estudios, se infiere que ciertas fuentes de nitrógeno favorecen el desarrollo de raíces pero producen condiciones ad-

versas que limitan la infiltración del agua, lo que reduce el rendimiento aún cuando se haya labrado el suelo para favorecer la infiltración.

Spencer (1958) utilizando dosis fuertes de fosfatos (0, 340, 1340 y 5365 Kg/ha) en árboles de toronjo, encontró que la cantidad de raíces fue 7 veces menor que donde se aplicaron fosfatos y que el efecto más fuerte se observó en la capa de 0 a 15 cm que en la de 15 a 30 cm. Además, indicó que las dosis elevadas de fosfatos redujeron el crecimiento de los árboles, aumentaron su susceptibilidad de heladas, disminuyeron la absorción de B, Ca, Zn y aumentaron la de Mn y Mg. Al continuar el experimento anterior, Spencer (1959), reportó que los residuos de las dosis altas de fosfatos tuvieron un efecto depresivo en el crecimiento de las raíces del toronjo, aún 17 meses después de su aplicación. En otro experimento, Spencer (1959) observó que las dosis crecientes de monofosfato de calcio (0, 110, 331, 1106, 2212 y 3318 Kg/ha) favorecieron el crecimiento radical del limón Rugoso hasta un cierto límite, después del cual hubo un efecto depresivo del fósforo en el desarrollo de raíces. También, se señala que el superfosfato de amonio restringe el crecimiento de las raíces de naranjo Valencia en la capa de 0 a 45 cm. del suelo. Finalmente, el mismo autor probó varias formas de fosfatos más materiales de suplemento y encontró que con monofosfato de calcio más fluoruro de calcio hubo menor cantidad de raíces que con las demás fuentes de fosfatos. De estos estudios el autor concluye que el efecto -

del fósforo (ácido fosfórico) cuando entra a la solución no es tóxico por sí sólo, pero sí cuando se combina con altas concentraciones de Cu y otros nutrimentos en el suelo; y también que el fluoruro de calcio insoluble puede permanecer en la zona radical ya que no se lava rápidamente y reduce apreciablemente el sistema radical y la producción de materia seca.

### 2.1.3. Compactación.

Las raíces no penetran en suelos que tengan sus horizontes compactados.

Gruzdev (citado por Ayala 1976), encontró que las raíces de manzano penetran bien en suelos con una resistencia mecánica de  $30 \text{ Kg/cm}^2$ , penetran poco cuando fue de 30 a  $60 \text{ Kg/cm}^2$  y no penetran con firmezas del suelo mayores de  $60 \text{ Kg/cm}^2$ . En los suelos compactados las raíces laterales se anudan pero esto también puede ocurrir en suelos de un alto espacio poroso no capilar (Knight, 1942).

Ghosh (1973 citado por Medina 1978) menciona que es muy difícil la penetración de las raíces a través de las capas duras naturales del suelo, o bien de las causadas por la maquinaria y circulación de vehículos.

Medina (1976) al calibrar el método de estudio para evaluaciones del sistema radical en árboles de limón en diferentes profundidades, encontró una menor cantidad de raíz-

ces en los árboles plantados a lo largo de los cuales se trazaron los caminos para la circulación de maquinaria, observándose además que no hubo raíces en la capa de 0 a 10 cm en el caso del suelo compactado por el tráfico.

Rodríguez y Agrosba (1956 citado por Hernández 1978), mencionan que los tractores son los que más compactan el suelo y que debe evitarse el tráfico en los huertos.

#### 2.1.4. Humedad del suelo.

La distribución de las raíces varía de acuerdo al contenido de humedad del suelo por la necesidad que tienen de ella. Al respecto se han hecho numerosos estudios como los de Beckenbach y Frouley (1932); Boynton y Savage (1938); Marth (1934); quienes han reportado que la máxima concentración de raíces fibrosas por pie cúbico de suelo bajo los árboles es de 1.80 a 2.40 metros desde el tronco y a solo 90 cm de profundidad.

Hendrickson y Vaihmeier (1931) señalan que no hay crecimiento de las raíces de girasol en suelos con tensiones de humedad del suelo cerca del punto de marchitamiento permanente.

Kenworthy (1953), afirma más específicamente que la máxima utilización de la humedad por las raíces es dentro de la copa del árbol.

Según Kolesnicov (1971), es bien conocido que el rendimiento en árboles frutales aumenta a medida que se logra una mayor profundidad en su enraizamiento, es decir, que entre más profundo desarrollen sus raíces y/o más volumen ocupen en el suelo, casi siempre los árboles son más productivos que cuando desarrollan sus raíces más superficialmente. Además en estas condiciones sufren menos factores adversos como por ejemplo escasez de agua.

Cahoon et. al. (1960), lograron regular el sistema radicular de cítricos según la práctica de riego seguida, en donde manteniendo la superficie seca a intervalos prolongados lograron que las raíces se profundizaran, pero en menor cantidad que aquellos que habían sido irrigados más frecuentemente.

Ghosh (1973) explica que un contenido bajo de humedad no solo limita el crecimiento de las raíces, sino también impide su diferenciación. La explicación a lo anterior puede ser la indicada por González (1968), quien señala que si el agua es escasa, las células de la raíz no alcanzan el estado de turgencia necesario para que tenga lugar el crecimiento, y si es excesiva dificultad de aireación, tan necesaria para el desarrollo de la raíz. Aunque no señala cuáles son los límites de escasez y exceso de humedad.

En cuanto a la distribución vertical de las raíces absorbentes Cahoon (1961, 1966 citado por Medina 1978), al es-

tudiar el efecto de la frecuencia de los riegos sobre la mayor cantidad de raíces a diferentes profundidades, encontró una mayor cantidad de raíces en las capas más profundas cuando se regó a intervalos de 6 semanas o bien 100 centibarios (cb) que cuando lo hizo con un período de 3 semanas o 20 cb.

#### 2.1.5. Manejo del suelo.

El manejo del suelo influye en la distribución de las raíces tal como lo han demostrado los trabajos de Beckenbach y Prourley (1932) citados por Mata (1975) quienes aplicando barbecho, pasto mulch, encontraron que en éste había más raicillas superficiales, lo anterior también ha sido reportado por Marth (1934), solo que la máxima densidad radicular se encontraba a más profundidad.

Cuando se usa barbecho, la destrucción de las raíces superficiales es total, debido al corte producido, Proebsting (1953).

De la revisión efectuada por Mata (1975) y Ayala (1977), en sus trabajos de tesis sobre manzano se resume que: las labores del suelo con maquinaria determinan un enraizamiento más profundo de los árboles. Por el contrario en un suelo sin laboreo, se forman gran cantidad de raíces en la superficie de 15 cm del suelo. Sin embargo, cuando se comparan el barbecho pasto y "mulch" como prácticas de manejo, se encontró que el "mulch" favorece la formación de raíz--

ces más superficiales que las otras dos prácticas.

También se señala que la aplicación de herbicidas favorece el enraizado más superficial de los árboles.

En cuanto a la distribución de las raíces de acuerdo a las aplicaciones inorgánicas, Susa (1938), encontró que aplicando fertilizante "al voleo" la distribución y producción era un 10% más que cuando era aplicado alrededor del árbol.

## 2.2. Métodos de estudio radicular.

Kolesnikov (1971), clasifica a los métodos de estudio en cuatro clases:

- 1) Método esquelético
- 2) Método del monolito
- 3) Método estacionario
- 4) Método de laboratorio

### 2.2.1. Método esquelético.

Consiste en que mediante un excavado completo en el suelo y subsuelo se obtiene el sistema radicular tal y como se encuentra en forma natural permitiéndose fotografiarlo y dibujarlo en papel; es uno de los métodos más viejos usado por Holes (1727) y más tarde usado por Weaver (1919) y Kazakevich (1925), citados por Kolesnikov (1971), quienes

examinaron los sistemas radiculares de plantas herbáceas y forestales; fue usado también desde 1920 por Kolesnikov en Rusia y Rogers y Vyvyan (1934) en Inglaterra, siendo - estos últimos los primeros que presentaron en fotografía - la distribución de raíces en manzana.

### 2.2.2. Método del monolito.

Este exige al igual que el anterior, una excavación total en seco del sistema radicular de una planta y/o bien la - remoción de una parte por medio de pequeños bloques de -- suelo, determinándosele su peso total y longitud de las - raíces contenidas en cada monolito.

Este método fue empleado primero para estudiar las raíces en plantas anuales y más tarde en árboles, incluyendo fru - tales, el primero en usarlo fue Muntz y Jirard (1891), -- posteriormente King (1893); Rotmistrov (1907); Sokołovsky (1913) y Molostov (1916) citados por Kolesnikov (1971).

Rogers y Vyvyan (1934), fueron los primeros en usarlo en - árboles frutales llamándolo "Método de bloque". Otros que lo usaron fueron Schmit y Nutman (1940) para el estudio - radicular en café en Sudáfrica.

### 2.2.3. Método estacionario.

Método de perfil. Consiste a diferencia de los demás en - abrir una zanja a cierta distancia desde el tronco del ár

bol dentro del suelo donde se encuentra contenido el sistema radicular, permitiendo dibujar en un plano la densidad de las raíces e identificar a la vez los horizontes del suelo.

El primero en usarlo fue Hellriegel (1883), pero Weaver (1913), citados por Kolesnikov (1971) perfeccionó la técnica. Oskamp y Batjer (1932), lo emplearon para estudiar el sistema radicular en una zona frutícola de Nueva York.

d) Método de Laboratorio.

#### 2.2.3.1. Método de lavado.

Consiste en descubrir el sistema radicular mediante aplicaciones de agua con el fin de que las raíces queden intactas siendo empleado sólo en plántulas y árboles frutales jóvenes (menos de 2 años de edad).

Este método ha sido usado por mucho tiempo desde Stockhardt (1855); Nobbe (1875); Heinrich (1976); Hellriegel (1883) y otros más citados por Kolesnikov (1971).

#### 2.2.3.2. Métodos de observación directa.

Rogers (1932), en Inglaterra en la estación experimental East Malling ya utilizaba este método mediante cabinas especiales, pero debido a sus limitaciones se eliminó y fue en los años 1960-1961 cuando Rogers y Head (1968), quie--

nes mediante la construcción de un laboratorio subterráneo han logrado estudiar muchos factores que influyen sobre el crecimiento y la distribución de las raíces de varias plantas frutales.

Los métodos anteriores se mencionan entre los más importantes, existiendo combinaciones y modificaciones de ellos que han dado buenos resultados.

### III. OBJETIVO, HIPOTESIS Y SUPUESTOS

#### 3.1 Objetivo.

El objetivo del presente trabajo es estudiar los efectos de diferentes dosis de fertilización en la distribución horizontal y vertical de raíces del limón Mexicano (*Citrus aurantifolia*, Swingle) asociado con palma de coco (*Cocos nucifera*).

#### 3.2 Hipótesis.

La fertilización a base de N, P y K en limón no afecta la densidad de raíces ni modifica su distribución horizontal y vertical.

La densidad de raíces del limón, así como su distribución horizontal y vertical no son afectadas por el cultivo de la palma de coco asociado.

#### 3.3 Supuestos.

Las condiciones de clima y suelo, así como de manejo, riego, control de plagas y enfermedades, etc., son uniformes para todo el huerto donde se desarrolló el presente estudio.

4-

## IV. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Localización del sitio experimental.

El estudio se efectuó en un huerto ubicado en el ejido Independencia, Municipio de Tecomán, Colima en la zona cí--trícola de Tecomán, Colima. (Figura 1).

### 4.2. Descripción de la zona.

Localización geográfica. La zona se encuentra en el extre--mo sureste del Estado de Colima y está situada entre los--103°37' y los 103°59' de longitud oeste y los 18°41' y --los 19°07' de latitud norte, a una altitud de 33 metros -sobre el nivel del mar, Oseguera (1972).

### 4.3 Clima.

Según Koopen, (citado por Orozco 1979), el clima de la zo--na está clasificado como Bs (h') W (w) que corresponde al clima seco, cálido, con lluvias en verano y una oscila---ción isotermal de temperatura. Oseguera (1972) lo clasifi--ca como semiseco, con invierno y primavera secas, tropi--cal, sin estación invernal bien devinida, con una tempera--tura media anual de 26.7° y una precipitación pluvial me--dia de 825 mm.

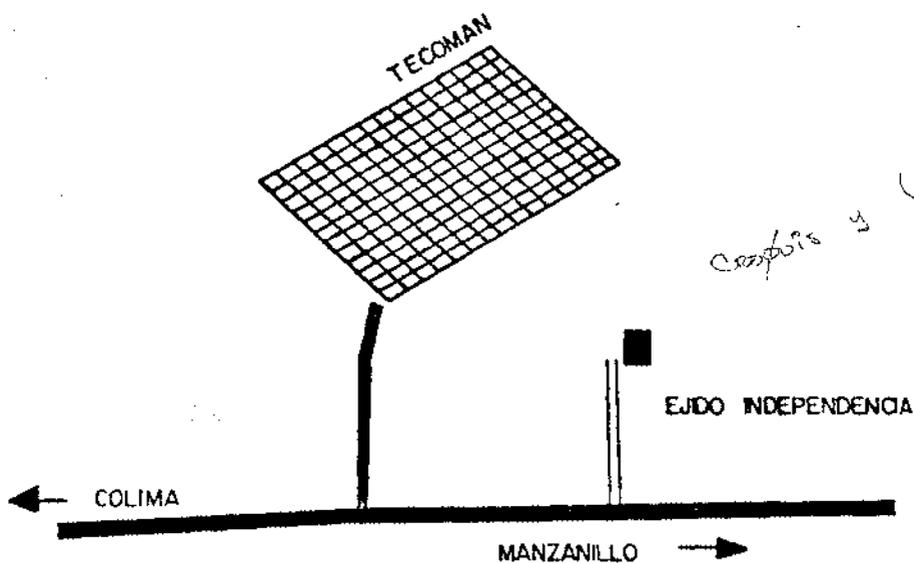


Fig. 1.- CROQUIS DE LOCALIZACION DEL EXPERIMENTO

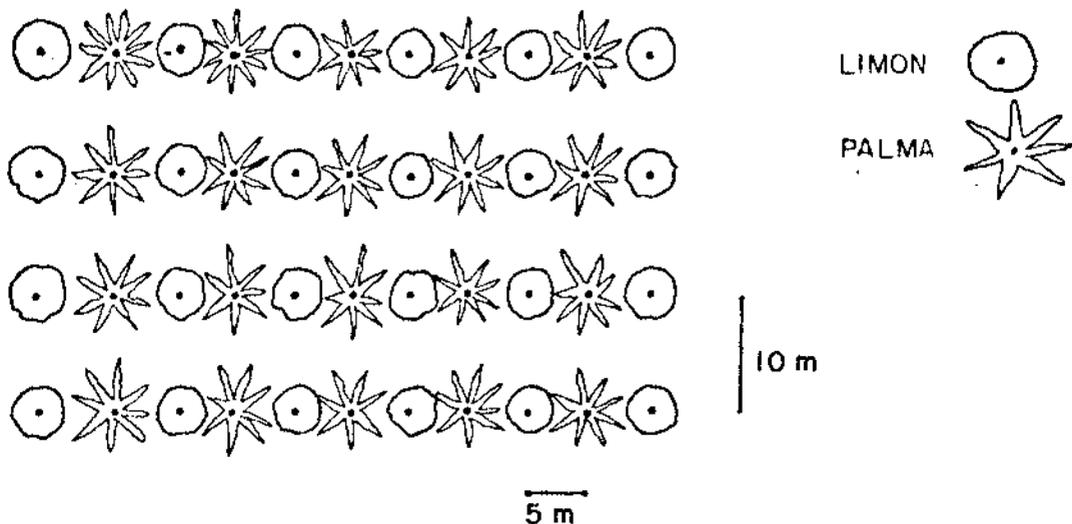


Fig. 2.- CROQUIS DEL HUERTO LIMON-PALMA

#### 4.4. Suelo.

En el Cuadro 1, se presentan algunas características físico-químicas del suelo donde se estableció el experimento.

CUADRO 1. Características físico-químicas del suelo donde se estableció el experimento.

Características	0 - 30	Profundidad
Arena (%)	83	87
Arcilla (%)	8	8
Limo (%)	9	5
Textura	Arena migajosa	Arena migajosa
pH	8.3	8.5
Materia orgánica (%)	0.690	0.552
Nitrógeno total (%)	0.047	0.021
Fósforo (ppm)	10	04
Potasio (ppm)	75	75
Calcio (ppm)	357	367
Magnesio (ppm)	80	80
C.E. Sat. (mmhos/cm)	0.75	0.75
CaCO <sub>3</sub> (%)	2.5	3.0
Saturación	33	31

#### 4.5 Material vegetativo.

Se utilizó un huerto de árboles de limón (*Citrus auranti-folia*, Swingle) provenientes de semilla, plantados en marco real con distancias de 10 x 10 metros, teniendo palma-coprera intercalada (de acuerdo a la Figura 2). La edad - de los árboles al efectuar el estudio de raíces fue de 13 años.

#### 4.6. Manejo del huerto.

Este experimento se efectuó aprovechando un trabajo de - fertilización iniciado en 1974 cuando los árboles tenían - 7 años y las prácticas culturales realizadas durante la - conducción del experimento fueron homogéneas en todo el - huerto, a excepción de las dosis del fertilizante.

Los árboles se trataron de mantener libres de plagas me--diante el control biológico y en algunas ocasiones haciendo aplicaciones de insecticidas, también se previnieron - las enfermedades.

El riego fue con agua rodada, regando individualmente ár-bol por árbol, mediante la distribución del riego denomi-nada "espina de pescado" (Figura 4) el cual ya fue descrito en un trabajo anterior realizado por López V. en 1970, Los riegos se efectuaron en intervalos de 3 semanas, ----excepto en las épocas de lluvia que fueron menos frecuentes.

El suelo se trató de mantener libre de malas hierbas mediante dos rastreos anuales y limpiezas manuales.

Cuando fue necesario se eliminaron las ramas secas y los brotes no productivos (chupones).

#### 4.7. Tratamientos y diseño experimental.

##### 4.7.1. Tratamiento.

*→ (ver anexo 1)*  
El estudio de raíces se realizó en aquellos árboles que durante 6 años fueron fertilizados con las siguientes dosis de fertilización: 1.2-0.6-0.6; 1.2-0.6-00; 1.2-00-0.6; 0.0-0.6-0.6 y 00-00-00 (Testigo).

##### 4.7.2. Diseño experimental.

El diseño experimental fue el de bloques al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, utilizando un árbol como parcela útil.

##### 4.7.3. Diseño de tratamientos.

El diseño de tratamientos fue de parcelas sub-divididas donde la parcela grande son las dosis de fertilización y las chicas las posiciones de muestreo (distancia, profundidad y orientación).

#### 4.8 Fertilización.

→ La aplicación de los fertilizantes empezó el 14 de enero de 1974 y se continuó a la fecha.

Las fuentes utilizadas para nitrógeno, fósforo y potasio son: sulfato de amonio, superfosfato triple y sulfato de potasio respectivamente. ←

#### 4.9 Método de aplicación.

→ En todos los tratamientos se siguió el mismo método de aplicación del fertilizante, el cual consistió en colocarlo a una profundidad aproximada de 15 cm, en un surco alrededor del árbol a la mitad de la distancia de la zona de goteo. ↕

#### 4.10 Descripción de los métodos.

Método para determinar la distribución y cantidad de raíces. (Técnica de muestreo).

Para el muestreo de raíces se utilizó barrena tipo "California", método descrito por Becerra (1976), el cual consiste en un cilindro de volumen conocido con filos en la parte inferior ligeramente hacia dentro, para evitar la salida del suelo (según Figura 5).

En este estudio se utilizó barrena con las siguientes dimensiones: diámetro 7.62 cm, altura 20 cm, volumen de 912.07 cm<sup>3</sup>, con volumen total por muestra en las 3 barre-

naciones de  $273.22 \text{ cm}^3$

#### 4.11 Sitios de muestreo.

En el presente estudio se muestreó a 4 distancias partiendo del tronco, en dos direcciones (norte y oeste) y dos profundidades (Figura 3).

Las distancias de muestreo (4) se hicieron a partir del tronco hacia fuera de el árbol, siendo éstas a cada 1.10-cm las direcciones, una hacia el oeste (coincidiendo con la palma de coco a 5 m de distancia), la otra hacia el norte (limón a 10 m de distancia). (Ver croquis anexo); - las profundidades (2) una de 0 - 20 cm y la otra de 20 - 40 cm (Figura 3).

#### 4.12 Volumen de la muestra.

Se tomaron 3 barrenaciones por muestra, las cuales se juntaron en lona de plástico para su manejo, el volumen parcial (por barrena) es de  $912.07 \text{ cm}^3$  y el total (las tres-barrenaciones) de  $2736.22 \text{ cm}^3$ .

#### 4.13 Manejo de la muestra.

El mismo día del muestreo, en un laboratorio se separaron las raíces útiles a este trabajo (de diámetro igual o menor de 3 mm), se colocaron en bolsa de papel nueva y perforada, se etiquetaron y se dejaron 30 días secándose ba-

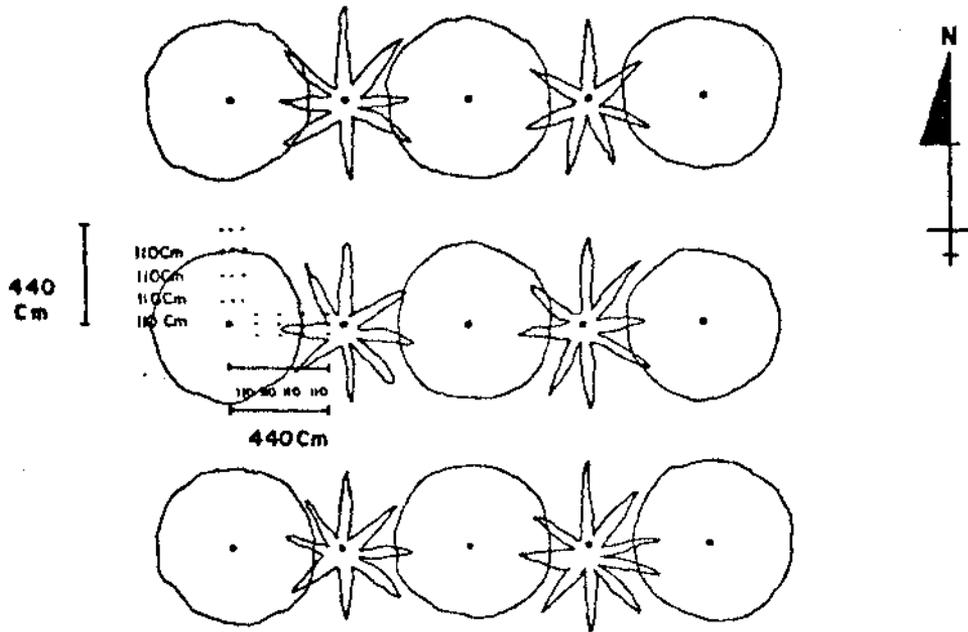


Fig. 3.- CROQUIS DE LOS LUGARES DE MUESTREO (orientacion y distancia del tronco)

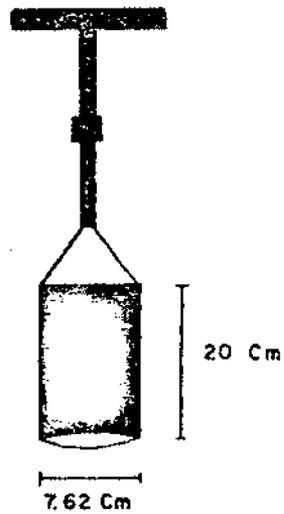


Fig. 5.- BARRENO TIPO "CALIFORNIA" USADA EN EL PRESENTE ESTUDIO.

jo techo.

#### 4.14 Raíces utilizadas en el estudio.

Del muestreo total se separaron las raíces útiles al presente trabajo (diámetro igual o menor de 3 mm), medidas - con vernier, desechándose las de diámetro mayor.

#### 4.15 Determinación del peso de raíces.

A los 30 días de secarse bajo techo se pesaron las raíces en báscula granataria con aproximación de milésima de gr no.

#### 4.16 Análisis de suelo.

Debido a lo homogéneo del suelo en el lote experimental, - se tomaron dos muestras y las propiedades físicas y químicas fueron evaluadas con el factor profundidades (2) 0-30 y 30-60 cm las cuales aparecen en el (Cuadro 1).

##### 4.16.1 Determinaciones físicas.

Análisis de textura, capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente, humedad aprovechable y densidad aparente.

##### 4.16.2 Determinaciones químicas.

pH, materia orgánica (%), nitrógeno total (%), fósforo -

(ppm) potasio (ppm), calcio (ppm) magnesio (ppm), conductividad eléctrica (mmohs) y  $\text{CaCO}_3$  (%).

9

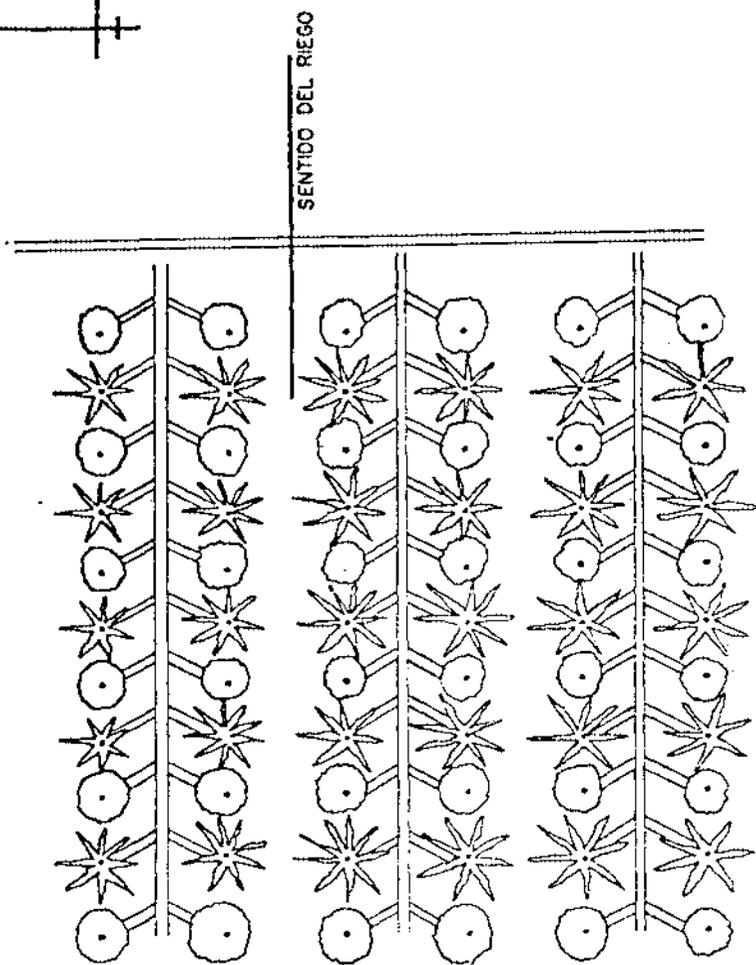


Fig. 4.- CROQUIS DEL TRAZO DE RIEGO "ESPIÑA DE PESCADO"

## V. RESULTADOS

### 5.1. Distribución radical de limón Mexicano Citrus aurantifolia, Swingle asociada con palma de coco. Efecto de dosis de fertilización.

En el presente experimento se estudió el efecto de cinco dosis de fertilización en el desarrollo radicular del limón y su interacción para distribución horizontal y vertical, así como la orientación del muestreo.

Las raíces utilizadas en el presente estudio, son las de diámetro igual o menor de tres milímetros, las cuales fueron separadas, se lavaron y se empaquetaron en bolsa de papel nueva y perforada.

La lectura se efectuó en raíces secadas a la intemperie y su peso registrado en miligramos por muestra.

Igualmente cada muestra es la suma de tres barrenaciones de volumen ya mencionado, tomados a las mismas distancias del tronco.

#### 5.1.1. Efecto de dosis de fertilización en la densidad de raíces.

El análisis de varianza nos muestra diferencias altamente significativas para tratamientos de fertilización. (Cua--

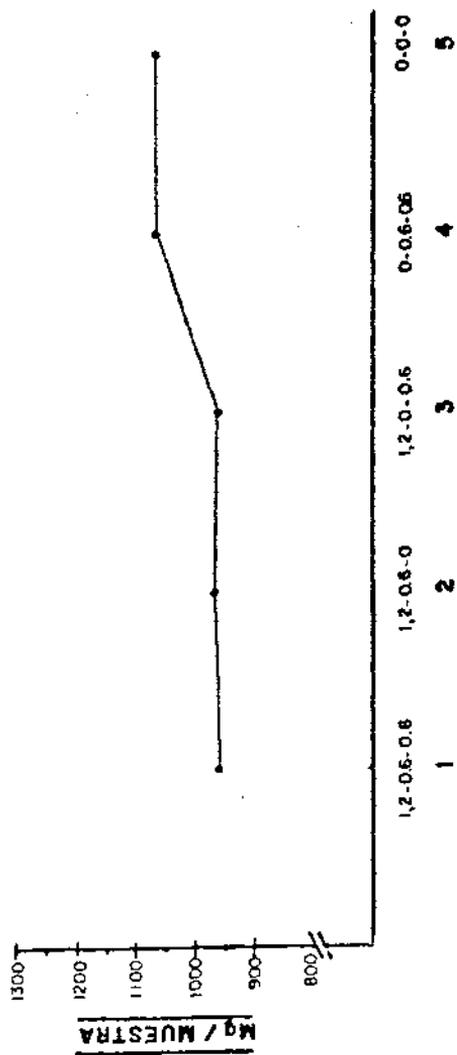


Fig. 6.- INFLUENCIA DE DOSIS DE FERTILIZACION EN LA DENSIDAD DE RAICES

dro 1 del Apéndice).

Como se puede observar en la figura 6, los tratamientos de fertilización provocaron efectos estadísticos significativos para densidad de raíces en promedio para todos los sitios muestreados (cuatro distancias, dos profundidades y dos orientaciones por árbol). Variando la cantidad de raíces de 1084.53 a 903.76 mg/muestra/promedios.

Los tratamientos 0-0.6-0.6 y 0-0-0 (testigo) resultaron estadísticamente con igual densidad de raíces, así también fueron los que propiciaron la mayor concentración de las mismas; en contraste con los tratamientos 1.2-0.6-0.6, 1.2-0.6-0 y 1.2-0-0.6 que tuvieron la misma tendencia de provocar la menor cantidad de raíces, siendo éstos estadísticamente semejantes entre sí.

CUADRO 2 DENSIDAD DE RAICES EN CINCO TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION. PROMEDIOS DE 64 MUESTRAS (MEDIAS RETRANSFORMADAS).

Dosis Kg/árbol/año	Densidad de raíces 3 mm
1.2 - 0.6 - 0.6	938.77 a <sup>1</sup>
1.2 - 0.6 - 0	995.34 a
1.2 - 0 - 0.6	995.98 a
0 - 0.6 - 0.6	1084.53 b
0 - 0 - 0	1081.27 b
DMS 0.05	89.92

1. Letras iguales representan semejanza estadística.

En el cuadro 2 se puede observar que a los árboles, que se les aplicó 1.200 Kg/año de nitrógeno, presentan la menor densidad de raíces.

#### 5.1.2. Distribución horizontal de raíces.

En el cuadro del apéndice se observa que el factor distancia de muestreo, resultó altamente significativo para densidad de raíces.

En la figura 7, podemos apreciar que la distribución radical, varía significativamente con la distancia del tronco, de tal forma que la mayor cantidad de raíces en promedio para todos los tratamientos la encontramos en la parte -- más cercana al tronco, disminuyendo conforme se aleja del mismo, no así en las últimas dos distancias que resultan estadísticamente iguales entre ellas.

Haciendo la comparación de medias se puede ver (cuadro 3) que a la distancia 110 cm. se encuentra la mayor densidad radical con 1248.38 mg/muestra y por último, también con diferencia significativa las distancias 330 y 440 cm. con una densidad radical de 902.66 y 864.20 mg/muestra respectivamente, siendo iguales estadísticamente entre estas -- dos últimas distancias.

CUADRO 3 DENSIDAD DE RAICES EN CUATRO DISTANCIAS DEL TRONCO. PROMEDIOS DE 80 MUESTRAS (MEDIAS RE TRANSFORMADAS)

<u>Distancia cm.</u>	<u>Densidad de raíces mg/muestra</u> 3 mm
110	1248.38 a
220	1065.48 b
330	902.66 c
440	864.20 c
DMS 0.05	78.62

De la figura 7 se observa que existe correlación negativa para distribución horizontal de raíces con un coeficiente de correlación 0.48.

5.1.3. Efecto de cinco dosis de fertilización en la densidad de raíces en cuatro distancias del tronco. (Interacción dosis X distancia de muestreo).

En el análisis de varianza para el efecto de cinco dosis de fertilización en la distribución horizontal de raíces a cuatro distancias del tronco, se observa (Cuadro del -- Apéndice) que existen efectos significativos, para la interacción de estos factores.

En la figura 8, podemos observar que los tratamientos de-

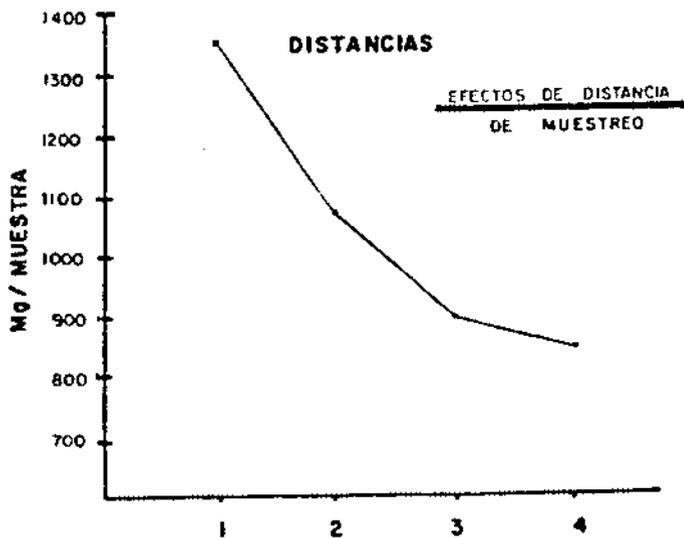


Fig.7.- DISTRIBUCION HORIZONTAL DE RAICES

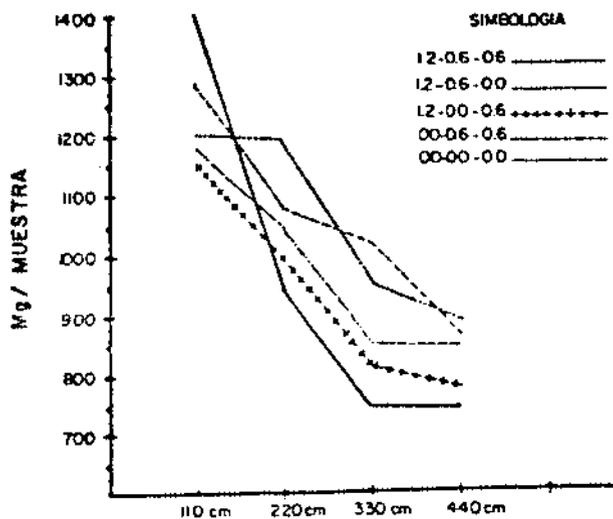


Fig. 8.- INTERACCION DOSIS DE FERTILIZACION X DISTRIBUCION ORIZONTAL DE RAICES

fertilización modifican la distribución de raíces en forma significativa.

Haciendo comparaciones entre medias de tratamientos (Cuadro 4), podemos ver la interacción de estos factores, presenta diferencias estadísticas significativas.

CUADRO 4 EFECTO DE CINCO DOSIS DE FERTILIZACION EN LA DENSIDAD DE RAICES DE CUATRO DISTANCIAS. PRO MEDIOS DE 16 MUESTRAS.(MEDIAS RETRANSFORMADAS)

Interacción		Densidad de raíces mg/muestra	
Dosis Kg/árbol/año	Distancia cm	3 mm	
1.2-0.6-0.6	110	1398.81	a <sup>1</sup>
	220	967.75	fghin
	330	773.63	k
	440	794.88	kj
1.2-0.6-0	110	1176.44	bcd
	220	1059.06	cdefg
	330	863.50	hijk
	440	882.38	ghijk
1.2-00-0.6	110	1149.63	bcde
	220	1010.81	efgh
	330	845.13	hijk
	440	818.38	ijk
0-0.6-0.6	110	1283.88	a
	220	1097.56	cdef
	330	1049.50	defg
	440	907.19	ghijk
0-0-0	110	1233.13	abc
	220	1192.19	bcd
	330	981.56	efghi
	440	918.19	fghijk
DMS 0.05		179.89	

1. Letras iguales representan semejanza estadística.

Así tenemos, que a la distancia 110 cm, presenta la misma cantidad las dosis 1, 4 y 5 con la mayor densidad, así como también las dosis 2 y 3 son similares entre sí, con la menor cantidad y diferentes a las anteriores, presentando semejanza estadística las dosis 2, 3 y 5.

A la distancia 220 presentan la misma densidad estadística las dosis 1, 2, 3 y 4 con la mayor cantidad y con la menor cantidad la dosis 5, pero similar también a las dosis 2 y 4.

Para la distancia 330 cm, que presentó la mayor cantidad e iguales entre ellos resultaron las dosis 4, 5, 2 y 3, - en contraste con la dosis 1 que propició la menor cantidad, siendo estadísticamente similar a las 2 y 3.

Finalmente a la distancia 440 cm, la densidad radicular es igual, no presentando diferencias estadísticas al nivel del 5%.

En conclusión, podemos ver que para todos los tratamientos, la mayor diferencia entre medias de tratamientos se presenta en la distancia más cerca del tronco, disminuyendo esta variación conforme se aleja. De tal forma que a la distancia 440 cm las medias de tratamientos resultan semejantes estadísticamente.

Así también, se puede observar que la dosis 1.2-0.6-0.6 Kg/árbol/año, provocó la mayor variación entre medias de-

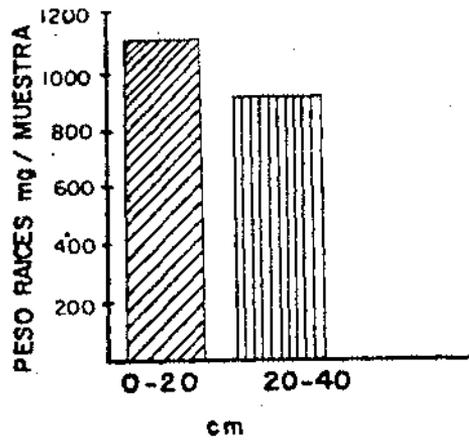


Fig. 9. - DISTRIBUCION VERTICAL DE RAICES

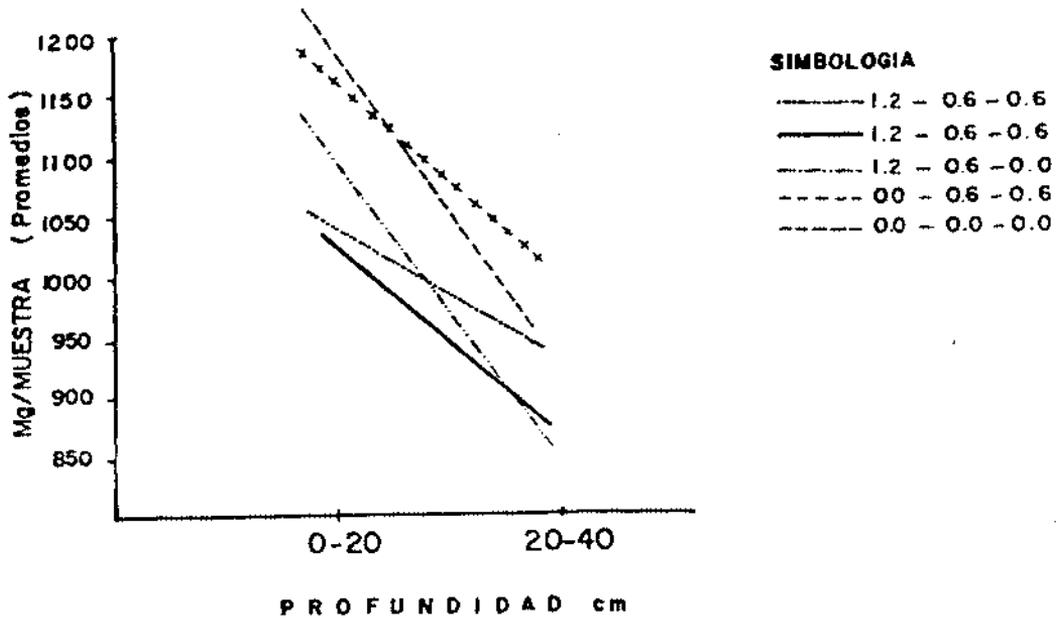


Fig. 10. - INTERACCION DOSIS X DISTRIBUCION VERTICAL

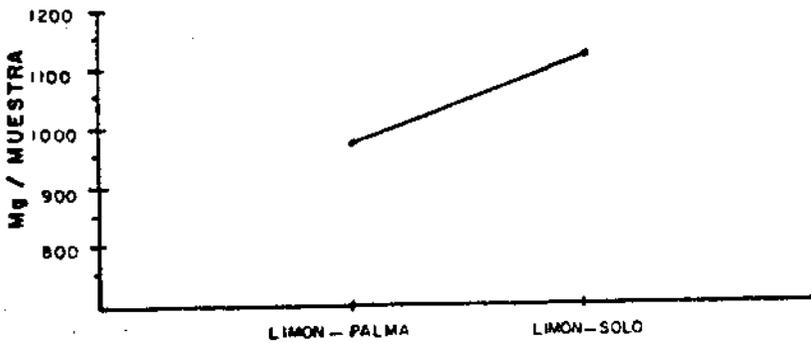


Fig. 11.- INFLUENCIA DE LA ORIENTACION DEL MUESTREO EN DENSIDADES DE RAICES

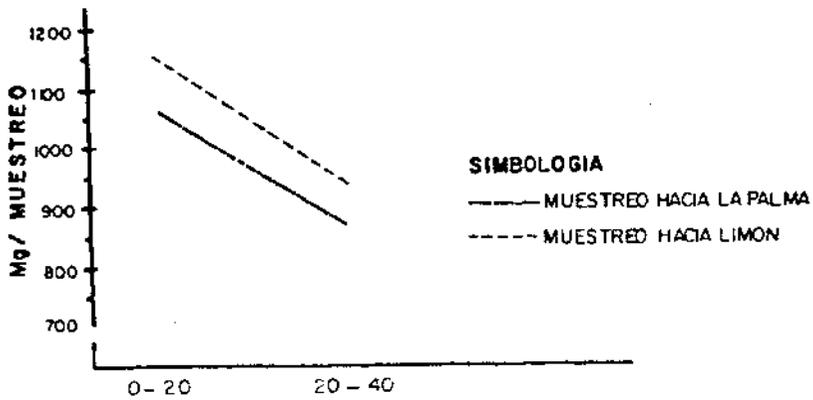


Fig. 12.- INTERACCION ORIENTACION X DISTRIBUCION VERTICAL

tratamiento, teniendo por una parte la mayor densidad a la distancia 110 cm. en contraste con la menor densidad a la distancia 440 cm.

#### 5.1.4. Distribución vertical de raíces.

En el cuadro 2A del Apéndice, se observa que existen diferencias estadísticas altamente significativas para el factor profundidad del muestreo (distribución vertical de raíces), en los que la tendencia observada es de que propician comparativamente gran cantidad de raíces en la capa superficial la cual disminuye en forma más drástica -- conforme se profundiza el suelo.

#### 5.1.5. Efecto de las orientaciones del muestreo en la densidad de raíces.

En la tabla 1 A del Apéndice, podemos apreciar, que existe diferencia estadística significativa entre tratamientos.

En la figura 11, vemos que sí existe influencia de la intercalación de otro frutal (palma de coco), ya que se tiene menor cantidad de raíces hacia el lado oeste, hacia el cual coincide con la palma. En contraste con la dirección norte, que está libre, en el cual tiene estadísticamente mayor densidad radicular.

5.1.6. Efecto de la orientación de muestreo en la distribución vertical de raíces. (Interacción orientación X profundidad).

El análisis de varianza para la interacción de estos factores, nos muestra que no existe diferencia significativa.

Como se puede observar en la figura 12, la distribución vertical, no varió con las dos orientaciones (norte y oeste) en que se analizaron estos factores.

De tal forma, que se siguen conservando las diferencias encontradas cuando se analizaron por separado estos factores, figuras 11 y 9.

Aunque el contenido de raíces varió para cada combinación, no se debe a la interacción de estas zonas de muestreo. De manera general, podemos concluir, que se encontraron mayor cantidad de raíces en la primer capa de suelo (0 -- 20) disminuyendo en la segunda (20-40 cm).

Como se puede observar en el cuadro 6, la densidad de raíces conservó la misma tendencia en las dos profundidades de exploración del presente estudio.

CUADRO 6 DENSIDAD DE RAICES EN DOS PROFUNDIDADES DEL SUELO Y CINCO DOSIS DE FERTILIZACION; PROMEDIO DE 64 MUESTRAS (MEDIAS RETRANSFORMADAS).

Interacción		Densidad de raíces mg/muestra
Dosis Kg/árbol/año	Prof. cm.	3 mm
1.2- 0.6- 0.6	0- 20	1046.78
	20- 40	920.75
1.2- 0.6- 00	0- 20	1131.97
	20- 40	858.72
1.2- 00- 0.6	0- 20	1020.41
	20- 40	891.56
00- 0.6- 0.6	0- 20	1180.44
	20- 40	988.63
00- 00- 00	0- 20	1214.72
	20- 40	47.81
DMS 0.05		NS

Sin embargo; podemos apreciar en la figura 10, ciertas -- tendencias de distribución vertical radicular, que aunque no presentaron diferencias estadísticas significativas, -- tienden a diferenciarse de los demás tratamientos.

Así tenemos, que el tratamiento 1 (1.2 -0.6-0.6) con dosis completa (NPK) propició menor cantidad radical, pero además homogenizó la densidad en las dos profundidades estudiadas, comportamiento similar, tuvieron los tratamien-

tos dos y tres con dosis 1.2 - 0.6 -0 y 1.2 -0 -0.6 respectivamente, a diferencia de los tratamientos cuatro y cinco, con dosis de 0- 0.6 - 0.6 y 0- 0- 0- (testigo) respectivamente (ausencia de nitrógeno) así como también mayor cantidad en la orientación, en que no tiene la palmera intercalada (limón sólo) en contraste con la orientación en que se tiene la palma.

CUADRO 7 DENSIDAD DE RAICES EN CUATRO DISIANCIAS DEL TRONCO Y DOS PROFUNDIDADES DEL SUELO, PROMEDIOS DE 80 MUESTRAS. (MEDIAS RETRANSFORMADAS).

Interacción		Densidad de raíces mg/muestra
Distancia cm	Prof. cm.	3 mm
110	0 - 20	1368.73
	20- 40	1128.03
220	0 - 20	1188.63
	20- 40	942.33
330	0 - 20	974.03
	20- 40	831.30
440	0 - 20	944.08
	20- 40	784.33
DMS 0.05		NS

#### 5.1.7 Efecto de la interacción distribución horizontal por profundidad. (interacción distancia X profundidad).

En el análisis de varianza de la interacción distribución

40

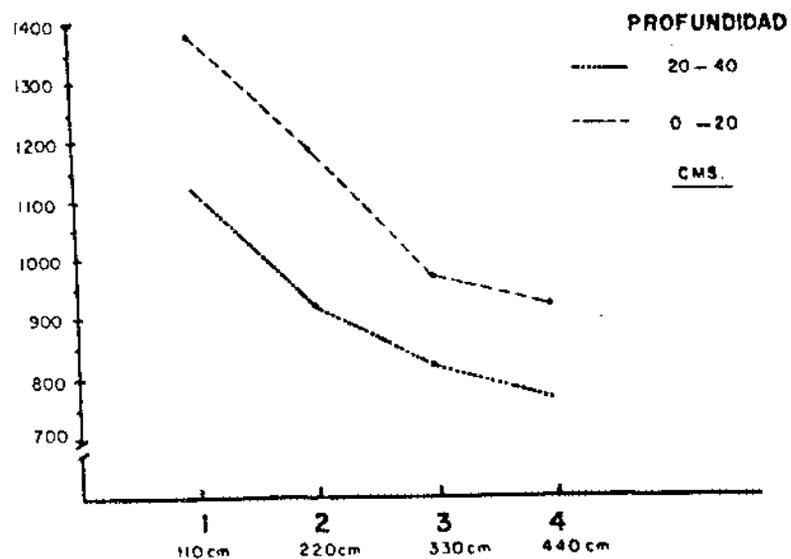


Fig. 13 EFECTO DE LA INTERACCION PROFUNDIDAD X DISTRIBUCION HORIZONTAL

vertical de raíces, (Cuadro del Apéndice) se puede observar que no hay diferencia estadística entre la interacción de estos dos factores.

Lo que indica que la distribución radical, conservó la misma tendencia de distribución al análisis por separado de estos dos factores, en los cuales, como se puede ver en la figura 9 y 7, la cantidad de raíces disminuye conforme se aleja del tronco y con la profundidad, presentando correlación negativa para ambos casos.

En la Figura 13, podemos observar la distribución de raíces en la interacción horizontal por vertical, teniendo mayor cantidad de raíces en promedio, para todos los tratamientos en la capa de 0- 20 cm. de profundidad, disminuyendo en la segunda 20-40 cm. y horizontalmente se presenta mayor cantidad de raíces en la parte más cercana al tronco, disminuyendo conforme se aleja de éste. Cuadro 7.

## VI. DISCUSION

### 6.1.1. Efecto de dosis de fertilización en densidad de raíces.

En este estudio se observó que los tratamientos de fertilización modifican la densidad radicular, se encontró diferencia significativa entre tratamientos.

Como se puede apreciar en la figura 6, los tratamientos 4 y 5 con la dosis 0-0.6 -0.6 y 0-0-0 (testigo) propiciaron la mayor densidad radical, siendo estos estadísticamente iguales, en contraste con los tratamientos uno, dos y tres; con dosis 1.2-0.6-0.6, 1.2-0.6-0 y 1.2 - 0.6 respectivamente, en los que se encontró la menor cantidad de raíces, siendo éstos estadísticamente iguales entre sí.

Lo anterior indica que los tratamientos con nitrógeno en su dosis, inhibieron el crecimiento radical para este tipo de raíces estudiadas, y que donde no se aplicó este elemento, como en el testigo y la dosis 0-0.6-0.6, la cantidad radicular, aumentó significativamente.

Podemos concluir, que donde se aplicó nitrógeno, y que este elemento por ser bastante móvil en los suelos, propició que las raíces se profundizaran para poder aprovecharlo, independientemente de que en promedio para toda el área radicular inhiben el crecimiento radical como lo indican varios autores.

también podemos notar que los suelos donde se realizó el estudio, son bajos en nitrógeno y poseen textura arenosa, lo cual provoca por un lado, que las aplicaciones de agroquímicos sufran una rápida lixiviación, hacia las capas profundas del suelo, provocando esto un crecimiento radicular más profundo y por otro lado, podemos ver que donde no se aplica fertilizante nitrogenado y al no existir el suficiente en el suelo, las raíces tienden a ser más superficiales para aprovechar el que se encuentra por la descomposición de la materia orgánica.

Resultados similares encontró Ford et al (1957) en varios experimentos sobre naranja cv valencia y señala que el fertilizante nitrogenado a niveles bajos favorece el desarrollo de raíces, tanto en profundidad como lateralmente en relación al testigo. Sin embargo, el mismo autor indica que cuando los niveles de nitrógeno se elevan de 110 a 540 y 100 g/árbol en naranjos jóvenes o bien de 400 a 800 y 1500 g/árbol/año; en plantas adultas se produce una reducción en el crecimiento radical. Es decir, que con niveles medio y alto de nitrógeno se obtienen de 11 y 37% menos de raíces respectivamente, que cuando se usa el nivel de nitrógeno más bajo. En algunos casos esta tendencia se observó, no sólo en el crecimiento vertical de las raíces, sino también lateralmente.

En cuanto a la relación crecimiento radicular contra el desarrollo aéreo de las plantas BLACK (1975) en su revisión de literatura; publica, que dentro de los límites -

del interés práctico, un aumento en el suministro del nitrógeno, hace crecer más las partes aéreas que las raíces de las plantas.

Como ejemplo de un experimento de campo que abarcaba una amplia variación, Holt y Fisher (1960) comprobaron que el rendimiento del *Cynodon dactylon* durante un período de -- crecimiento, aumentó de 2.4 toneladas/ha en parcelas testigo a 25 toneladas/ha en las que había recibido un total de 1.8 toneladas de nitrógeno por hectárea, mientras que los rendimientos correspondientes en raíces más rizomas -- fueron de 0.8 y 0.9 toneladas/ha, respectivamente.

Medina (1978) sugiere que la fertilización se efectúe en -- dos bandas anchas que abarquen el total del radio de la -- copa; 50% bajo la zona de goteo y 50% fuera de la copa, -- hasta que las bandas de fertilización para hileras de árboles se junten. De esta manera los nutrimentos tendrán -- un fácil acceso nutrimental a las raíces y se facilitará -- la absorción.

Este hecho es respaldado por Cahoon et al (1956) quienes -- señalan que las raíces de fuera de la copa son más acti-- vas que las de dentro de la copa (en árboles adultos).

Por otro lado, se sugiere que la toma de muestras de sue-- los para evaluar los contenidos nutrimentales en ellos -- con fines de diagnóstico o para la detección de problemas o anomalías nutrimentales, se haga considerando la distri

bución radical de los árboles, a fin de muestrear las zonas de mayor densidad de raíces.

En relación a la labranza del suelo, se sugiere de manera práctica, que ésta se efectúe fuera de la copa, a una distancia de 50-75% el radio de la misma dependiendo de la intensidad de la extensión radical horizontal.

Kaufmann et al (1972) señalan que existe una mayor concentración de raíces en el cultivo de naranjo, Washinton-Navel en las distancias más cortas que en las más largas. Esto sugirió que a la edad de 8 años las raíces de naranjos en los espacios cerrados posiblemente habían cubierto todo el volumen de suelo y se entrelazaran unas con otras, empezando a declinar su desarrollo a causa de la competencia por agua y nutrimentos.

Posteriormente, utilizando los mismos árboles Boswell et al (1975) encontraron que la extensión radical, circunferencia y tamaño de las raíces fue significativamente más pequeña en los espacios cerrados (807 árboles/ha) que en las distancias de plantación más grandes (222 árboles/ha) y que aún a los 10 años, el rendimiento no fue afectado por el espaciamiento. Sin embargo, dos años después se observó un decremento en el rendimiento.

Se sabe que las labores de cultivo con maquinaria cortan multitud de raíces, especialmente aquellas de poco diámetro. Halma (1921) estudió el comportamiento de raiceci---

llas de 5 a 20 mm de diámetro cuando se cortan de la punta y observó que cuando el corte se realiza entre fines de abril y principios de octubre, se forma rápidamente un callo cicatrizante, produciéndose nuevas raicillas en un plazo de dos semanas y en cantidad que depende del diámetro de la raíz cortada; si el corte se ejecuta fuera del período indicado anteriormente no hay regeneración.

También se señala que la aplicación de herbicidas favorece el enraizado más superficial en los árboles.

#### 6.1.2. Distribución horizontal de raíces.

La distribución horizontal de raíces, disminuye conforme se aleja del tronco del árbol.

Lo anterior significa, que la cantidad de raíces obtenida en los sitios de muestreo, varió significativamente con las distancias.

En la figura 7, podemos observar que existe correlación negativa para cantidad de raíces en distribución horizontal, con una correlación  $r = 0.484$ . De tal forma, que la cantidad de éstas disminuyó al aumentar la distancia del muestreo.

En el cuadro 3, se aprecia que las distancias 110, 220 y 330 del tronco respectivamente, muestran diferencias significativas, no así al comparar las distancias 330 y 440- que resultaron sin diferencia estadística.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Becerra (1977) en limón mexicano, Juan (1976) en naranjo dulce, Cahoon et al (1956) en varios cítricos; no así con los reportes de Chosh (1973) quien en varios cítricos, en contró una mayor proporción de raíces finas fuera de la copa (64%) que dentro de ella (36%).

De estos resultados se desprende, que existe la necesidad de efectuar las labores culturales como son riego, fertilización, labranza, deshierbes, etc., considerando el desarrollo radical horizontal.

Considerando lo anterior, se sugieren estudios de colocación del fertilizante, usando diferentes métodos y para diferentes texturas de suelo, así como la edad y desarrollo de la planta.

De la anterior comparación de medias para los cinco trata mientos y su interacción con las cuatro distancias del tronco, se concluye que por un lado las mayores variaciones se presentaron en las dos primeras distancias del muestreo (110 y 220 cm). Que entre más alejado del tronco (330 y 440 cm) la variación fue menor y la comparación de medias muy semejante entre ellas.

Por otro lado se observa que la dosis uno (1.2- 0.6 -0.6) es la que presenta la más fuerte variación a las distancias estudiadas, ya que en ella se encuentra la mayor den sidad en la distancia de 440 cm. En contraste con los tra

tamientos cuatro y cinco (0-0.6-0.6 y 0-0-0) que presenta tendencia de homogenizar la densidad radicular.

Los resultados anteriores se pueden deber independiente-- mente del efecto depresivo del nitrógeno citado en varios estudios, al criterio seguido en la distancia de aplica-- ción del fertilizante en todo el desarrollo del árbol. Di cho criterio ha sido el de colocarlo a la distancia de -- aproximadamente las dos terceras partes del radio, por lo tanto, ésta es la zona que recibe los efectos de la ferti-- lización.

Varios autores indican que la fertilización nitrogenada a dosis altas, como la del presente estudio, inhiben el cre-- cimiento radicular.

Parece que no sólo la cantidad de fertilizante nitrogena-- do modifica la cantidad de raíces en el suelo, sino tam-- bién la fuente de nitrógeno empleada, según señala Cahoon et al (1960), quien al aplicar sulfato de amonio, nitrato de calcio y estiércol a razón de 1.36 kg/árbol/año en naranjos, encontraron que el sulfato de amonio y la urea -- produjeron la mayor concentración de raíces en la capa de 0- 120 cm. Así mismo, Cahoon et al, observaron que el per-- fil estudiado, el sulfato de amonio, la urea y el estiér-- col favorecieron el desarrollo de raíces abajo de los 30 cm en contraste el nitrato de calcio y el testigo lo hi-- cieron en los primeros 30 cm de profundidad.

Posteriormente al relacionar estos efectos con los tipos de labranza y frecuencia de riegos, Cahoon y Stolzy (1966) indican que los fertilizantes por sí solos producen reacciones que cambian las características físicas, químicas y biológicas del suelo, las que a su vez modifican la tasa de infiltración del agua, el nivel de salinidad y la aereación del suelo, responsables del crecimiento de las raíces.

Las cantidades de raíces en la interacción de estos factores se presentan en el cuadro 4.

6.1.3. Efecto de dosis de fertilizante en la distribución horizontal de raíces. (Interacción dosis X distancia). La distribución horizontal de raíces, es modificada significativamente con la aplicación de los tratamientos de fertilizante.

Haciendo las comparaciones de medias de tratamientos podemos observar en la figura 8, los siguientes resultados: - para la distancia 110 cm presentan la misma densidad estadística los tratamientos, 1, 4 y 5 con la mayor densidad y semejantes entre sí; como también los tratamientos 2, 3 y 5 presenta medias estadísticas iguales con menor cantidad que las anteriores, excepto para el testigo (tratamiento 5) el cual fue semejante para ambos casos.

Igualmente para la distancia 220 cm, se observa una menor variación, ya que las medias de los tratamientos 5, 4, 3

y 2 presentan misma igualdad estadística, así como también los tratamientos 1 y 2 son iguales y con menor cantidad que los anteriores, excepto para el dos, que es semejante en ambos casos.

En la distancia 330 cm, comparando medias de tratamientos, tenemos, que son semejantes las 5, 4, 3 y 2 con la mayor densidad estadística, así también los tratamientos 3, 2 y 1 resultaron iguales entre sí, siendo menor a todas, el uno. Y el dos y tres semejantes para ambos.

Finalmente en la distancia 440, comparando las medias de tratamientos, podemos ver que son semejantes y que por lo tanto presentan la misma densidad estadística con una probabilidad al 5%.

#### 6.1.4 Distribución vertical de raíces.

En este estudio, nos muestra que la distribución vertical de raíces varía significativamente con la profundidad, -- descendiendo conforme profundiza.

Como se ve en la figura 9, se encontró significativamente mayor cantidad de raíces en la primera capa de suelo 0-20 cm con 1118.86 mg/ muestra en promedio y en la segunda capa de suelo de 20-40 cm se encontró también en promedio -- para todas las posiciones de muestreo 921.493 mg/ muestra.

Es de hacer notar que en este estudio se realizaron prácticas culturales que posiblemente influenciaron la mayor densidad de raíces en la primera capa de suelo, estas la-

bores fueron las siguientes: el método de riego en espina de pescado (cajetes) influye para que la materia orgánica se descomponga dentro del mismo propiciando con ello - que las raíces tiendan a desarrollarse superficialmente - para nutrirse con los minerales principalmente nitrógeno; además en el deshierbe no se utiliza maquinaria agrícola (rastra) por razones de manejo (árboles muy juntos) lo -- cual hace que las raíces no se destruyan y por consiguiente tiendan al aumento de estos primeros centímetros del - suelo.

Estos resultados refuerzan lo obtenido por Bécerra (1976) quien al estudiar la distribución radical en limón mexicana (Citrus aurantifolia, swingle) de diferentes edades en la zona costera de Colima, encontró que el mayor porcentaje de raíces, se encuentra en los primeros 20 cm del suelo, por lo tanto explica, que es conveniente fertilizar - los árboles de limón de dos años y medio a 10 años de --- edad con una banda de 10 a 15 cm de ancho alrededor del - árbol debajo de la copa.

Medina (1978) en un estudio de portainjertos de limón, encontró que para raíces de 2 mm, los patrones Taiwanico, - Troyer y Naranja agrio, tuvieron más del 80% de sus raf-- ces en la capa de 0-30 cm del suelo; Carrizo, Rugoso y Citrumelo 4475 tuvieron el 30% de sus raíces abajo de 30 cm, en tanto que Rangpur y Macrophylla presentaron más del 45% de raíces abajo de dicha profundidad.

6.1.5. Efecto de la fertilización en la distribución vertical de raíces. (Interacción dosis X profundidad). Los tratamientos de fertilización no influyen en la distribución vertical de raíces en limón mexicano (*Citrus aurantifolia*, swingle).

Esto significa que los tratamientos de fertilización no tuvieron variación significativa en el desarrollo radicular vertical, por lo tanto se espera la misma cantidad de raíces en las dos capas estudiadas (0-20 y 20-40 cm de profundidad) en los diferentes tratamientos de fertilización y testigo sin fertilizar. Ver figura 10.

A pesar de no existir respuesta estadística, sin embargo; podemos apreciar ciertas tendencias del fertilizante en la distribución radicular vertical, como son: los tratamientos 1, 2 y 3 que corresponden a las fórmulas 1.2 -0.6 -0.6, 1.2-0.6-0, 1.2-0-0.6 respectivamente en los que se obtuvieron menor cantidad de raíces en las dos capas de suelo muestreadas, propiciaron un desarrollo más homogéneo en ambas profundidades en contraste con los tratamientos 4 y 5, con fórmula 0-0.6-0.6 y testigo (0-0-0), en los que se obtuvo comparativamente mayor cantidad de raíces, también propiciaron que la mayor parte de ellas se encontraran en la primer capa de suelo, (0-20 cm) siendo su variación más drástica de una capa a otra. Estos resultados contrastan a lo obtenido en la interacción dosis X distribución horizontal de raíces en donde los tratamientos 1, 2 y 3 (los cuales se incluye nitrógeno en su do---

sis) fueron los que propiciaron más fuerte variación en la cantidad de raíces, disminuyendo más drásticamente a partir del tronco; y los tratamientos 4 y 5 (sin nitrógeno) tendieron a homogenizar más la distribución, Figura 8.

Probablemente, el no encontrar respuesta a estos factores (interacción dosis X distribución vertical) se debió a -- que, a la profundidad estudiada probablemente se nos escapó gran parte del efecto.

Se sugiere que para estudios posteriores, se explore a mayor profundidad.

6.1.6 Efectos de la orientación. Al hacer el estudio del efecto de la orientación sobre la densidad de raíces, se observa (cuadro del Apéndice) que existe diferencia significativa para este factor.

Lo anterior indica que se encontraron significativamente mayor densidad de raíces hacia el lado norte (posición -- que no se tiene palma) en contraste con la dirección oeste que tiene palma intercalada a los 5 m y en la cual --- presenta la menor cantidad de raíces con diferencia estadística significativa.

En el presente estudio la palma se encuentra intercalada al limón, de tal forma que el limón a un lado tiene palma a los 5 m y por otro, al mismo limón, sólo que a 10 m, podemos concluir que la distancia de plantación afecta de -

manera significativa la densidad de raíces (figura 11).

Resultados semejantes encontró Chosh (1973) quien señala, que la forma y el tamaño del sistema radical es influenciado considerablemente por el espaciamiento entre plantas por la naturaleza y el carácter de los árboles vecinos, por el fenómeno de repulsión que existe entre especies, y a veces entre árboles.

El mismo autor postula que el fenómeno de alelopatía entre diferentes raíces puede ser causado por una competencia hídrica o nutricional, o por la influencia negativa de la secreción de exudados tóxicos de unas y otras especies.

Kaufmann et al (1972) señalan que existe una mayor concentración de raíces en el cultivo del naranjo, Washington Naval en las distancias más cortas que en las más largas. - Esto sugirió que a la edad de 8 años, las raíces de naranjos en los espacios cerrados posiblemente habían cubierto todo el volumen del suelo y se entrelazarán unas con ---- otras, empezando a declinar su desarrollo a causa de la - competencia por agua y nutrimentos.

Posteriormente, utilizando los mismos árboles Boswell et al (1975) encontraron que la extensión radical, circunferencia y tamaño de las raíces fue significativamente más pequeña en los espacios cerrados (607 árboles/ha) que en las distancias de plantación más grandes (222 árboles/ha)

y que aún a los 10 años, el rendimiento no fue afectado - por el espaciamiento. Sin embargo; dos años después se observó un decremento en el rendimiento.

#### 6.1.7. Efecto de la profundidad en la distribución horizontal- de raíces. (interacción distancia X profundidad).

En este experimento no se encontró efecto significativo - para la interacción de la distribución horizontal por vertical. Lo que nos indica que el comportamiento de estos - factores siguió la misma tendencia, a cuando se analiza--ron por separado.

Lo anterior indica que en promedio se encontraron más raíces significativamente en la capa de suelo más superfi---cial, en contraste con la más profunda, donde disminuyó,- igualmente en la distribución horizontal siguió el mismo- comportamiento, disminuyendo conforme se aleja del tronco.

En la figura 11, podemos observar que en esta interacción se presenta la distribución de raíces bastante homogénea- para las dos profundidades y cuatro distancias, indicando que no influyen de manera significativa a cuando se estu- dian por separado a cada factor (distribución horizontal- y distribución vertical).

Kolesnikov (1971), también indica que en estudios sobre - distribución radicular en manzano, la cantidad de raíces- disminuye del tallo a la periferia y con la profundidad.

Ayala (1976) considera que no es conveniente efectuar labores de labranza profunda a menos de 180 cm del tronco, debido a que la cantidad de raíces en esa zona ya es considerable.

## VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

El presente estudio, consistió en evaluar los efectos de la fertilización en la densidad de raíces de limón asociado -- con palma de coco.

El muestreo para determinación de la densidad de raíces, se realizó a cuatro distancias del tronco, dos profundidades - del suelo, así como dos orientaciones del árbol.

El mencionado huerto tiene una edad de 13 años, de los - cuales los últimos cinco, se le han aplicado los tratamientos - de fertilización.

Los tratamientos de fertilización empleados (N P K) fue-- ron los siguientes: 1.2 - 0.6 - 0.6; 1.2 - 0.6 - 0; 1.2 - 0 - 0.6; 0- 0.6 - 0.6; 0- 0- 0 (testigo).

La aplicación se realizó en bandas de 15 cm. alrededor - del árbol, a una profundidad de 10 cm y a una distancia del -- tronco de aproximadamente  $\frac{2}{3}$  partes del radio de la copa.

El feaccionamiento del fertilizante, fue aplicar la tercera parte del nitrógeno y todo el fósforo y potasio juntos, así como las otras dos terceras partes del nitrógeno, una cada --- tres meses.

Las distancias horizontales a las que se muestreó fueron:

110, 220, 330 y 440 cm. respectivamente, las dos profundidades con 0-20 y 20-40 cm; así como dos orientaciones norte y noroeste.

La técnica de muestreo empleada para el presente estudio de raíces fue de la barrena tipo "California", extrayéndose, - tres barrenaciones por muestra, las que posteriormente se juntaron.

Las raíces utilizadas, fueron las de diámetro igual o menor de 3 mm, las que posteriormente se separaron de las demás y se procedió a su secado a la intemperie durante 12 días.

De los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1.- El fertilizante modifica significativamente, la densidad de raíces en limonero. Con la aplicación de 1.2 Kg/árbol/año de nitrógeno la inhibición fue altamente significativa en comparación al testigo y a la dosis sin nitrógeno - (0 - 0.6 -0.6). Así mismo resultaron semejantes estadísticamente todos los tratamientos con nitrógeno en sus dosis.
- 2.- La densidad horizontal, disminuye conforme se aleja el -- tronco del árbol. Siendo más alta en la primer distancia de muestreo del presente estudio.
- 3.- El fertilizante modifica la distribución horizontal de - raíces, pudiéndose observar que donde se aplicó 1.2 Kg/ní

trógeno/árbol/año; la variación fue mayor de tal forma - que se concentra la mayor cantidad en las partes más cerca del tronco.

- 4.- La mayor densidad radicular se encuentra en la primer capa de suelo muestreado disminuyendo conforme profundiza.
- 5.- En el presente estudio, no se detectaron diferencias significativas para la interacción del fertilizante en la - distribución vertical. Señalando con esto, que no lo modifica significativamente.
- 6.- La asociación de otro frutal con limonero, provoca menor densidad radicular hacia el lado del frutal intercalado - con limón. Detectándose menor contenido significativamente en comparación con el lado u orientación que no se tiene esta competencia.

### Conclusión final

En base al presente estudio, se recomienda que las labores culturales; como son riego, deshierbe, rastreo, cajeteo, - fertilización etc. deben efectuarse tomando en cuenta el desarrollo radicular para que a la vez, que no provoquemos daños a las raíces, se logre un uso más eficiente de los insumos invertidos.

## VIII BIBLIOGRAFIA

- AYALA L., S. 1976. Estudio de la distribución radical de 3-portainjertos de manzano (MM-111, M-7, M-26) - por dos métodos diferentes. Tesis de M.C. C.P. Chapingo, México.
- BECERRA R., S. 1977. Distribución de raíces en árboles de limón, en el Valle de Tecomán, Col. INIA, CIAPAC. En prensa.
- BLACK; C.A.. 1975. Relaciones suelo - planta. A.I.D. Ed. Hemisferio Sur.
- BORANAD. G., J. et al 1970. Diez temas sobre agrios, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- CAHOON, G.A., R.B. Harding and D.B. Miller 1975. Tree density-affect large - root distribution of "Washington" navel orange trees. Hort Science. 10 (6): 593 - 595.
- CAJUSTE J.L. 1977. Química de suelos con enfoque agrícola. - SARH. C.P.Chapingo, México.
- FELIX C., F.A. 1977. Situación limonera en el Estado de Colima. II Congreso Nacional de Fruticultura. Morelia, - Michoacán.

- FORD, H.W. 1954. Root distribution in relation to the water table. Proc. Fla. Sta. Hort. Soc. 64:30-33.
- GONZALEZ-SICILIA, E. 1968. El cultivo de los agrios. Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, Madrid.
- HASS, A.R.C. and F.F. HALMA. 1929. Chemical relationship between scion and stock in citrus. Plant Physiology 4: 113-121.
- JUAN G., R. 1976. Estudio de la distribución y comportamiento del sistema radicular en árboles de naranjo dulce de 6 años de edad. Agrotecnia de Cuba 8 - (1): 79: 113.
- MATA B., I. 1975. Estudio de la distribución radicular en diferentes patrones de manzano (M1, M2, M16, MM 109) bajo las condiciones adáfcas de Chapingo, tesis de M.C. C.P. Chapingo, México.
- MEDINA U., V.M. 1975. Informe anual del Programa de Fruticultura, Campo Agrícola Experimental de Tecomán, Col. CIAB, INIA, SAG.
- MEDINA U., V.M. 1977. Estudios preliminares de raíces de cítricos. Inédito.
- PALACIOS, J. 1978. Citricultura Moderna. Ed. Hemisferio Sur.

REYES C., P. 1978. Diseño de experimentos agrícolas Ed. Trillas. México.

VWIHMEYER, F.J. and A.H. Hendrickson, 1948. Soil density and - root penetration. Soil Science 65: 487-493.

## ANEXO

CUADRO 1 A.

## ANÁLISIS DE LA VARIANZA

Causas de la varianza	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
<u>Fertilización (Dosis)</u>	4	12851831.2	54227.14	4.11203 **
<u>Orientación</u>	1	12851831.2	54227.14	16.57816 **
<u>Distancia Horizontal]</u>	3	12851831.2	54227.14	45.37198 **
<u>Profundidad</u>	1	12851831.2	54227.14	57.46853 **
3 <u>Distancia</u> X				
<u>Profundidad</u>	3	12851831.2	54227.14	1.06625 **
<u>Fertilización (Dosis)</u> X				
<u>Distancia</u>	12	12851831.2	54227.14	1.82566 **
<u>Fertilización (Dosis)</u> X				
<u>Profundidad</u>	5	12851831.2	54227.14	1.50545 N S
<u>Fertilización (Dosis)</u> X				
<u>Orientación</u>	4	12851831	54227.14	0.5321 N S