

T. 3111

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**ESTUDIO DEL SISTEMA RADICAL DEL PORTAINJERTO DE
DURAZNERO (*Prunus persica* (L.) Batsch) PAVÍA MOSCATEL EN
LA ZONA SUR DEL PAÍS**

por

Juan Santiago DIAZ LAGEARD

TESIS presentada como requisito de
los requerimientos para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo
(Orientación Producción Vegetal
Intensiva)

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2002**

Tesis aprobada por :

Director : DAWILO CABRERA
Nombre completo y firma

RODOLFO TALICE
Nombre completo y firma

ANTONIO FORNENTO
Nombre completo y firma

Fecha : OCTUBRE 2002

Autor : SANTIAGO DIAZ

I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
A. CULTIVO DE DURAZNERO.....	3
B. PORTAINJERTO PAVIA MOSCATEL.....	3
C. SISTEMA RADICAL.....	5
1. Introducción.....	5
2. Generalidades del sistema radical.....	5
a Origen y formación.....	5
b Tipos de raíz.....	6
c Funciones.....	6
3. Crecimiento vegetativo.....	7
a Períodos de crecimiento.....	7
b Desarrollo de la raíz.....	8
4. Estructura de la raíz.....	8
a Crecimiento primario.....	8
b Crecimiento secundario de la raíz.....	10
c Desarrollo de las raíces laterales.....	12
5. Factores del suelo que afectan el desarrollo de las raíces.....	12
a Temperatura.....	12
b Porosidad del suelo.....	13
c Agua del suelo.....	13
d Fertilidad.....	14
e pH.....	15
f Tipo de suelo.....	15
6. Factores de la planta que afectan el desarrollo de las raíces.....	16
a Factores genéticos.....	16
b Densidad de plantación y tipo de planta adyacente.....	18
c Combinación portainjerto - variedad.....	19
7. Funciones de las raíces.....	20
a Introducción.....	20
b Fijación.....	20
c Respiración.....	20
d Absorción.....	21
e Almacenamiento.....	23
D. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DEL LUGAR DEL ENSAYO.....	23
1. Disponibilidad del agua del suelo.....	24
a Generalidades.....	24
b Forma de estimación.....	25
2. Porosidad del suelo.....	25
a Generalidades.....	25
b Estimación de la porosidad del suelo.....	26
E. MATERIALES Y METODOS.....	26
1. Introducción.....	26
2. Metodología utilizada en el estudio de las raíces de los árboles.....	26
a Excavación.....	27
b Método de la trinchera.....	28

c Muestreos de suelo	29
3. Métodos de observación	30
4. Actividad de las raíces	30
a Marcadores radicales	31
b Tasa de secado del suelo	31
5. Aplicación de las metodologías de estudio	32
a Número de repeticiones utilizadas	32
b Diseño del trabajo de campo	32
c Análisis de las raíces	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS	35
A. LUGAR DEL ENSAYO Y MANEJO	35
1. Generalidades	35
2. Clima	35
3. Relieve y Suelo	36
4. Manejo	37
B. MATERIAL VEGETAL	38
C. METODOLOGÍAS DE TRABAJO EMPLEADAS	39
1. Distribución del sistema radical	39
a Diseño utilizado	39
b Trabajo de campo	40
1 Extracción de los bloques de tierra	40
2 Separación de tierra y raíces	41
c Trabajo de laboratorio	42
2. Aspecto del sistema radical	42
3. Relación entre sistemas radicales contiguos	44
4. Características del suelo	45
a Trabajo de campo	45
b Trabajo de laboratorio	45
1 Curva de retención del agua del suelo	46
2 Densidad aparente y porosidad del suelo	46
IV. RESULTADOS	47
A. SISTEMA RADICAL	47
1. Aspecto del sistema radical	47
2. Distribución del sistema radical	53
a Distribución de las raíces menores a 0.3 cm de diámetro	53
b Distribución de las raíces entre 0.3 – 0.5 cm de diámetro	59
c Distribución de las raíces entre 0.5 – 1.5 cm de diámetro	62
3. Estructura del sistema radical	65
a Distribución y composición del sistema radical	65
b Relación entre los distintos diámetros de las raíces	67
4. Relación entre sistemas radicales contiguos	68
V. DISCUSIÓN	71
A. DISTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES	71
1. Distribución en sentido vertical	71
2. Distribución en sentido horizontal	73
3. Influencia del suelo en la distribución de las raíces	74

4. Estructura y composición del sistema radical	75
5. Entrecruzamiento de las raíces	76
B. METODOLOGÍA UTILIZADA	76
1. Distribución de las raíces.....	77
a Zona de estudio.....	77
b Tratamiento de la zona bajo estudio.....	77
c Tratamiento de las raíces	78
2. Estructura del sistema radical.....	79
3. Entrecruzamiento de las raíces	79
C. RECOMENDACIONES FINALES	79
VI. CONCLUSIONES	82
VII. BIBLIOGRAFIA.....	83
VIII. ANEXO.....	87

LISTA DE FIGURAS, CUADROS y TABLAS

<u>FIGURA N</u>		Página
1	Sistema radical del duraznero franco. Torralladoma (1993).....	6
2	Sección longitudinal de una extremidad de raíz de tabaco, se puede observar los procesos de diferenciación que sufren los distintos tejidos en relación a su posición con respecto al ápice. Esau (1983).....	9
3	Corte de raíz primaria a la altura de los pelos absorbentes. Calderón (1985).....	10
4	Sección transversal de la raíz de peral. Esau (1985).....	11
5	Planimetría de los sistemas radicales de una plantación de durazneros. Bargioni, extraído de Martínez Zaporta (1964)	19
6	Planimetría de los sistemas radicales del peral y duraznero que se encuentran contiguos. Bini y Chisci, extraído de Martínez Zaporta (1964)	19
7	Corte del camellón, en donde se especifica el espesor de los horizontes de suelo y la disposición de los prismas empleados en la excavación.	36
8	Disposición de los bloques de suelo estudiados.	39
9	Localización de la trinchera de inicio de la extracción de las muestras de suelo.	40
10	Forma en que llevó a cabo el lavado de las raíces.	41
11	Remoción de la tierra que rodea al sistema radical mediante un chorro de agua a presión.	43
12	Equipo utilizado para genera el chorro de agua a presión	43
13	Forma en que se tomaron la fotografías de los sistemas radicales	43
14	Dispositivo utilizado para medir los ángulos de las raíces.	43
15	Ubicación de las zonas de suelo estudiadas.	44
16	Dimensiones de las zonas de suelo estudiadas	44

17	Instrumental utilizado para la extracción de las muestras de suelo.....	45
18	Extracción de las muestras en el perfil de suelo.....	45
19	Disposición de las raíces de un sistema radical imperturbado.....	47
20 A	Vista desde abajo del sistema radical del ejemplar A.....	48
20 B	Vista lateral del sistema radical del ejemplar B.....	49
21	Clasificación de las distintas zonas de inserción	49
22 A	Vista desde abajo del sistema radical del ejemplar A.....	50
22 B	Vista lateral del sistema radical del ejemplar B.....	51
23	Esquema de los datos utilizados para mostrar el patrón de distribución de las raíces en el sentido de la fila y de la entrefila.....	55
24	Localización de los prismas de suelo utilizados para promediar las cantidades de raíces con diámetros de 0.3 – 0.5 cm.	60
25	Localización de los prismas de suelo utilizados para promediar las cantidades de raíces con diámetros de 0.5 –1.5 de espesor	63
26	Localización de las zonas estudiadas y diámetros de los troncos de los árboles.....	68
27 A	Zanja N° 1, zona del suelo donde se removió la tierra. Se observan raíces pertenecientes a los sistemas radicales de los dos árboles bajo estudio.	68
27 B	Zanja N° 1, después de remover las raíces del sistema radical ubicado del lado izquierdo.	68
28 A	Zanja N° 2, totalidad de las raíces encontradas en la zona de suelo estudiada.....	69
28 B	Zanja N° 2. después de remover las raíces pertenecientes al árbol n° 7	69
29	Cantidad de raíces perteneciente a cada uno de los sistemas radicales.	70
30	Perfil del suelo en el cual se realizo el trabajo.....	87
31	Fotografía del ejemplar número 1.....	87
32	Fotografía del ejemplar número 2.....	88

33	Zanja realizada con la finalidad de facilitar la extracción de los bloques de suelo.....	88
34	Zona del suelo bajo estudio después de remover la primera franja de prismas de suelo.....	89
35	Zona de suelo bajo estudio donde se removi6 casi la totalidad de los prismas de tierra.....	89
36	Zona de suelo bajo estudio donde se removi6 la totalidad de los prismas de suelo.....	90
37	Cajones apilados con el contenido de los prismas de suelo.....	90
38	Remoci6n de la tierra sujeta a un sistema radical previamente arrancado	91

CUADRO N°**Página**

1	Formas de clasificación utilizadas en estudios sobre el sistema radical de varias especies.....	34
2	Datos climáticos de la estación meteorológica del INIA Las Brujas	35
3	Cantidad de frío acumulado en la estación experimental INIA Las Brujas.....	36
4	Características de los árboles estudiados.....	38
5	Longitud de raíces, según diámetros y capas de suelo estudiado, en centímetros lineales.....	65
6	Porcentajes de raíces de distintos diámetros encontrados en la mitad derecha y en la mitad izquierda de la totalidad del suelo estudiado.....	66
7	Porcentaje de raíces (medidas en longitud) con un diámetro menor a 0.3 cm, pertenecientes a las distintas franjas del estrato superior e inferior y desvío estándar de la información que integra a las franjas y a los estratos de suelo	67
8	Descripción del sistema radical del árbol A, estudiado por el método del arrancado y posterior lavado.....	93
9	Descripción del sistema radical del árbol B, estudiado por el método del arrancado y posterior lavado.....	94

GRÁFICA N°**Página**

1	Distribución de las raíces de 0 – 0.3 cm de diámetro de una de las mitades del árbol uno	53
2	Distribución de las raíces de 0 – 0.3 cm de diámetro de una de las mitades del árbol dos.....	54
3	Patrón de distribución de las raíces ubicadas en el estrato superior del árbol uno	55
4	Patrón de distribución de las raíces ubicadas en el estrato superior del árbol dos.....	56
5	Patrón de distribución de las raíces ubicadas en el estrato inferior del árbol uno	56
6	Patrón de distribución de las raíces ubicadas en el estrato inferior del árbol dos	57
7	Porcentaje de raíces pertenecientes al estrato superior e inferior aportadas por las distintas franjas de suelo del árbol uno	58
8	Porcentaje de raíces pertenecientes al estrato superior e inferior aportadas por las distintas franjas de suelo del árbol dos.....	58
9	Distribución de las raíces de 0.3 – 0.5 cm de diámetro de una de las mitades del árbol uno	59
10	Distribución de las raíces de 0.3 – 0.5 cm de diámetro de una de las mitades del árbol dos	59
11	Patrón de distribución en el sentido de la entrefila en el árbol uno.....	61
12	Patrón de distribución en el sentido de la fila en el árbol uno.....	61
13	Distribución de las raíces de 0.5 – 1.5 cm de diámetro de una de las mitades del árbol uno.....	62
14	Distribución de las raíces de 0.5 – 1.5 cm de diámetro de una de las mitades del árbol dos	62
15	Patrón de distribución en el sentido de la entrefila del árbol uno.....	64

16	Patrón de distribución en el sentido de la entrefila en el árbol dos	64
17 A	Relación entre longitud y diámetro de las raíces encontradas en los dos estratos de suelo estudiados.....	65
17 B	Relación entre longitud y diámetro de las raíces encontradas en los dos estratos de suelo estudiados.....	66
18	Raíces encontradas en la zanja N° 1 (medidas en cm) de cada uno de los sistemas radicales.....	69
19	Porcentajes del volumen del suelo ocupado por el agua disponible y por el agua fácilmente disponible a distintas profundidades del suelo	92
20	Porcentajes del volumen del suelo ocupado por los componentes que lo forman (agua, aire y sólidos) a distintas profundidades....	92

I. INTRODUCCIÓN

El duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) es originario de la China, donde se cultiva desde tiempos remotos. Según parece fue cultivado en Persia antes de ser introducido a Europa.

La fruta del duraznero es una drupa de forma redondeada con una piel pubescente. La pulpa del fruto es aromática, con un sabor dulce, a veces algo acidulado.

Su cultivo se realiza en forma comercial entre los 25° y 45° de latitud por encima y por debajo del ecuador. En Europa se produce casi la mitad del total mundial con 4:5 toneladas y le sigue Norteamérica con unas 1:6 toneladas. Dentro de América del Sur los mayores productores son Chile y Argentina (FAO, 1996). En el Uruguay el cultivo de durazneros incluyendo nectarinos ocupa 3200 Hás, lo cual representa un 37 % de la superficie ocupada por cultivos de hoja caduca (DIEA, 1999)

Dentro del País, el 90 % de la superficie ocupada por el cultivo de duraznero se desarrolla en la zona Sur y Sur Oeste. De acuerdo a los trabajos realizados en el país, se demostró utilizando el método de Richardson et al (1974) que éstas son las zonas donde se logra una mayor acumulación de frío efectivo, siendo de aproximadamente el doble que en el Norte del país. Por esta razón, éstas zonas permiten el desarrollo de cultivares con mayores requerimientos de frío, los cuales en general son de mejor calidad.

Éste cultivo se desarrolla en su mayoría sobre el portainjerto franco Pavía Moscatel. Este portainjerto reúne una serie de características positivas, tanto a nivel productivo como en las distintas etapas de vivero.

En cuanto a los inconvenientes que presenta, son los mismos que en la generalidad de los portainjertos francos; entre los más importantes están su baja resistencia a la asfixia radical, su sensibilidad al calcáreo, y su sensibilidad a nemátodos del suelo.

En la zona sur el mayor problema lo constituye la baja resistencia a la asfixia radical, debido a que el cultivo se desarrolla en la mayoría de los casos sobre suelos pesados y con una importante diferenciación textural, lo cual ocasiona que en forma frecuente el drenaje interno sea pobre. Como forma de paliar estos inconvenientes en general el cultivo se desarrolla bajo condiciones en las cuales se trata de mejorar el escurrimiento superficial; mediante la plantación de los árboles sobre un alomado, con rebaje de caminos y ubicando la línea de plantación de forma que siga una pendiente de al menos un uno por ciento. Aun así, dichas medidas no aseguran que en algunos años ocurran pérdidas importantes de árboles por asfixia radical.

Por otro lado el manejo del monte frutal ha venido sufriendo una serie de modificaciones en el transcurso de los últimos años. Se han incrementado las densidades de planta-

ción, lo cual entre otras cosas puede generar la necesidad de un reajuste en las prácticas de fertilización, y ha aumentado la superficie bajo riego.

Para encontrar soluciones para el problema de la asfixia radical, así como para el ajuste de la fertilización y riego es importante conocer la fisiología de las raíces, ciclos de desarrollo, y su ubicación en el suelo.

En el caso de la asfixia radical los mayores daños ocurren cuando se presentan condiciones de anaerobiosis en momentos en que las raíces tienen una importante actividad metabólica. Es probable que la situación se vea agravada cuando éstas condiciones se presentan en momentos en que hay una importante masa de raíces de reciente formación, debido a que éstas raíces son más sensibles. Dentro del volumen de suelo ocupado por el sistema radical, hay posiciones donde es más probable que ocurran condiciones para la anaerobiosis. Por esta razón la determinación de la ubicación de las raíces puede ser importante para estimar la proporción que se encuentra en una situación de riesgo.

En cuanto a las prácticas de fertilización y riego; también hay que tener en cuenta los mismos elementos que inciden en el problema de la asfixia radical. Es importante conocer los momentos en los cuales la planta cuenta con una importante masa de raíces absorbentes, así como la ubicación predominante de este tipo de raíz.

De todos éstos aspectos, el presente trabajo se plantea como objetivo principal realizar la descripción de la forma en que se distribuyen los distintos diámetros de las raíces, tanto en sentido vertical como horizontal

Como objetivos secundarios se plantean:

- Evaluar la posible influencia que ejercen determinadas propiedades físicas del suelo sobre el emplazamiento de los distintos diámetros de las raíces.
- Estudiar la influencia que ejercen entre sí dos sistemas radicales cercanos
- Evaluar el método utilizado para el estudio del sistema radical, lo cual puede ser importante debido a que la experiencia sobre este tipo de trabajo es muy limitada en la zona en la cual se realizó en ensayo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. CULTIVO DE DURAZNERO

Los durazneros son frutales de hoja caduca, con un tamaño pequeño a medio y una vida útil estimada en 12 años (JUNAGRA, 1992)

Coutanceau (1965) define el porte de los árboles en función de la disposición del conjunto de sus ramas, en el caso del duraznero, la forma característica es la de un parasol.

En éstos frutales la floración ocurre antes que la brotación. Poseen de una a tres yemas en cada axila, donde las florales siempre ocupan una posición lateral. Las yemas florales originan flores solitarias que son sentadas o de pedúnculo muy corto (Westwood, 1982). Dependiendo del cultivar la flor puede ser una corola abierta (tipo rosácea) o erguida en forma de tubo (tipo campanulácea).

Las hojas son simples, de forma lanceolada, borde aserrado y con nectarios en la base de la lámina. Se disponen en la rama en forma alterna a lo largo de la misma (Facultad de Agronomía, 1990)

B. PORTAINJERTO PAVÍA MOSCATEL

El duraznero franco, o de semilla, es el portainjerto más empleado a nivel de todo el mundo para el cultivo de ésta especie (Facultad de Agronomía, 1993 b). Cuando se encuentra sobre condiciones de suelo apropiadas presenta una serie de características positivas, tales como una excelente compatibilidad con los cultivares que son injertados, buen vigor, buena productividad y una vida relativamente larga (Martínez-Zaporta, 1964)

En el caso particular del portainjerto Pavía Moscatel, es el más utilizado en nuestro país debido a sus buenas características tanto a nivel productivo como a nivel de vivero.

A nivel de vivero tiene un buen comportamiento; presentando una muy buena uniformidad de los plantines, un largo período de injertación y un alto vigor. Tiene un porcentaje de germinación medio, aunque con grandes variaciones entre los distintos años, lo cual posiblemente está relacionado con el origen de las semillas (Facultad de Agronomía, 1993 b).

Se debe mencionar que éste portainjerto esta formado por una población en la cual se han identificado al menos 10 tipos diferentes (Facultad de Agronomía, 1993 b). Por esta razón dependiendo del origen las semillas que se utilizan, se observan variaciones en la capacidad de germinación, vigor, afinidad, etc. Esta heterogeneidad dentro de la población de Pavía Moscatel hace que se deba proceder con cautela en la selección de este material para su uso como portainjerto (Cabrera, 1999).

A nivel productivo su desempeño es bueno pues presenta una buena afinidad con los cultivares y forma copas vigorosas con alta productividad y frutos de buen tamaño. Por otro lado presenta una baja emisión de rebrotes (Cabrera. 1993; Cabrera et al. 1998).

Su comportamiento es similar al éstos que presentan la generalidad de los portainjertos francos. Si bien éstos expresan sensibilidad frente a las condiciones de anaerobiosis temporaria, existen diferencias de comportamiento según su origen (Facultad de Agronomía, 1993 b). En el caso de la variedad Pavía Moscatel se comporta como muy sensible a los excesos de humedad, se comporta como muy susceptible al ataque de los nematodos cuando se encuentra en condiciones de suelo liviano y presenta un grado medio a alto de sensibilidad a la clorosis férrica (Cabrera et al 1998. : Reunión anual de avances de investigación en frutales de hoja caduca 1999).

C. SISTEMA RADICAL

1. Introducción

El siguiente capítulo tiene como objetivos brindar una idea general acerca de lo que es un sistema radical, cómo está constituido, cómo funciona, y cómo es afectado por el medio que lo rodea.

Las condiciones ambientales en las cuales se encuentran las raíces están dadas por las características del suelo y por la relación que tenga el sistema radical con otros, en el caso en que se encuentren lo suficientemente cerca. Estos factores afectan la generalidad del sistema radical en cuanto a su tamaño y expansión tanto en profundidad como en sentido horizontal.

A un nivel más puntual, donde se trata de establecer una relación entre la presencia de un determinado tipo de raíces y una zona del suelo, puede ser útil tener en cuenta las funciones que desempeña el sistema radical.

Determinadas funciones del sistema radical se desarrollan predominantemente en ciertos tipos de raíces. A su vez, las distintas funciones están afectadas por el medio que las rodea, de forma que es probable que tiendan a desarrollarse sobre todo en las zonas del suelo que le son más favorables.

2. Generalidades del sistema radical

Se puede hacer una diferenciación de los órganos de toda planta en dos grandes grupos; sistema radical y parte aérea. Ambas partes tienen funciones propias pero actúan de manera complementaria constituyendo la individualidad del vegetal. En general las plantas leñosas cultivadas son resultado de la unión artificial de individuos distintos. Una de las partes aporta el sistema radical y se denomina patrón o portainjerto y la otra da lugar a la parte aérea y se denomina injerto o variedad (Vozmediano, 1982).

a Origen y formación

En el caso más típico, la raíz se desarrolla a partir del embrión de la semilla. Al principio es un órgano sencillo constituido únicamente por un cuerpo alargado, el cual tiende a crecer en dirección vertical con geotropismo positivo. Con el tiempo la raíz se convierte en un órgano más complejo, ya que se ramifica en subsecuentes ocasiones, dando lugar a la raíz principal y a raíces secundarias, terciarias, etc. Tras una serie de ramificaciones, la raíz se convierte en un verdadero sistema, llamado radical, el cual puede llegar a ser muy complejo y abarcar un volumen importante de suelo (Calderón, 1983).

b Tipos de raíz

La forma que adopta el conjunto de las raíces puede presentar dos aspectos básicos. Uno de ellos se llama superficial o fasciculado, en el cual la raíz principal no es de gran importancia, sino que la masa principal del sistema está constituida por las raíces secundarias. Éstas son muy numerosas y tienen su punto de inserción muy cerca unas de otras. Este tipo de raíz en general no profundiza mucho en el suelo, sino que tiene un carácter más bien superficial.

El otro se llama profundizante o pivotante, está formado por una raíz principal o pivote muy desarrollada, que llega a penetrar muy profundamente en el suelo, en posición vertical o cercana a ella. Las ramificaciones, en este caso, se presentan separadas unas de otras, y normalmente tienen un menor desarrollo que el eje primario (Calderón 1983).

En el caso particular del sistema radical del duraznero franco, Torralladoma (1993) lo describe como potente y de buen desarrollo, tanto en superficie como en profundidad, de tipo semipivotante (figura 1).

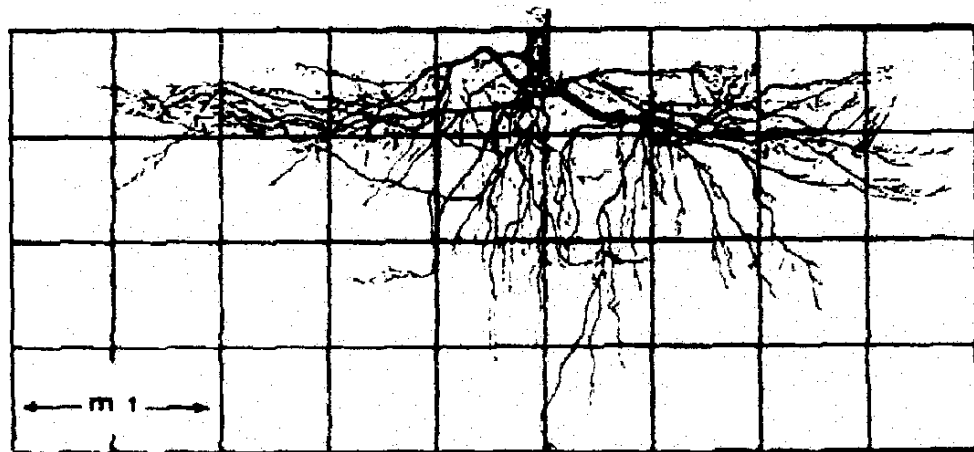


Figura N° 1: Sistema radical de duraznero franco. Material extraído de Torralladoma 1993

c Funciones

En cuanto a las funciones de las raíces sólo se hará un comentario de tipo general para complementar la idea de lo que representa un sistema radical y más adelante se volverá a abordar el tema.

A las raíces en general se les atribuyen las siguientes funciones:

- Absorción de agua y nutrientes
- Anclaje
- Almacenamiento
- Respiración
- Conducción

De todas estas funciones algunas desempeñan un rol en relación al resto de la planta, como son claramente el anclaje del árbol y la absorción de agua y nutrientes. En el caso de la respiración es un proceso que más que nada tiene que ver con el funcionamiento de las propias raíces. El almacenaje también tiene que ver con el funcionamiento de las raíces, pero probablemente parte de las reservas pasen a la copa en determinados momentos del ciclo.

3. Crecimiento vegetativo

a Períodos de crecimiento

Según los trabajos rusos expuestos por Luverant, y citados por Coutanceau (1965), el sistema radical presenta dos períodos de máxima actividad, uno de mayo a junio y otro de octubre a noviembre (Hemisferio Norte). En otoño, después de la caída de las hojas prosigue la absorción.

Según Rogers, citado por Martínez-Zaporta (1964), el período de máximo crecimiento ocurre en los meses de mayo y junio y disminuye en intensidad a partir de julio (H.N.). Sin embargo otros autores afirman que existe otro período de máximo crecimiento en otoño, a pesar de que Rogers no lo ha encontrado en las condiciones de East Malling.

Según Arbisqueta et al (1993), la actividad de las raíces no presenta un período de reposo propiamente dicho, lo cual los autores ven como natural al no actuar la temperatura o humedad como limitantes. El máximo desarrollo fue registrado durante la Primavera. Dentro de una tendencia general creciente se registró una caída en los meses de Marzo y Abril (H.N.) que coincide con la etapa de desarrollo rápido de los frutos después del cuajado.

Williamson et al (1989) realizaron un ensayo en Carolina del Sur. Las mediciones se realizaron durante la segunda y tercer hoja de árboles instalados en cajas con tierra. El patrón de crecimiento de los árboles con fruta y sin fruta fue similar, donde decae la cantidad de raíces blancas a partir de mayo (H.N.) y comienza a incrementarse sustancialmente a partir de agosto para alcanzar su pico en septiembre, después de que termina el crecimiento fuerte de los brotes pero antes de la caída de hojas. En el caso de árboles con fruta el incremento sustancial de las raíces blancas empieza mas o menos cuando termina el desarrollo del fruto y se empareja con los árboles sin frutos un mes después.

Como se puede observar el período de crecimiento de las raíces depende de las condiciones ecológicas donde se está desarrollando el árbol. Por lo que para tener una idea del momento en que se encuentran las raíces con respecto a su ciclo de crecimiento, probablemente sea más útil tener en cuenta que procesos esta desarrollando el resto de la planta, más que una determinada fecha. Atkinson (1980) menciona que la periodicidad en forma

limodal del crecimiento de las raíces, observada por el y por otros autores, podría ser debido a la competencia entre los brotes y las raíces por los carbohidratos.

b Desarrollo de la raíz

En un primer momento las nuevas raicillas se presentan de un color blanco característico. Al cabo de una a cuatro semanas ocurren una serie de cambios, externamente la corteza se torna rugosa y se ennegrece, lo cual va acompañado por un proceso de suberificación. Internamente las células del endodermo también sufren una suberificación.

La permanencia de las raíces nuevas es variable; en algunos casos degeneran y mueren después de algún tiempo, en otros persisten después de sufrir una serie de cambios a nivel de la corteza y del cilindro central. En el curso de pocos meses las raíces sutiles mueren, y lo mismo ocurre con las de orden inmediatamente superior. Se dan ciclos de muerte y renovación, donde los nutrientes dejados por las raíces muertas son aprovechados por las que crecen, así como los canales dejados por éstas (Martínez Zaporta, 1964).

4. Estructura de la raíz

El sistema radical está formado por un conjunto de elementos que no son estructuralmente uniformes, debido a que, a lo largo de la extensión de cada raíz ha ocurrido una serie de cambios, los cuales se van acentuando en las partes más alejadas del ápice ya que los procesos de transformación han estado operando durante más tiempo

El sistema radical forma una unidad estructural donde cada una de sus partes está en relación con las otras, y de las propiedades intrínsecas de cada parte y de su forma de relacionarse es que surge el resultado final. Por esta razón el sistema radical tiene que ser estudiado en su totalidad, más allá de que por el momento no se conozca con precisión la función de sus distintos componentes.

a Crecimiento primario

En todas las raíces, cualquiera sea su grado de importancia, su extremidad termina en un grupo de células que forman la caliptra, la cual tiene como función proteger a ésta parte. Rodeado por la caliptra se encuentra el meristemo apical de la raíz, el cual está constituido por un grupo de células en constante división. A partir de éste tejido las raíces desarrollan su crecimiento en longitud (Calderón, 1983)

Las células derivadas del meristemo apical pasan por un proceso de división y alargamiento antes de diferenciarse en algún tipo de tejido. En una primera porción predominan los fenómenos de multiplicación y en una segunda porción el alargamiento celular.

En la región en la cual comienza a disminuir ritmo de alargamiento, se encuentra la zona pilífera. En ella existe ya una epidermis formada por una capa de células parenquimatosas de pared delgada. Cada una de estas células se expande lateralmente hacia afuera formando una estructura tubulosa, formando los llamados pelos radicales (Esau, 1985).

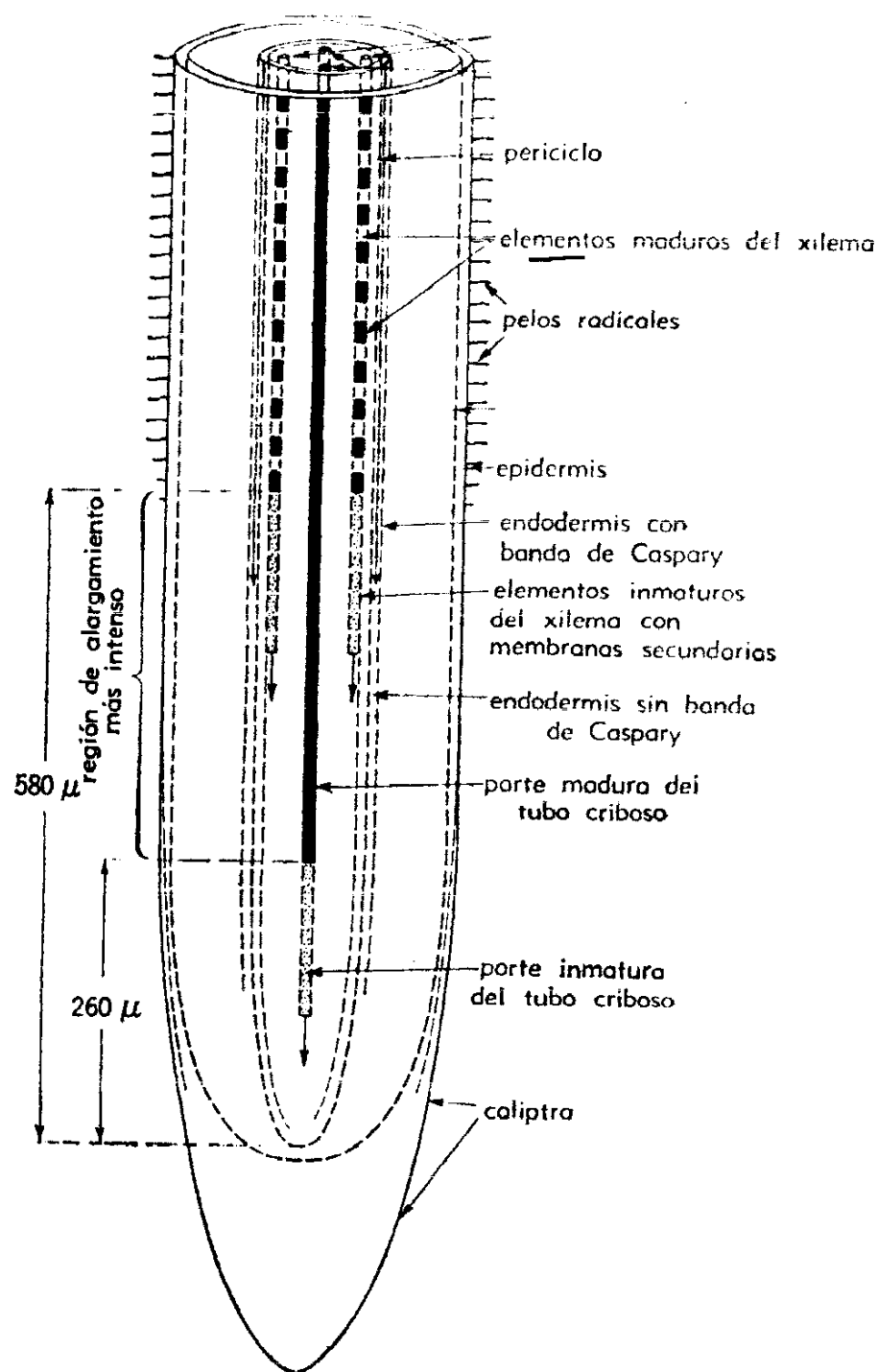


Figura N° 2: Sección longitudinal de una extremidad de raíz primaria. Se puede observar los procesos de diferenciación que sufren los distintos tejidos en relación a su posición con respecto al ápice. Extraído de Esau (1985)

La longitud de los pelos radicales varía entre 0.1 y 1.5 mm, dependiendo de la especie (Dittmer, citado por Esau 1985)

La facultad que tienen los pelos radicales para absorber el agua se ha demostrado por medios experimentales. Estos mismos experimentos demuestran que las células epidérmicas desprovistas de pelos también absorben agua a una velocidad comparable a la de las células que poseen pelos radicales (Rosene, citado por Esau, 1985). La función principal de los pelos radicales es aumentar la superficie de la raíz (Esau 1985).

A la altura de la zona con pelos radicales la raíz está conformada por una epidermis, una corteza y un cilindro vascular.

En el límite interior de la corteza se encuentra una endodermis provista de una banda de Caspary. Ésta banda forma una barrera en la que la solución del suelo es forzada a pasar a través del citoplasma, selectivamente permeable, y no a través de la membrana celular.

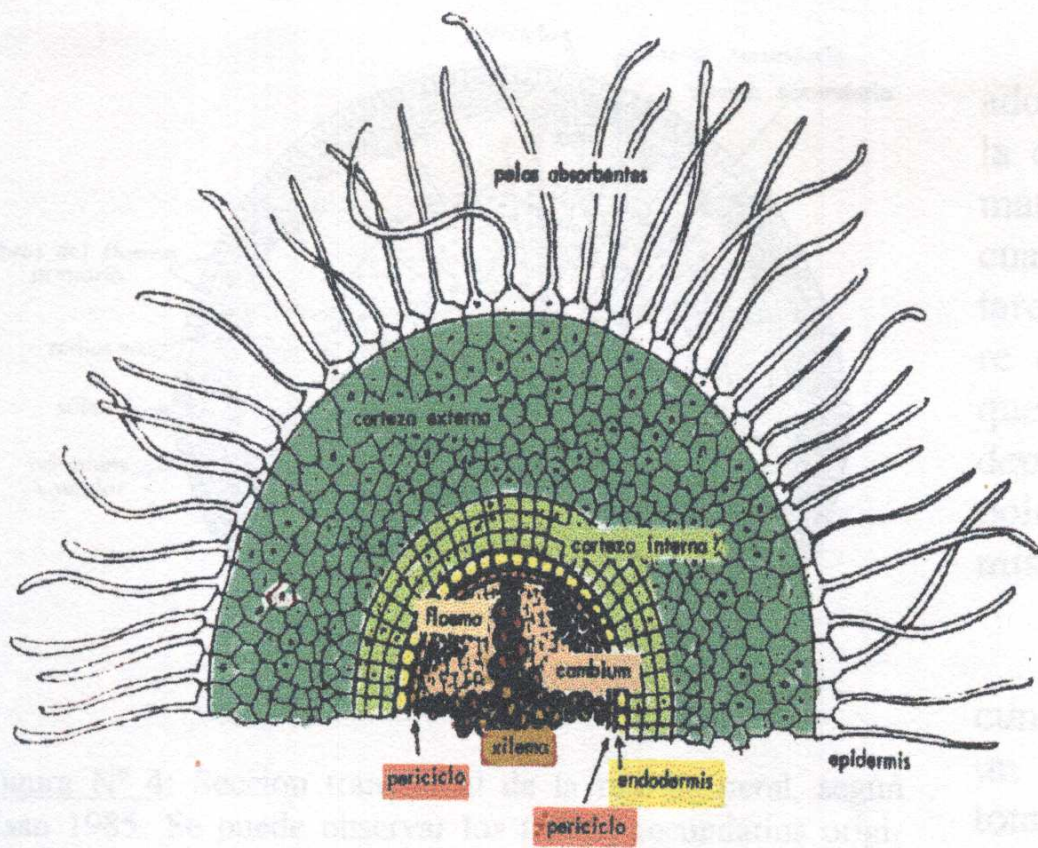


Figura N° 3: Corte de raíz primaria a la altura de los pelos absorbentes, según Calderón 1983. La figura fue modificada en cuanto al coloreado de las distintas partes de la raíz.

partir de este tejido, también el felógeno y parte del cambium en el crecimiento secundario (Esau, 1985)

La parte central de la raíz esta ocupada por el cilindro vascular, compuesto del sistema vascular y del parénquima asociado. La capa más externa del cilindro vascular es el periciclo, el cual lo rodea totalmente y está formado por una o más capas de células.

El periciclo en las raíces relativamente jóvenes consta de un parénquima de membranas delgadas. En angiospermas esta asociado a las actividades meristemáticas. En este grupo de plantas, las raíces laterales se forman a

b Crecimiento secundario de la raíz

Hacia la parte mas vieja de la zona pilífera, donde se encuentran los pelos radicales más largos y próximos a desaparecer, algunas células que se originaron en el meristemo primario, y que han conservado su facultad de reproducción, comienzan su función de multiplicación celular, dividiéndose intensamente y produciendo nuevas células. Se forman de esta manera varios grupos de células meristemáticas generadoras de nuevas células, las cuales se encuentran distribuidas alrededor del eje de la raíz entre los haces xilemáticos y floemáticos (Calderón, 1983).

1. Actividad del cambium

La actividad intensa de estos grupos de células meristemáticas determina que se vayan formando hacia el interior células que constituirán elementos del xilema y hacia el exterior células que al diferenciarse darán lugar al floema. Asimismo en su crecimiento lateral da origen a nuevas células meristemáticas, de tal manera que el espacio ocupado por ellas va aumentando progresivamente, y de grupos aislados, que eran al principio, van acortando la distancia hasta formar una capa.

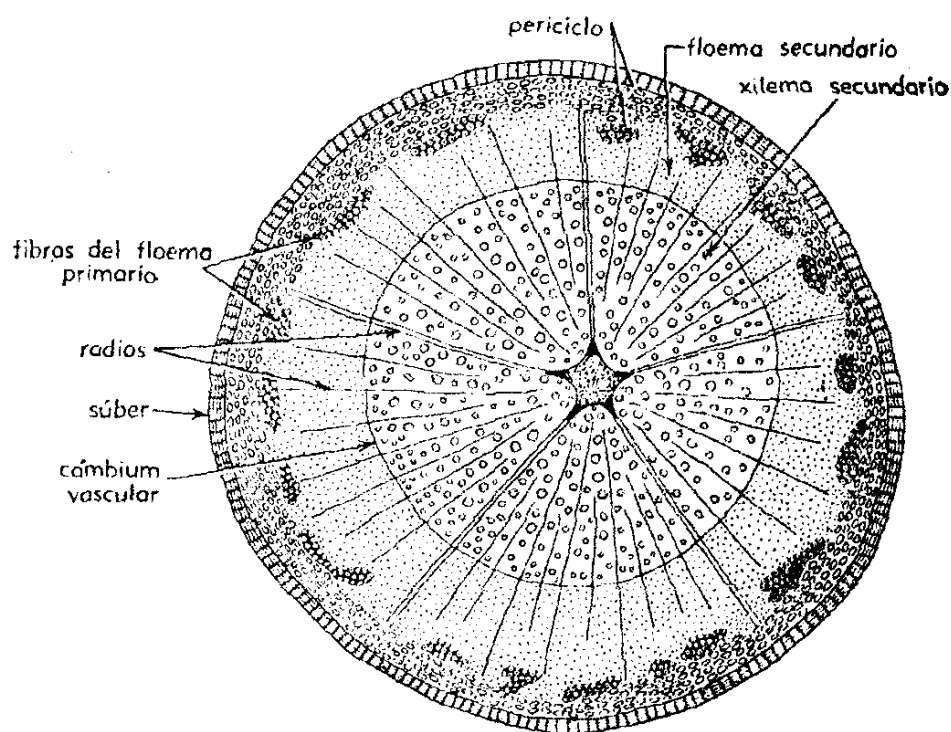


Figura Nº 4: Sección transversal de la raíz de peral, según Esau 1985. Se puede observar los tejidos secundarios originados por el cambium

Ésta capa, en un principio adopta un forma sinuosa debido a la disposición de los tejidos floemáticos y xilemáticos, entre los cuales se va desarrollando. Mas tarde el cambium vascular adquiere un contorno circular debido a que el nuevo tejido xilemático se deposita más rápido entre los polos del protoxilema que en ellos mismos.

Los tejidos vasculares secundarios adquieren la forma de un cilindro continuo que incluye totalmente al xilema primario (Esau, 1985).

2. Cambios en la epidermis

Arriba de la zona pilífera de la raíz, así como ocurren cambios en el cilindro central, también ocurren cambios en la epidermis. A cierta distancia del ápice, los pelos radicales se van perdiendo poco a poco, y esta capa va siendo sustituida por otra más interna llamada exodermis (Esau, 1985).

La exodermis que también es de origen primario, esta formada por células grandes con paredes recubiertas por cutina o súber. Esta capa es impermeable al agua y a los solutos, por lo que no se realiza absorción a través de ella, pero tampoco permite el escape de agua hacia el exterior (Calderón, 1983).

3. Actividad del felógeno

Junto con la aparición del cambium, y el crecimiento y la diferenciación secundarios a nivel del cilindro central, en la corteza también aparecen un meristemo secundario llamado felógeno (Calderón, 1983). Este tejido se origina entre las células más externas del periciclo proliferado.

El felógeno forma hacia el exterior un tejido suberoso, y hacia el interior puede formar felodermis.

La expansión del cilindro vascular mediante crecimiento secundario determina la ruptura y el desprendimiento de la corteza con la endodermis (Esau, 1985).

c Desarrollo de las raíces laterales

Las raíces laterales se originan a alguna distancia del meristemo apical, a partir de un tejido situado a cierta profundidad.

Durante la iniciación de una raíz lateral, un grupo de células del periciclo experimenta una serie de divisiones dando lugar a la formación de una protrusión, el primordio de la raíz lateral. Prosiguiendo el crecimiento, dicho primordio penetra gradualmente en la corteza. Antes de que el primordio emerja a la superficie de la raíz principal, el meristemo apical, las regiones de tejido primario del eje de la joven raíz y la caliptra, quedan delimitados mediante adecuadas divisiones celulares (Esau, 1985).

5. Factores del suelo que afectan el desarrollo de las raíces

Varios factores influyen en la penetración y la proliferación de las raíces en los suelos. La disponibilidad de nutrientes juega un papel importante en la proliferación del sistema de raíces, si bien éstas penetran en zonas donde hay escasez de nutrientes. La disponibilidad de agua también afecta al alargamiento de las raíces, que no penetran en los suelos áridos, y el índice de alargamiento decrece al aumentar la tensión del agua del suelo. El desarrollo de las raíces también puede ser afectado por la presencia de sustancias tóxicas. En suelos compactados los principales factores que afectan el crecimiento de las raíces son la aireación y la capacidad del suelo de permitir que las raíces se introduzcan entre las partículas y de ir las apartando en su avance (Baver el al, 1973).

A continuación se presentan en forma general los factores del suelo que son más importantes desde el punto de vista de la influencia en el desarrollo de las raíces. Con esto no se persigue explicar los resultados obtenidos en el trabajo de campo, sino brindar elementos que ayuden a su comprensión

a Temperatura

La temperatura del suelo influye en la formación y desarrollo de las raíces, por debajo de los 7 grados Celsius estos procesos disminuyen y tienden a detenerse (Coutanceau, 1965). Esto coincide con los trabajos de Proebsting, citados por Martínez -Zaporta (1964) donde se estableció que la planta de duraznero inicia su desarrollo por encima de un mínimo de 7 grados Celsius, tiene un óptimo a los 24 grados y un máximo a los 35 grados.

Por otro lado Rogers, también citado por Martínez-Zaporta (1964), probó que siempre que exista el grado de humedad adecuado, hay una relación muy estrecha entre la temperatura y el crecimiento. Según Martínez-Zaporta esto tendría implicancias directas ente el tipo de terreno y el desarrollo radical. Los terrenos húmedos y fríos se resisten a ser atravesados por el calor ambiente, de manera que solo se calientan las capas superiores. Por esta razón las raíces ubicadas en las capas inferiores empiezan su crecimiento más tarde y crecen menos de lo que harían en un terreno de consistencia media.

b Porosidad del suelo

Tanto la aireación como la impedancia mecánica dependen estrechamente del espacio poroso del suelo.

En cuanto a la aireación, Wiersum (1957) citado por Baver et al (1973), encontró que las raíces no se alargaban cuando la tasa de difusión de oxígeno caía por debajo de cierto mínimo. Existía una buena correlación entre la profundidad de las raíces y la difusión del oxígeno. Patt et al (1966) en un estudio sobre citrus, encontró que la cantidad de aire del suelo se tornaba una limitante en el desarrollo de las raíces menores a 1 mm cuando los valores de porosidad total eran menores a un 9 – 10 porciento.

Barley (también citado por Baver et al, 1973) realizó una serie de experiencias, en las cuales se puede observar que las necesidades de oxígeno de las raíces para mantener una determinada tasa de crecimiento van en aumento a medida que el esfuerzo que tiene que realizar la raíz para penetrar en el suelo aumenta. Con el aumento de la resistencia que opone el suelo al avance de las raíces, llega un punto en el cual éstas ya no responden a un aumento en el tenor de oxígeno.

Con respecto a la impedancia mecánica (resistencia del suelo al avance de las raíces), se ha observado a nivel de campo que la densidad del suelo tiene un papel importante en la penetración de las raíces. Las raíces de muchas especies de plantas han sido rastreadas hasta una losa y se las ha visto cambiar de dirección donde el crecimiento se torna paralelo a la interfase friable entre el suelo y la losa. Wiersum (1957) citado por Baver et al (1973) en un ensayo con plantas jóvenes de avena, obtuvo datos concluyentes de que las raíces sólo penetraban poros cuyo diámetro es mayor que el de las raíces muy jóvenes.

En los casos donde se observa crecimiento de raíces en suelos con poros de diámetro menor al de las raíces jóvenes, son donde la plasticidad y la densidad del suelo permiten que la presión de las raíces haga a un lado las partículas (Baber et al, 1973).

c Agua del suelo

El agua es necesaria para el funcionamiento general de las plantas. En el caso particular de las raíces, además es necesaria para que las células logren la turgencia que les

permita a éstas alargarse e introducirse entre las partículas del suelo (Martínez-Zaporta, 1964; Durán, 1992).

Estudiar la relación entre el agua del suelo y el crecimiento de las raíces es bastante complejo dado que el agua además de relacionarse con la planta con respecto a la absorción, también se encuentra afectando las condiciones del suelo en que deben desarrollarse las raíces.

El árbol en general, y el sistema radical en particular tiene una determinada respuesta frente a una variación del contenido del agua en el suelo. Se ha observado que los mejores resultados productivos se obtienen cuando la cantidad de agua del suelo se mantiene a un nivel mayor que el cercano al agotamiento del agua disponible. Martínez Zaporta (1964) cita los trabajos sobre manzanos de Veihmeyer, donde encontró que cuando se regaban los frutales cuando ya se habían consumido el 80 % del agua disponible, los resultados no eran tan buenos como cuando se regaba antes de llegar a ese nivel de pérdida.

Según Duran (1992), en la mayoría de los suelos, el crecimiento óptimo de las plantas tiene lugar cuando el contenido de humedad del suelo se mantiene próximo a su capacidad de campo con una tensión de matriz de 1 bar o menos. Así el rango de humedad para el crecimiento óptimo de las plantas no se extiende por igual en todo el rango de humedad disponible en el suelo.

Con relación al sistema radical se observa que las raíces tienden a proliferar en las zonas del suelo donde se da una mejor relación de humedad. La distribución de la humedad en las distintas capas influye de manera palpable sobre la distribución de las raíces (Martínez Zaporta, 1964).

Existe una considerable interacción entre los factores que afectan el crecimiento de las raíces. En el caso del agua, afecta directamente el crecimiento y funcionamiento de las raíces, y afecta indirectamente la aireación, la impedancia mecánica y la temperatura del suelo. Según los trabajos de Eavis (1970) citados por Baver et al (1973), la resistencia a la penetración de las raíces aumenta con el incremento de la densidad aparente y la tensión de la humedad. En un principio el alargamiento de las raíces aumenta con la tensión de humedad, hasta alcanzar un máximo y luego disminuye. El crecimiento inicial hasta alcanzar el máximo, esta asociado a un mejoramiento en las condiciones de aeración a medida que el agua es desalojada de los poros. La disminución que sigue está relacionada con el aumento de la resistencia del suelo.

d Fertilidad

La fertilidad del terreno modifica en cierto sentido la longitud de la raíz, ya que para una determinada combinación de variedad y patrón las exigencias del frutal son teóricamente constantes y es fácil comprender que no pueden ser satisfechas en igual forma por todos los terrenos. Los suelos pobres y secos exigirán, lógicamente, para proporcionar un crecimiento dado, un volumen mucho mayor de terreno que lo que exigirían en caso de

crecimiento dado, un volumen mucho mayor de terreno que lo que exigirían en caso de que éste fuese rico en materia fertilizante (Martínez Zaporta, 1964).

Rogers y Vyvyan (citados por Martínez Zaporta, 1964), demostraron que las raíces se alargan mucho más en los terrenos pobres que en los más fértiles para la misma combinación de patrón y copa.

En la revisión que hace Atkinson (1980), sobre la influencia del fertilizante en el desarrollo radical, en general todos los autores coinciden en que el agregado de fertilizante aumenta el tamaño del sistema radical. En cuanto a la expansión, en los trabajos donde se aplica fertilizante inorgánico se menciona que las raíces tienen un mayor desarrollo en profundidad (no se menciona nada en cuanto a la extensión lateral). En los trabajos en que se utiliza estiércol se menciona que también aumenta el desarrollo en profundidad pero que disminuye la expansión de las raíces en sentido horizontal. Wéller (1966a) citado por (Atkinson, 1980), demostró que cuando se aplicaba fertilizante mineral cerca del tronco, las raíces sólo crecían en esa región. Lo mismo encontró Smith (1965) trabajando en cítricos (citado por Atkinson, 1980)

En el trabajo de Mou et al (1997) donde estudian la influencia del fertilizante aplicado en una zona del sistema radical, concluyen que el desarrollo espacial para las dos especies estudiadas fue vigorosamente influenciado por la manera como se había aplicado el fertilizante. Las raíces de goma dulce se concentraron en la zona con fertilizante, mientras que las de pino se desarrollaron más en esta zona pero se extendieron mucho más allá de ésta.

Según Vozmediano (1982) las raíces proliferan en las regiones del suelo ricas en materia orgánica y elementos nutritivos. Este autor lo atribuye a que cuando una raíz encuentra una zona bien provista se ramifica de forma más activa.

e pH

El pH además de actuar directamente sobre las plantas, tiene una incidencia sobre la fertilidad del suelo. Actúa sobre la disponibilidad de los nutrientes, y también actúa sobre la flora microbiana, la cual está ligada a los procesos de la nutrición de la planta. (Martínez Zaporta, 1964; Calderón, 1983).

f Tipo de suelo

Hasta ahora se han analizado los factores que afectan al desarrollo de las raíces en forma aislada. Cuando se analiza el tipo de suelo como factor, en realidad lo que se observa es la respuesta de las raíces a las condiciones de crecimiento que proporciona el suelo. Cada tipo de suelo además de afectar al crecimiento en sí mismo en lo que podría ser por ejemplo poseer el tamaño de poro necesario para que se introduzcan las raíces en crecimiento o que

las partículas del suelo se aparten frente al avance de las raíces, causa una tendencia general en todas las condiciones que afectan al desarrollo de las raíces.

Según Martínez Zaporta (1964), en los suelos ligeros las raíces son generalmente largas y delgadas y por el contrario en los arcillosos son cortas y gruesas. El mismo autor cita dos trabajos donde se estudió la relación entre el sistema radical y tipo de suelo.

En un ensayo realizado en East Malling con manzanos injertados sobre portainjertos homogéneos, se encontró que en los suelos arenosos el sistema radical exploraba una superficie tres veces mayor que la proyectada por la copa. En cambio en suelos arcillosos, la relación era de solo 1.5 a 1. El otro trabajo es de Bordigioni, sobre plantas de duraznero. También encontró que la relación entre superficie explorada por las raíces y el área proyectada por la copa disminuía cuando el terreno era más arcilloso. Coutanceau y Calderón también citan el trabajo realizado en East Malling y reconocen que es un gran aporte al estudio de las raíces.

Calderón (1983), menciona que en los estudios de raíces por él analizados, se ha comprobado que en suelos sueltos, en los primeros 50 cm de profundidad se encuentra el 80 % de las raíces útiles en la absorción, y que en suelos arcillosos, en esos mismos primeros 50 cm se encuentra el 98 % de ellas. En ambos casos la mayor proporción de raíces se encuentra en los primeros 30 cm de suelo, lo que indica la cualidad más bien superficial que profunda de las raíces absorbentes. Esta característica se acentúa en suelos pesados, en los cuales las raíces tienden a ser sumamente superficiales.

Por otro lado la escasa profundización de la masa principal de raíces absorbentes no quiere decir que no existan otras raíces que penetren a mayor profundidad.

6. Factores de la planta que afectan el desarrollo de las raíces

a Factores genéticos

Al analizar este factor lo que se pretende es brindar una idea sobre la forma general en que se desarrolla el sistema radical en las especies de carozo y en la medida de lo posible en los durazneros. Si bien los trabajos que se citan fueron desarrollados bajo condiciones diferentes, se puede observar que hasta cierto grado, hay características que se mantienen.

Atkinson (1980) en su revisión bibliográfica sobre la distribución de las raíces en los distintos tipos de frutales comenta que, en las especies de carozo como en los otros frutales, la mayoría de las raíces fueron encontradas en una zona de 0 – 60 cm de profundidad, con un número significativo entre los 0 – 25 cm (el autor no especifica ningún tipo de suelo en especial). Según este autor, entre los distintos tipos de Prunus no hay una gran diferencia en la distribución de las raíces.

Según Trocme y Grass (1979) el enraizamiento del duraznero es frecuentemente superficial. En suelos limosos la mayor parte de las raíces se encuentran entre los 10 – 60 cm de profundidad (Havis et al, 1937; Grass, 1962) y entre 30 – 90 para suelos limoarcillosos (Breviglieri, 1952); todos estos autores citados por Trocme y Grass (1979)

Calderón (1983) hablando de los frutales en general, comenta que tanto en suelos livianos como en los más pesados, en los primeros 30 cm de profundidad se encuentra la mayor proporción de las raíces útiles para la absorción, y en este último tipo de suelo, tienden a ser sumamente superficiales.

Según Huidobro et al (1985) en las especies estudiadas (damasco, almendro y guindo), la mayoría de las raíces se ubican en el sector comprendido entre 0 – 30 cm de profundidad y 45 cm desde la hilera de plantación. Pero hay que relativizar el valor de esta información, dado que la densidad radical esta estimada solo en función del peso de las raíces, sin discriminar entre los distintos diámetros. Por otro lado en las condiciones en que se realizó el trabajo, la zona húmeda del suelo, estaba restringida durante la mayor parte del ciclo al área de influencia del riego.

En el trabajo de Mitov et al (1991), donde se estudia la distribución del sistema radical de cuatro portainjertos diferentes, se clasifican las raíces en diámetros que van de 0 – 0.3 cm, de 0.3 – 1.0 cm y en mayores de 1 cm. En cuanto al tipo de suelo, los autores lo clasifican como típico para la producción de durazno, pero no se dan detalles. En todos los portainjertos, el 90 % de las raíces se encuentran en los primeros 60 cm de profundidad y la mayor concentración de cada uno de los rangos de raíz ocurre entre los 20 y 40 cm de profundidad. Para las raíces con un diámetro mayor de 1 cm, la segunda capa de suelo con mas raíces es la comprendida entre los 40 y 60 cm. Para las raíces finas, en dos de los casos las raíces se reparten en forma similar por encima y por debajo de la capa de más abundancia (20 – 40 cm) En los otros dos casos la segunda capa con más raíces finas es la que va de 0 – 20 cm. O sea que, en promedio, las raíces finas tienden a ubicarse un poco por encima de las más gruesas.

De Lucca et al (1995) realizó un estudio sobre el desarrollo de las raíces del portainjerto Pavia Moscatel en un Brunosol. Dicho suelo contaba con un horizonte melánico con un espesor promedio en el camellón de 20.5 cm, seguido por un horizonte argilúvico dividido en dos fases, ambas de 15 cm de espesor. La cantidad de raíces finas (menores a 2 mm) a nivel del camellón, se mantiene en su nivel mas alto en los dos primeros horizontes (35 cm en total), a partir de los cuales disminuye rápidamente. La razón entre el peso de las raíces con diámetro menor a 2 mm y el peso del resto del sistema radical varía con la profundidad. En los primeros 20 cm es de 0.25 (expresado en peso seco), en los siguientes 15 cm es de 0.042 y en los siguientes 15 cm es de 0.055.

Esta información indica que en el primer horizonte hay un importante desarrollo de raíces finas, pero no tanto de raíces gruesas. En el segundo horizonte hay un desarrollo de raíces finas similar al encontrado en el primer nivel, pero en este caso sí hay un importante

desarrollo de raíces gruesas. En el tercer horizonte la relación entre ambos tipos de raíces se mantiene, pero el desarrollo de ambos tipos es mucho menor.

Bargioni et al (1985) realizaron un trabajo con durazneros de nueve años plantados en un suelo ubicado en las cercanías de Verona. Dicho suelo contaba con una capa fértil poco profunda (45 – 55 cm de espesor) sobre otra de piedras y grava que le conferían un buen drenaje. Encontraron que casi todas las raíces con un diámetro mayor a 2 mm se encontraban entre los 20 y 50 cm de profundidad. Las raíces con diámetro menor a dos mm se extendían de forma uniforme por todo el espacio ocupado por las más gruesas y también fueron observadas cerca de la superficie.

b Densidad de plantación y tipo de planta adyacente

Hidalgo et al (1969) en un trabajo sobre la distribución de las raíces de la vid, encontraron que cuando se mantenía un marco de plantación equidistante entre las plantas, pero se aumentaba la densidad de plantación, la masa de los sistemas radicales tendía a disminuir. Bajo esta situación, también se observó que la expansión lateral de los sistemas radicales tendía a quedar acotada al espacio de suelo asignado, y que aumentaba la proporción de raíces en las capas profundas de suelo.

Otro factor que incide en la distribución de las raíces de un árbol, es el tipo de árbol que tiene al lado. Según Calderón (1983), en el caso de los durazneros, las raíces de los árboles vecinos no se entrecruzan, sino que se repelen, cambiando la dirección de crecimiento cuando se encuentran

Martínez Zaporta (1964), en base a los ensayos de Bargioni, dice que el sistema radical de cada árbol tiende a quedar separado en forma más o menos neta de los sistemas radicales contiguos, por lo menos en las condiciones ecológicas en que desarrolla su trabajo. Por ésta razón, considera que la zona que ya ha sido explorada por un duraznero que se ha eliminado del terreno, tampoco será atravesada por las raíces de los pies vecinos durante un cierto tiempo, a no ser que se le preste un tratamiento adecuado.

Bargioni et al (1985) en su trabajo sobre la distribución del sistema radical del portainjerto GF 655/2, sostiene nuevamente que las raíces de los distintos árboles se mantienen separadas (figura 5). En el trabajo realizado por Mitov et al (1991) también se sostiene que las raíces se mantienen separadas. Quizás sea interesante notar que G. Bargioni aparece dentro de la bibliografía citada por éste último autor.

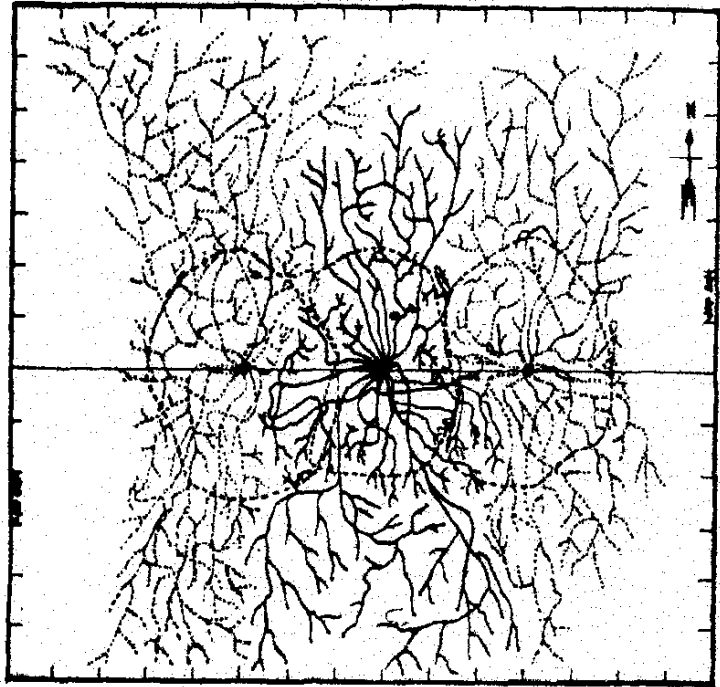


Figura N° 5: Planimetría de los sistemas radicales de una plantación de durazneros. Las líneas de trazos marcan la proyección de las copas. G. Bargioni. (Extraído de Martínez Zaporta 1964)

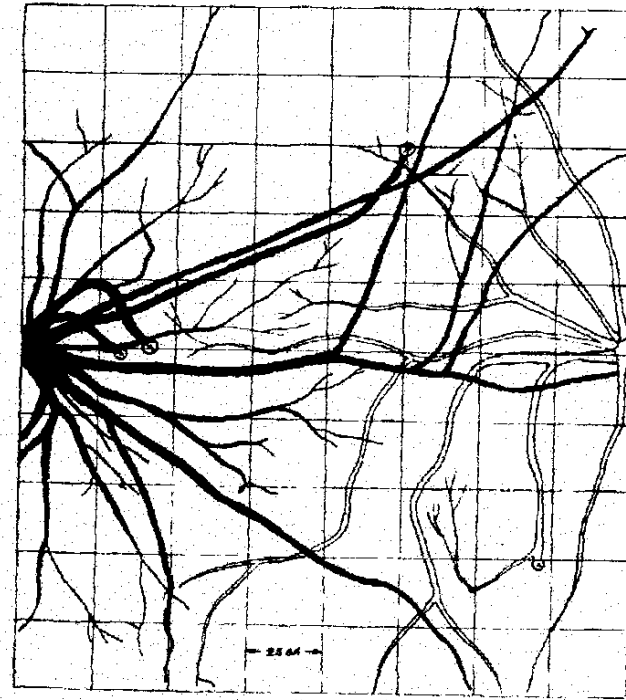


Figura N° 6: Planimetría de los sistemas radicales de peral y duraznero que se encuentran contiguos. G. BINI y P. CHISCI. (Extraído de Martínez Zaporta 1964)

Según Martínez - Zaporta (1964) cuando un duraznero tiene un árbol vecino de otra especie existe cierto grado de entrecruzamiento (figura 6).

c Combinación portainjerto - variedad

La distribución de las raíces de los árboles esta fuertemente influenciada por las condiciones del suelo, sin embargo el resultado tanto de la copa como del sistema radical también dependen de la combinación particular entre variedad y portainjerto.

Así, en un mismo tipo de suelo, el desarrollo radical varía notablemente tanto en su volumen y longitud, como en su ubicación en profundidad y extensión, de acuerdo a las características genéticas del patrón y a la influencia que sobre él ejerzan las variedades (Calderón, 1983). En relación con esto, es interesante el trabajo realizado por Mata Beltrán (citado por Calderón, 1983), donde se estudiaron distintos portainjertos para manzana, todos injertados con la misma variedad. Los resultados obtenidos muestran la notable variación que hay entre los distintos portainjertos.

Por otro lado hay una interacción ente la variedad y el patrón de forma que ésta tiene una influencia sobre el desarrollo de las raíces (Martínez Zaporta, 1964). Vyvyan (citado por Martínez Zaporta, 1964) pudo demostrar a través de una serie de ensayos que el grosor de la raíz principal y el grado de ramificación y subdivisión de la misma, constituye una peculiar característica del tipo de patrón y que la variedad injertada puede influir en el

número de raíces, pero no en su carácter. Esto también fue corroborado por Hülsman (también citado por Martínez Zaporta, 1964).

7. Funciones de las raíces

a Introducción

Este capítulo tiene como objetivo principal brindar una idea general sobre las funciones que desempeña el sistema radical.

También se trata de analizar la forma en que son afectadas cada una de las funciones por las condiciones ambientales del suelo, de manera de poder establecer en que ubicaciones del suelo es más probable que se desempeñe dicha función. Dentro de lo que se conoce se trata de establecer una relación entre la función y el tipo de raíz donde es más probable que se desarrolle.

b Fijación

El sistema radical constituye el apoyo sobre el cual descansa el peso de los árboles, debe ser capaz además de resistir la fuerza lateral que ejerce el viento sobre la copa.

El anclaje que logran las raíces depende de la forma y distribución que éstas adopten, lo cual está regido por las características genéticas del material vegetal y las condiciones ambientales que proporciona el suelo (Calderón, 1983). Los problemas surgen cuando la copa del árbol adquiere un desarrollo importante pero el sistema radical no está suficientemente desarrollado ni es lo bastante profundo (Calderón, 1983; Zaporta, 1964).

En la situación analizada por Coutts (1983) con árboles de gran porte pero con un sistema radical poco profundo, encontraron que era más importante que el sistema radical contara con pocas raíces gruesas dispuestas en forma uniforme que con muchas raíces finas.

c Respiración

La respiración es un fenómeno catabólico de oxidación en el cual se utiliza materia orgánica y se libera energía. Las sustancias orgánicas que se utilizan son sintetizadas en las partes verdes de la planta a través de la fotosíntesis y conducidas a los distintos tejidos ya que este proceso debe realizarse individualmente en cada una de las células vivas del árbol.

La respiración efectuada normalmente se llama aeróbica, debido a que para realizarse se requiere la presencia de oxígeno. El sistema radical obtiene el oxígeno necesario a

partir del aire que forma parte del suelo, el cual penetra al interior de las raíces a través de la epidermis y de los pelos absorbentes y se difunde hasta llegar a todas las células vivas.

Bajo determinadas condiciones del suelo la cantidad de oxígeno puede resultar insuficiente para el proceso normal de respiración, como en el caso de suelos inundados. En estas condiciones se desarrolla un proceso respiratorio anaeróbico y la energía se obtiene a través de la fermentación de hidratos de carbono. Si persiste este tipo de respiración durante cierto tiempo las raíces mueren debido a la intoxicación causada por la acumulación de los productos de la fermentación. A la muerte de las raíces sobreviene la muerte de todo el árbol (Calderón, 1983).

Los mayores requerimientos de oxígeno se presentan en los tejidos que desarrollan una intensa actividad metabólica. Esto ocurre sobre todo en las raíces jóvenes que son las que están en crecimiento y en donde el proceso de absorción es más importante. Mas allá de los procesos metabólicos, el alto porcentaje de células vivas en las raíces jóvenes hace que sus requerimientos de oxígeno sean mayores que en las raíces viejas.

d Absorción

Mediante el proceso de absorción las raíces incorporan a partir del ambiente que las rodea el agua y los nutrientes que son necesarios para formar los tejidos del árbol y su funcionamiento (Martínez - Zaporta, 1964).

Las plantas utilizan distintos mecanismos para lograr un flujo de agua desde el suelo hacia las raíces, donde unos implican un gasto de energía y otros no. Cuando en las inmediaciones de las raíces decae la cantidad de agua por debajo de un nivel que pueda ser aprovechado, éstas exploran nuevas zonas. Esto es muy importante ya que las raíces solo son capaces de aprovechar el agua que se encuentra dentro de un radio muy reducido (no mas de 4 cm, según Gardner, 1960). Por otro lado, bajo condiciones de suelo no saturado, es muy limitado el movimiento del agua desde partes húmedas hacia partes que han sido desecadas por las raíces (Olano, 1993)

Los nutrientes presentes en el suelo son partículas con carga eléctrica (iones) los cuales se encuentran en parte libres en la solución del suelo y también adsorbidos a partículas con carga eléctrica. Las raíces tienen mecanismos mediante los cuales logran que los iones adsorbidos pasen directamente de las partículas a la superficie de la raíz, o que pasen de las partículas a la solución del suelo. Los iones pueden moverse por difusión siguiendo un gradiente de potencial electroquímico o pueden ser arrastrados por el flujo del solvente (Facultad de Agronomía, 1993 a).

Una vez que los iones están en contacto con las raíces, deben atravesar la membrana de las células para ser absorbidos. Si bien una cierta proporción de los iones atraviesan las membranas por difusión, la mayoría lo hace a través de mecanismos que implican un gasto de energía debido a que ocurre una concentración en contra de un gradiente. Por esta razón

la absorción de nutrientes se ve afectada por la energía metabólica de que disponga las células (Facultad de Agronomía, 1993 a).

La absorción es variable a lo largo de la raíz. En la zona apical propiamente dicha la absorción es baja; luego sigue una zona de largo variable donde la absorción es máxima, y luego la absorción decae nuevamente. Estas variaciones espaciales se han explicado en función de la anatomía de la raíz. La zona apical (caliptra y meristemo) absorbe poca agua porque el tejido es compacto y carece de xilema. La absorción es máxima donde el xilema está diferenciado y las barreras al pasaje del agua son menos importantes (Olano, 1993). Por otro lado se ha comprobado que las células que se encuentran en activo crecimiento son capaces de absorber una mayor cantidad de nutrientes que aquellas que ya completaron su desarrollo (Facultad de Agronomía, 1993 a). A medida que aumenta el grado de suberificación de los tejidos decae nuevamente la absorción (Olano, 1993). El largo de la zona de máxima absorción puede variar con las condiciones ambientales (Esau, 1985).

Basándose en los estudios de Makenzie (1979) citados por Atkinson (1980) sobre la estructura de las raíces de manzana, la zona que está mejor preparada desde el punto de vista estructural para la absorción es la parte que va desde los 5 a 10 cm a partir del ápice. Entre los 10 a 15 cm a partir del ápice, las raíces se tornan marrones; coincidiendo con esto ocurren las primeras divisiones del felógeno y la producción del xilema secundario (ambos procesos pertenecientes al crecimiento secundario).

La absorción del agua y de las sales no está limitada a las partes jóvenes de la raíz, en gran parte sin suberizar. Se ha demostrado que las raíces con crecimiento secundario y con peridermis son capaces de absorber cantidades considerables de agua (Kramer, 1959) pero los principales centros de absorción y acumulación son las raíces jóvenes (Steward y Sutcliffe, 1959), ambos estudios citados por Esau (1985). Atkinson y Wilson (1979) en un estudio sobre un portainjerto de cereza, encontraron que la absorción de P 32 era similar en raíces blancas y en raíces leñosas (expresado en unidades de superficie). Estos autores no especifican el diámetro de las raíces leñosas. Ambos tipos de raíces translocaron cantidades similares del material absorbido y absorbieron cantidades similares de agua. Según los mismos autores, en cultivos de árboles todas las raíces son aparentemente efectivas en cierta medida, en vez de solo las recientemente producidas.

Como ya fue indicado, tanto la absorción de agua como de nutrientes implican un gasto metabólico por parte de las células que participan de este proceso. Por esto es importante tener en cuenta los factores del ambiente del suelo que afectan la actividad metabólica, dentro de los cuales inciden sobre todo la temperatura y la aereación. Se puede suponer entonces, que el proceso de absorción se desarrolla en su mayoría en aquellas capas del suelo que presentan mayor espacio poroso y condiciones de temperatura más favorables.

e Almacenamiento

Las raíces reciben de la copa del árbol hidratos de carbono que son transportados con la sabia descendente. Durante la estación de crecimiento los hidratos de carbono son utilizados para satisfacer las necesidades energéticas de las raíces, y en parte son almacenados. Estas reservas son necesarias para el árbol para sus primeros desarrollos de invierno y primavera, aún antes de que comience la brotación de la parte aérea.

La cantidad de sustancias almacenadas varía con la estación, aumenta a medida que el follaje adquiere su plenitud y pasa por un máximo que se fija aproximadamente en la época de la caída de hojas. Las reservas empiezan a disminuir antes de finales de diciembre (H.N.) donde hay un parcial e invisible renacimiento del árbol a la vegetación y comienza la emisión de raicillas (Zaporta, 1964 ; Coutanceau, 1965).

Zaporta (1964) basándose en los estudios de Beackbane y Thompson, menciona que las raíces con una mayor cantidad de células vivas tienen una mayor capacidad de almacenar sustancias de reserva. El porcentaje de células vivas y de células muertas es una característica que varía con el tipo de portainjerto.

D. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DEL LUGAR DEL ENSAYO

El conocimiento de las condiciones ambientales del suelo a lo largo de la estación de crecimiento, puede aportar elementos para explicar la forma en que se desarrolla el sistema radical de un portainjerto, y para predecir como se va a comportar en un determinado suelo. Para conocer las condiciones bajo las cuales se desarrollan las raíces, lo más preciso sería medir la magnitud de los factores que determinan el ambiente del suelo a lo largo de la estación de crecimiento. Lamentablemente esta información no está disponible, y no está al alcance de este trabajo llevar a cabo este tipo de medidas. Por esta razón, la labor se limitó a determinar la magnitud de las características del suelo con una importante influencia sobre algunos de los factores que inciden en el crecimiento de las raíces. Entre los factores más importantes se encuentran disponibilidad de agua y la disponibilidad de aire. En el caso de la disponibilidad de agua, no se estimó la cantidad de agua que podría haber sido absorbida por las raíces, sino la capacidad del suelo de almacenarla y de cederla. En el caso de la disponibilidad de aire, se estudió la macroporosidad del suelo.

1. Disponibilidad del agua del suelo

a Generalidades

En los cultivos totalmente dependientes de las precipitaciones, como en el caso estudiado, la capacidad de los suelos de retener agua es un aspecto importante dado que debe ser lo suficientemente grande como para enfrentar a las demandas (Unger, 1975)

También es importante el nivel de energía con la cual es retenida el agua del suelo. A medida que el suelo se va desecando el agua es mas fuertemente atraída por las partículas, lo cual hace que a las plantas les sea más difícil absorberla.

Un volumen de suelo esta formado por una parte sólida y un espacio poroso. El espacio poroso esta ocupado por aire y por agua en una relación que va a depender del contenido de humedad del suelo. Cuando la totalidad de los poros del suelo se encuentran llenos de agua, se considera que el suelo esta saturado. Si las condiciones que rodean al suelo lo permiten, se irá perdiendo en primer término el agua que el suelo no es capaz de retener en contra de la gravedad (agua gravitacional). Después de transcurrido un determinado tiempo la tasa de pérdida del agua se hace tan baja que se considera que el contenido de agua es prácticamente estable (Baber et al, 1973). En este punto el suelo se encuentra a capacidad de campo. El potencial de succión que ejerce el suelo sobre el agua, se encuentra ente 0.1 y 0.33 bar (Duran, 1992). Según Silva et al (1988) desde hace un tiempo a esta parte en el Uruguay se trabaja con potenciales de 0.1 bar para determinar la capacidad de campo.

A medida que las plantas absorben agua del suelo, ellas pierden la mayor parte de la misma por evapotranspiración. Si el volumen de suelo es limitado y no recibe aportes de agua, el suelo se irá secando gradualmente. Llega un momento en el cual el agua esta tan fuertemente retenida, que la tasa de pasaje de agua del suelo a la planta no es suficiente como para que ésta se recupere. Llegado a este punto, la planta permanece marchita. Una medida de la tensión de matriz del suelo arrojaría un valor cercano a los 15 bar para la mayoría de las plantas. El contenido de humedad del suelo en este estado se denomina coeficiente de marchitez permanente (Duran, 1992).

El nivel de energía con el cual es retenida el agua determina la forma en que ésta puede ser aprovechada por las plantas. El agua gravitacional es de poco valor, ya que disminuye la aireación y con ello la absorción de nutrientes y de agua. El agua retenida en el suelo entre su capacidad de campo (0.1 – 0.3 bar) y el coeficiente de marchitez permanente (15 bar) se considera utilizable por las plantas y como tal es el agua disponible. El agua retenida a tensiones mayores de 15 bar se define como no disponible para la mayoría de las plantas. Pero no toda el agua disponible es utilizada con la misma facilidad, pues en la medida que disminuye el contenido de agua, aumenta la fuerza con la cual es retenida. En general, el óptimo crecimiento de las plantas tiene lugar cuando el contenido de humedad del suelo se mantiene próximo a su capacidad de campo, con una tensión de matriz de 1 bar o menos (Duran, 1992). Para tener una aproximación de la cantidad de agua que un determinado suelo es capaz de ceder fácilmente las plantas, se elaboró el concepto de agua

fácilmente disponible. Se define como el agua retenida por el suelo entre la capacidad de campo (0.1 – 0.33 bar) y 1 bar (Olano, 1993).

b Forma de estimación

Para conocer el contenido de agua que es capaz de retener un suelo a distintos valores de tensión de matriz, se usan en el laboratorio los extractores de presión. Dependiendo del rango de tensión con el cual se trabaja, se utilizan aparatos distintos. Para rangos entre 0 y 1 bar se usan platos de tensión y para valores mayores a 1 bar se usan membranas de presión.

Cuando se trabaja con potenciales ~~de succión~~ elevados la extracción de agua puede resultar dificultosa, por lo que la ~~determinación de~~ ~~coeficiente~~ de marchitez permanente se puede hacer de otra manera. Para fines que no requieren una gran exactitud se puede utilizar la relación que existe entre la cantidad de agua volumétrica a una tensión de 0.1 bar y la cantidad de agua a 15 bar (Duran, 1992). Duran y Hofstadter (citados por Silva et al, 1988) trabajando con suelos del Uruguay hallaron un valor de 1.8 como cociente entre CC y PMP. Silva et al (1988) encontraron un valor de 1.77 como cociente entre CC y PMP, el cual los autores consideran que confirma la validez de lo anterior ya que se incluyó un número mayor de muestras y un rango más amplio de texturas.

2. Porosidad del suelo

a Generalidades

Como se mencionó anteriormente, el volumen de una muestra imperturbada está compuesto por el espacio que ocupan las partículas sólidas que forman el suelo y por el espacio poroso. Dentro de la porosidad total del suelo, los poros grandes (macroporosidad) son de particular importancia pues son los que contribuyen a la aireación. La información sobre la macroporosidad de un suelo puede dar un panorama general en cuanto a la disponibilidad de oxígeno por parte de las raíces, pero no es suficiente para describir la cantidad real de éste en las distintas profundidades del suelo. Lo que determina la cantidad de oxígeno sobre la superficie de las raíces es la tasa de difusión, la cual además de estar determinada por la macroporosidad, es afectada por la profundidad y por la cantidad de poros que se encuentran ocupados por agua. Esto último está afectado por las precipitaciones y por la capacidad de drenaje del suelo.

Por otra parte la cantidad de oxígeno en el suelo además de variar con la profundidad varía durante las estaciones del año. En la primavera y en el otoño se observa una disminución, la cual se atribuye en su mayoría a la actividad de los microorganismos del suelo (Baber et al, 1973).

b Estimación de la porosidad del suelo

La porosidad total del suelo se puede estimar con los datos de densidad real y densidad aparente. La densidad real es la relación que hay entre el peso de las partículas sólidas y el volumen que ocupan (Baber. et al 1973). Para fines en los cuales no se requiere mucha precisión se puede utilizar un valor promedio obtenido en suelos de similares características (Com. per. Alfredo Silva) La densidad aparente se determina pesando un volumen de suelo dado en su estructura natural. El peso hallado en dicho volumen representa al peso del suelo y del espacio poroso, pero como sólo las partículas sólidas contribuyen al peso, se puede calcular el espacio poroso total con la siguiente fórmula:

Porcentaje del espacio de poros = $1 - \text{densidad aparente} / \text{densidad real} * 100$
(Baber et al, 1973)

Los macroporos representan al espacio poroso que es ocupado por el aire, una vez que se ha perdido el agua gravitacional. En este punto el suelo se considera que se encuentra a capacidad de campo. La cantidad de agua que es retenida a capacidad de campo se puede estimar en laboratorio, simulando mediante presión la fuerza que provoca el drenaje. El espacio correspondiente a los macroporos se puede determinar entonces midiendo la cantidad de agua que se encuentra entre el estado de suelo saturado y suelo a capacidad de campo (Duran. A. 1992) En este caso, como se sospecha que el suelo no se logró saturar completamente, se calcula la macroporosidad como la diferencia entre la porosidad total y el resto del espacio poroso, el cual corresponde a los microporos.

E. MATERIALES Y METODOS

1. Introducción

A continuación se mencionarán brevemente los métodos que se utilizan en el estudio de las raíces, haciendo hincapié en las metodologías que se consideran más adecuadas para los fines planteados en éste trabajo, y que en cuanto a su implementación, estén al alcance de éste tipo de emprendimiento. No sólo es interesante analizar la metodología en sí misma sino también la forma cómo es llevada a la práctica en los distintos estudios. Con respecto a esto se analizarán más adelante aspectos tales como el número de repeticiones que se considera necesario, diseño del trabajo de campo y la forma cómo son estudiadas las raíces.

2. Metodología utilizada en el estudio de las raíces de los árboles

Russel (1977) realizó una revisión sobre los métodos utilizados para describir la distribución de las raíces. Se plantea como objetivo que su revisión provea elementos para la elección del método más adecuado en las distintas circunstancias.

Dicho autor plantea como la forma más adecuada para abordar un tema, comenzar por una inspección visual. Se examinan las raíces excavando terrones, si éstas son superficiales, o a través de una zanja que permita examinar el perfil. Aparte de brindar información sobre posibles restricciones, puede brindar alguna indicación sobre la escala que sea necesario muestrear para los siguientes estudios cuantitativos. Por ejemplo, si las raíces son escasas o desuniformes, serán necesarios más muestreos que si son abundantes y de distribución uniforme.

Atkinson (1980) en una revisión sobre metodologías de estudio del sistema radical de los árboles, plantea agrupar las distintas técnicas de la siguiente manera:

a Excavación

El proceso comienza por la excavación de una trinchera mas allá del sistema radical. A partir de esta zanja se remueve la tierra por capas a través de toda la extensión de suelo hasta donde llegan las raíces. Cuando se termina la primera capa se sigue con la segunda y así sucesivamente hasta completar la profundidad deseada. El suelo es removido suavemente en pequeños trozos a partir del corte del suelo que se hizo con la zanja. Una vez que las raíces quedan descubiertas, se marca su posición con la finalidad de poder reconstruir al sistema radical sobre un plano.

Este método plantea una serie de ventajas e inconvenientes. Es el único método con el cual se obtiene un panorama claro del sistema radical completo de una planta creciendo en condiciones de campo. Permite registrar características como longitud, volumen, área de superficie, forma, color y distribución tridimensional tanto de raíces individuales como del sistema radical en general. Debido al escaso número de las raíces relativamente grandes (mayores a 5 mm) es el único modo exacto de estimar su peso o su distribución. El problema con este tipo de método es que se requiere una gran cantidad de trabajo y de tiempo, lo cual puede dificultar el estudio de la cantidad necesaria de ejemplares como para obtener una muestra representativa de la población. Otro inconveniente puede ser la pérdida de raíces finas en el proceso de excavación. A pesar del esfuerzo que involucra este tipo de trabajo se han realizado una importante cantidad de excavaciones. El mismo autor cita un trabajo de Rogers (1935) donde describe la excavación de 177 sistemas radicales. Martínez Zaporta (1964), en un análisis sobre las raíces de los árboles, presenta una serie de planimetrías obtenidas a partir de sistemas radicales excavados, en las cuales figura Rogers, G. Bini y P. Pichi, y otros trabajos realizados por G. Bargioni. Dentro del escaso material disponible sobre estudios de raíces que pudo ser recopilado, se encontraron cuatro trabajos donde se empleaba esta metodología: Bargioni et al (1985), Mitov et al (1991), Massai et al (1993) y Hidalgo et al (1969)

Dentro del método de excavación hay otras variantes en las cuales a diferencia de la metodología expuesta arriba, el sistema radical no se deja mas o menos intacto, sino que se divide en regiones predeterminadas con la finalidad de facilitar la medición de las raíces.

Por ejemplo dentro de estas variantes se encuentra la metodología descrita por (Riberau – Gayon et al 1986) donde se extraen capas de suelo de un determinado espesor y luego se separan las raíces de la tierra y se pesan. En un trabajo de éste tipo solo se tiene información de la distribución de las raíces en el sentido horizontal. El inconveniente que puede tener es que para una superficie estudiada, se promedia el valor de raíces encontradas dentro de una capa de suelo, sin tener en cuenta que dentro de dicha capa la densidad de raíces puede variar en el sentido horizontal en la medida que la zona en cuestión se encuentre más cerca o más lejos del árbol. Algo parecido a esto se hace en el trabajo de De Lucca et al (1995), donde si bien no se menciona la metodología empleada, en los resultados se presentan cantidades de raíces en relación a un volumen de suelo ubicado a una determinada profundidad. Otra variante de la excavación descrita por Atkinson (1980) es que en vez de remover toda una capa de suelo, se avanza abarcando un determinado volumen (este autor propone 125 litros). Una vez que se remueve el suelo de dicho volumen y que las raíces quedan descubiertas, se extraen de esa zona para ser medidas y pesadas. Esta misma metodología es utilizada por Valenzuela et al (1990), donde el volumen de suelo ocupado por las raíces se divide en dos capas de 40 cm de profundidad. Cada capa se divide en 36 prismas de suelo de 30 por 30 cm de lado y 40 de profundidad.

En los trabajos de Huidobro et al (1985) y de Mata Beltrán citado por Calderón (1983), si bien no se detalla la forma en que fueron estudiadas las raíces, puede suponerse la forma de trabajo utilizada en base a los diagramas que presentan. Se excavó una zanja a la altura del tronco del ejemplar estudiado y se extrajo una capa de suelo dispuesta en sentido vertical. De esta forma se obtuvo información de la distribución de las raíces en sentido vertical y horizontal para una zona del sistema radical.

b Método de la trinchera

Se expone un perfil de suelo utilizando maquinaria o a mano, luego de esto, se remueve cuidadosamente una delgada capa de suelo para que las raíces presentes en el perfil queden expuestas. La ubicación de las raíces se registra con la ayuda de una cuadrícula con la finalidad de poder reproducir su ubicación sobre un diagrama de distribución (Atkinson, 1980). En dicho diagrama cada raíz se representa por un punto. Cuando se utiliza este método en frutales o en otros árboles, la ubicación de la trinchera es de vital importancia. La distribución de las raíces difiere con la variación de la distancia al tronco y en función de que dicha variación sea entre las filas de árboles o entre dos árboles de la misma fila, (Atkinson and White (1980) y Gurung (1979); ambos citados por el mismo autor). De esta forma la ubicación de la trinchera va a influenciar en la densidad de las raíces que se registre y si el tratamiento que está siendo comparado afecta la distribución horizontal, va a interaccionar con el cálculo del efecto del tratamiento (Atkinson, 1980)

La trinchera es una metodología que ha sido utilizada por numerosos investigadores. El mismo autor cita como ejemplo los trabajos de Oskamp y Batjer (1932) y los trabajos de Atkinson y White (1980).

c Muestreos de suelo

Hay varios métodos que pese a diferir entre sí, tienen en común el hecho de que analizan solo una parte del volumen del suelo ocupado por las raíces para estimar la performance del sistema radical en su totalidad. Estos incluyen monolitos, muestras cilíndricas de suelo, perfiles, excavaciones parciales y otras variantes.

1. *Monolitos* Este método ha sido poco utilizado en el estudio de árboles, quizás porque si bien brinda una completa presentación visual, esta es de solo una parte del sistema radical por lo que su valor puede ser limitado (Atkinson, 1980).

2. *Cilindros de suelo* El método consiste en introducir en la tierra un cilindro de acero, y luego removerlo junto con la muestra de suelo. En general se utilizan tubos de 5 cm o más de diámetro (Russel, 1977). En un estudio con cilindros de suelo realizado por Atkinson (1974 a) en árboles de manzana "Fortune" sobre M9, se tomaron 100 muestras cerca del tronco de un bajo número de ejemplares. Se obtuvo un error standard del 10 % para el promedio de raíces de menos de 1mm. Cuando se toma un número similar de muestras a partir de un gran número de árboles aparentemente iguales, a una mayor distancia del tronco, o se evalúan raíces de mayor diámetro, se tiene una variación tan grande que rara vez se logra un significado estadístico. El mismo autor cita diversos trabajos realizados sobre distintas especies de árboles. En algunos casos la variabilidad entre las muestras es tan grande que se hace imposible establecer diferencias ente las distintas zonas en sentido horizontal o vertical. En cambio en otros, la variabilidad es baja, y sí es posible establecer diferencias. Según Russel (1977) la magnitud de los errores asociados a éste procedimiento depende del número de cilindros de suelo y de lo heterogéneas que sean las condiciones del suelo.

A pesar de los problemas mencionados, el muestreo con cilindros de suelo ha sido utilizado con frecuencia en estudios de frutales y otros árboles, posiblemente porque permite una comparación relativamente rápida de posiciones y tratamientos, sin los disturbios causados por la excavación (Atkinson, 1980). Russel (1977) propone este método como forma de estudiar la distribución de las raíces en sentido horizontal. Por otro lado considera que éste es el método más práctico a nivel de gran escala en campos experimentales.

Dentro de la bibliografía analizada, en general este tipo de método es utilizado para estudiar la distribución de las raíces en sentido vertical en un determinado punto del sistema radical, o para comparar árboles sometidos a distintos tratamientos. Los primeros tres casos que se mencionan a continuación se tratan de trabajos sobre cítricos. En el trabajo de Cahoon et al (1964), se comparan distintos tratamientos mediante un análisis de la distribución de las raíces en sentido vertical a través de muestras tomadas siempre a la misma distancia al tronco. En el trabajo de Ford (1959) y en el de Patt (1966) se estudia la variación de la densidad radical en sentido vertical, donde en el primer caso se muestrean dos puntos en cada ejemplar, y en el segundo caso se muestrean 3 puntos ubicados alrededor del tronco. Franco et al (1997), trabajando con árboles de duraznero, utilizan el método de los cilindros y el de minirhizotrones para estimar la distribución de las raíces en sentido horizontal y

vertical. Con este fin toman una serie de muestras ubicadas en una línea perpendicular al sentido de la fila de árboles.

3. *Excavaciones parciales.* En algunos trabajos se han realizado excavaciones parciales a manera de muestreo. El problema con éste tipo de metodología es que pueden haber árboles donde la mayoría de las raíces se encuentren desuniformemente distribuidas (Rogers y Vyvyan, 1934 y Atkinson, 1973a; ambos trabajos realizados sobre árboles de manzana) En casos extremos, la mayoría del sistema radical podía ser encontrado en una mitad del suelo; de este modo la excavación de solo un segmento puede dar resultados engañosos, salvo que la repetición sea buena (Atkinson, 1980).

3. Métodos de observación

Cuando se quiere estudiar el desarrollo de las raíces y períodos de crecimiento, es más adecuado utilizar métodos distintos a los de excavación. Probablemente la forma más adecuada de estudiar el crecimiento de las raíces sea a través de ventanas de observación instaladas en el suelo (Atkinson, 1980). Con sus distintas variantes, éste método consiste básicamente en la instalación de una superficie de vidrio en el suelo, de forma que el plano de la ventana queda enfrentado al sistema radical que se quiere estudiar; un ejemplo de esto puede ser el trabajo de Ibacache et al (1995).

Williamson et al (1989) plantea en su trabajo una variante de este sistema. En este caso se plantan árboles jóvenes dentro de cajas donde una o más de sus paredes son de un material transparente. Otra variante del método es el uso de lo que se denominó minirhizotrones, los cuales consisten en tubos transparentes instalados en el suelo del monte de árboles. El crecimiento de las raíces contra la superficie del tubo se observa con una fibra óptica o mediante algún otro tipo de dispositivo.

Este método, en la mayoría de los trabajos revisados, es utilizado para estudiar el crecimiento estacional de las raíces. Pero no siempre es así, en el trabajo de Franco et al (1997) es comparado con el método de los cilindros de suelo con la intención de extender su uso a la determinación de la distribución de las raíces.

4. Actividad de las raíces

Según Atkinson (1980) la determinación de la actividad de las raíces o de la actividad potencial, es el objetivo más frecuente de los estudios de raíces. El problema en la determinación de la actividad de las raíces es que la ausencia de actividad en un tiempo o lugar dado, puede ser debido o bien a una ausencia de raíces o a condiciones que eviten su funcionamiento.

a Marcadores radicales

La actividad de las raíces ha sido medida sobre todo mediante el uso de trazadores radioactivos, generalmente P^{32} . Los trazadores se inyectan en el suelo en un determinado número de lugares que son fijados geométricamente (distancia, posición y profundidad) respecto al árbol. Para comparar las diferencias en la actividad de las raíces que pudieran haber en las distintas zonas del sistema radical, se coloca el trazador en un determinado punto por árbol. Luego se compara en cuales de los tratamientos se absorbió más cantidad del trazador. Las mediciones se realizan generalmente en las hojas, o en algún otro órgano que se halla preestablecido, y hacia el cual puede ser translocado el marcador absorbido en las raíces.

Los resultados obtenidos con este método son variables, por un lado se citan varios autores que pudieron utilizar el método exitosamente en cultivos como citrus, cocotero, cacao, café y árboles del caucho. En cambio en árboles de manzana, se cita otra serie de autores donde no siempre obtuvieron buenos resultados, principalmente debido a una alta variabilidad entre las repeticiones.

A la hora de utilizar esta metodología se tienen que tener en cuenta ciertos factores. Los patrones de translocación de las raíces a los brotes varían claramente durante la estación, por lo que para utilizar ésta técnica, primero se tiene que estandarizar un órgano de la planta en particular para evaluar o entender los cambios en la translocación. Nethsinghe (1970), citado por Atkinson (1980), encontró interacciones estadísticamente significativas entre el tipo de hoja y la posición de las raíces, en árboles de cacao y citrus, aunque los efectos de esas interacciones eran relativamente pequeños comparados con los resultados en cuanto a lugar de emplazamiento del trazador y tiempo.

El uso de trazadores radioactivos ubicados en distintos puntos es probablemente el método más conveniente para calcular directamente la actividad de las raíces pertenecientes a distintas zonas. Pero éste método, como cualquier otro donde se realice un muestreo, está limitado por las variaciones entre las muestras Atkinson (1980).

b Tasa de secado del suelo

La actividad de las raíces también puede ser determinada midiendo la tasa de secado de las distintas zonas del suelo ocupadas por el sistema radical. Cuando se utiliza ésta metodología se asume que entre las distintas zonas del perfil no hay una gran variación en la conductividad hidráulica del suelo, y que la resistencia axial al pasaje de agua a través de las raíces es baja, de manera que las raíces cercanas al tronco no están favorecidas (Atkinson, 1980). Chaoon y Stolzy (1959), citados por el mismo autor, encontraron buenos acuerdos ente el desecamiento del agua y la densidad de raíces en citrus, al igual que Atkinson (1978) en manzana.

5. Aplicación de las metodologías de estudio

a Número de repeticiones utilizadas

El número de ejemplares que es necesario estudiar depende de la variación que se está dispuesto a tolerar. La variación probablemente dependa de lo uniforme que sean las condiciones del suelo y de lo uniforme que sea el material vegetal.

A priori es difícil definir un determinado número de repeticiones como las necesarias para cubrir la posible variación que haya en la población. Quizás la forma de determinar el número de ejemplares necesarios sea acumulando información hasta llegar a un nivel tolerable de representabilidad. De cualquier manera, es posible que el análisis de otros trabajos sirvan para lograr una idea aproximada.

En el trabajo de Massai et al (1993), se examinan dos árboles por tratamiento mediante el método de la excavación total. Los tratamientos consisten en el estudio del cultivar de duraznero Vega injertado sobre el portainjerto Missouri y el clon Mr.S.2/5. Se plantaron en una zona cercana a Verona en un suelo rico en grava. Bargioni et al (1985) en un estudio sobre el portainjerto GF 655/2 para duraznero realiza la excavación total de cuatro ejemplares vecinos. Se menciona que los árboles se desarrollaron sobre un suelo delgado (45 – 55 cm de espesor) y muy rocoso. En el estudio de Mitov et al (1991), solo se estudia un ejemplar por tratamiento a través del método de la excavación total. Los distintos tratamientos consisten en la variedad Red Haven injertada sobre distintos portainjertos. Se utilizan 2 portainjertos clonales y 2 variedades locales. En cuanto a las condiciones del suelo solo se menciona que se trata de terreno típico para el cultivo del duraznero.

b Diseño del trabajo de campo

Dentro de éste punto es interesante analizar aspectos tales como la definición del volumen de tierra que se considera necesario abarcar, así como las partes en que se subdivide.

En los métodos de excavación total, en general se plantea remover todo el suelo necesario como para abarcar la totalidad del sistema radical, como en el caso de Hidalgo et al (1969). En el trabajo de Mitov et al (1991), no menciona que se hubiera establecido de antemano abarcar la totalidad de las raíces, pero de hecho, en base a las planimetrías que se presentan se puede apreciar que en el sentido horizontal todas las raíces quedan dentro de la zona excavada. En el sentido vertical se planteó alcanzar un metro de profundidad. Dicha profundidad sólo fue superada por un bajo porcentaje de las raíces mayores a 3 mm de diámetro. Bargioni et al (1985), en base a las planimetrías que presentan, se observa que realizan una excavación total del sistema radical. Huidobro et al (1985), realizaron un estudio sobre distintos frutales de carozo plantados a 0.75 m entre plantas y 3.0 m entre las filas. Analizan las raíces comprendidas dentro de una profundidad de 80 cm y una distancia a partir del tronco de 120 cm en sentido hacia la entrefila.

En otro tipo de excavaciones, se divide el volumen de tierra que se proyecta estudiar con la finalidad de facilitar la medición del peso y el largo de las raíces. En éste tipo de trabajo se pierde la forma general del sistema radical, donde cada una de las subdivisiones deja de ser una representación gráfica como en el caso de las excavaciones totales, y pasa a ser un dato numérico que cuantifica una cantidad de raíces en relación a un determinado volumen de suelo. Por esta razón el número en que se subdivide el volumen total va a determinar lo detallada que sea la información que se obtenga. En el trabajo de Valenzuela et al (1990) sobre el sistema radical del kiwi, el volumen de suelo se dividió en dos estratos de 40 cm de profundidad. A su vez cada estrato se dividió en 36 bloques de 30 x 30 cm de lado y 40 cm de profundidad, dispuestos en cuatro hileras de ocho bloques. En el trabajo de Mata Beltrán citado por Calderón (1983), aparentemente se analiza una tajada de suelo dispuesta en sentido vertical y que se encuentra ubicada a la altura del tronco. Dicho volumen es dividido en prismas de 10 cm de profundidad por 50 cm de largo y de un espesor en sentido horizontal desconocido. Lo mencionado corresponde a la primera capa de suelo. En las capas siguientes los espesores son de 20 cm de profundidad. La misma metodología es utilizada en el estudio de Huidobro et al (1985), pero en este caso se utilizan bloques de 15 cm de profundidad, 45 de largo y de un espesor en sentido horizontal desconocido.

c Análisis de las raíces

Los trabajos que se presentan a continuación brindan información sobre la forma en que son estudiadas las raíces, una vez que son separadas de la tierra. Únicamente se analiza información aplicable al trabajo de tesis proyectado, o sea un trabajo en donde se divide en bloques el volumen de suelo ocupado por las raíces. Tal como se explicaba mas arriba, en este tipo de trabajo la distribución de las raíces es representada por un dato numérico. En este caso, lo detallada que sea la información dependerá de la forma en que se describe al conjunto de las raíces hallado en cada volumen de suelo. Una forma de diferenciar las raíces que componen al sistema radical es estableciendo rangos de diámetro que agrupen a los distintos espesores de las raíces encontradas.

Al analizar distintos trabajos se puede observar que la forma en que son clasificadas las raíces tiene ciertas variaciones, las cuales dependen de los objetivos planteados.

Si el trabajo es puramente descriptivo, la forma como se establecen las clases esta sujeta a que todas las raíces del sistema radical queden bien representadas por dichas clases y a razones de orden práctico. En otros trabajos además de describir la masa de raíces se busca asociar algún tipo de característica fisiológica a los distintos diámetros de raíz. Esto último coincide con los objetivos planteados en este trabajo de tesis, por lo que serán tenidos en cuenta todos los criterios que permitan realizar una buena descripción y definir las características fisiológicas de los distintos tipos de raíz encontrados.

En el cuadro que se presenta a continuación se muestran las distintas maneras en que son clasificadas las raíces.

Cuadro N° 1: Formas de clasificación utilizadas en estudios sobre los sistemas radicales de varias especies.

Especie estudiada	Valores expresados en mm					Autores
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5	
1) Durazno	0 - 2	> 2				De Luca et al (1995)
2) Guindo, Damasco, Almendro	0 - 2	2 - 4	4 - 6	> 6		Huidobro et al (1985)
3) Kiwi	0 - 2	> 2				Valenzuela et al. (1990)
4) Cerezo	0 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	Oskamp 1932; citado por Trocme y Grass (1979)
5) Durazno	0 - 3	3 - 10	> 10			Mitov et al (1991)
6) Durazno	0 - 1	1 - 5	> 5			Massai et al (1993)
7) Citrus	0 - 1.5					Cahoon et al (1964)
8) Citrus	0 - 2					Ford (1959)
9) Citrus	0 - 1					Patt et al (1966)

En el caso de los trabajos sobre cítricos, si bien la finalidad no es describir la totalidad del sistema radical, son interesantes porque el tipo de raíz que se tiene en cuenta está relacionado con la nutrición. En el trabajo de Cahoon et al (1964), si bien no se menciona que el diámetro estudiado se considere el más relacionado a los aspectos de la nutrición y la absorción, cabe suponer que debe estar muy relacionado a estos aspectos dado que se está midiendo la respuesta de las raíces a distintos tratamientos de riego y de fertilización nitrogenada. En el trabajo de Ford (1959) se midió la influencia de un subsuelo arcilloso en la distribución de las raíces en profundidad para dos portainjertos distintos. En este caso solo se consideran los diámetros comprendidos entre 0 - 2 mm, donde estas raíces son definidas como las de nutrición. Patt et al (1966) tienen como objetivo determinar la aptitud de los distintos suelos para el cultivo de los cítricos; y plantea como método de trabajo estudiar la relación entre la densidad de raíces de 0 - 1 mm y el espacio poroso del suelo a capacidad de campo.

En los trabajos 1 y 3, las raíces son agrupadas en diámetros menores a 2 mm y en mayores a esta medida. En estos estudios se define la clase de 0 - 2 mm como el grupo de raíces más activas. A los diámetros mayores a 2 mm, De Lucca et al (1995) los utiliza para analizar que relaciones se establecen con las raíces absorbentes a distintas profundidades; en cambio, en el trabajo de Valenzuela et al (1990) los manejan como un parámetro de expansión radical.

En los trabajos 2, 5 y 6 se clasifican las raíces en distintos diámetros, pero únicamente con la finalidad de describir al sistema radical en las distintas zonas del suelo. En ningún momento se mencionan las posibles diferencias en cuanto a la función de los distintos diámetros de raíces.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. LUGAR DEL ENSAYO Y MANEJO

1. Generalidades

El trabajo de campo fue realizado durante la temporada de crecimiento del año 1999 – 2000. Se utilizaron árboles pertenecientes a la colección de cultivares de carozo instalada en la Estación Experimental INIA Las Brujas. Dicha estación se encuentra ubicada en la cuarta sección Judicial del departamento de Canelones. Los límites del predio están constituidos por el arroyo Las Brujas Grande en el NW, La Ruta 48 y un camino interior al SW, nuevamente la Ruta 48 hacia el SE y un camino vecinal al NE.

2. Clima

La información que se presenta a continuación tiene como objetivo caracterizar las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrollaron los árboles de duraznero estudiados. Dicha información surge del registro de datos climáticos llevado a cabo entre el año 1972 y el año 2000 a través de la estación meteorológica del INIA Las Brujas

Cuadro N° 2: Datos climáticos de la estación meteorológica del INIA Las Brujas

Mes	Temperatura del aire (° C)			Precipitaciones (mm)	Humedad Relativa (%)	Horas sol
	Medias	Máxima	Mínima			
Julio	10.0	14.6	5.8	62.1	82.1	4.9
Agosto	11.3	16.4	6.6	65.3	78.7	5.9
Septiembre	13.0	18.2	8.0	78.2	75.7	6.7
Octubre	15.9	21.2	10.7	95.7	74.3	7.7
Noviembre	18.4	23.8	12.8	90.8	71.8	9.1
Diciembre	21.4	27.1	15.3	68.9	69.1	9.9
Enero	23.0	28.9	17.0	92.0	69.9	10.1
Febrero	22.1	27.8	16.8	95.5	74.2	8.9
Marzo	20.4	26.0	15.4	84.0	76.4	8.0
Abril	17.0	22.3	12.3	84.3	79.4	6.5
Mayo	13.5	18.8	9.0	70.9	81.2	5.9
Junio	10.6	15.3	6.4	63.9	82.3	4.8

La información que se presenta, debido a que se trata del promedio de varios años, marca una tendencia general, pero no refleja el grado de uniformidad que hay entre los

distintos años. En lo que se refiere a las precipitaciones, hay años en los cuales durante la temporada de crecimiento se pueden presentar períodos de sequía de varias semanas e incluso de meses.

Cuadro N° 3: Cantidad de frío acumulado en la estación experimental INIA Las Brujas

	Promedio	Máximo histórico	Mínimo histórico
Horas de frío	557	906	311
Unidades de Frío	854	1075	323

3. Relieve y Suelo

El lugar donde se realizó el trabajo está ubicado en una ladera alta de forma suavemente convexa con una pendiente general de 2.7 %. En este sitio el suelo corresponde a un Brunosol Eutríco Típico según el sistema de clasificación de Altamirano et al 1976.

Los árboles que se emplearon en el trabajo se encontraban ubicados a lo largo de un camellón. En la figura número 7 se puede observar el espesor de los horizontes de suelo y la forma en que varía el espesor del horizonte superficial en la medida que disminuye la altura del camellón.

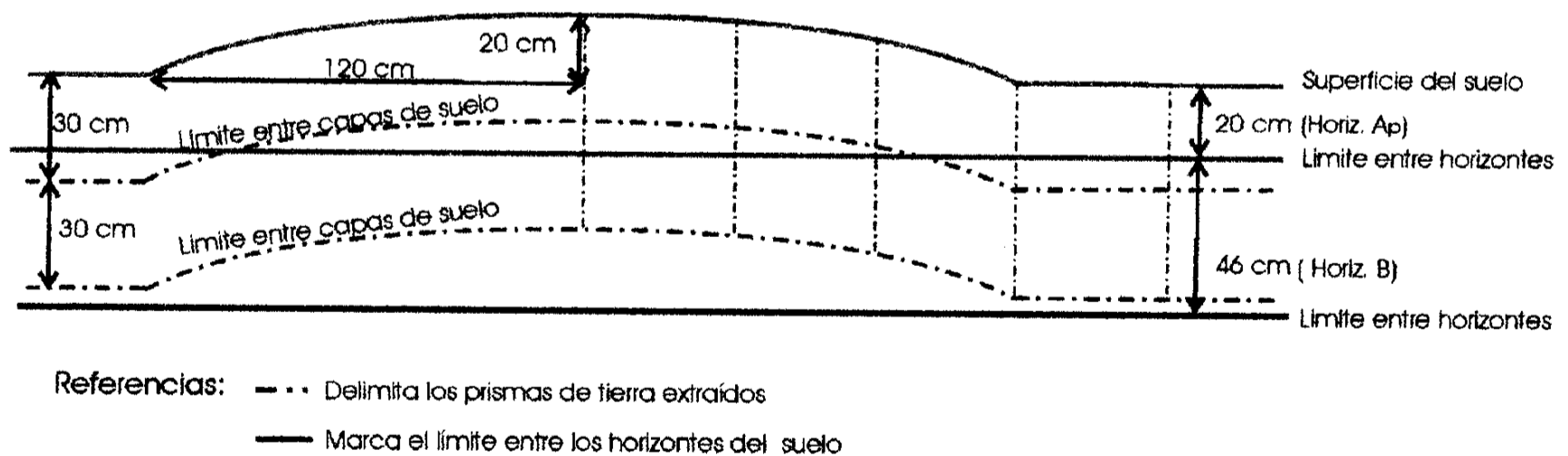


Figura N° 7: Corte del camellón, en donde se especifica el espesor de los horizontes de suelo y disposición de los prismas empleados en la excavación.

A continuación se presenta la descripción del perfil de suelo, la cual fue realizada a partir de una zanja ubicada en la entrefila (ver anexo figura 30)

Horizonte Ap: presenta un espesor de 20 cm. Es franco arcillo limoso con un color 10 YR 5/3, según la tabla de Munsell. Estructura en bloques angulares con aristas filosas de 2 – 3 cm, fuerte; plástico y pegajoso; transición clara.

Horizonte B21t: se encuentra entre los 20 y los 40 cm de profundidad, de textura arcillo limosa y color 10YR 2/1. Estructura en bloques angulares de 5 cm y en menor número bloques angulares de 3 cm, fuerte; plástico y pegajoso; transición gradual.

Horizonte B22t se encuentra entre los 40 y los 55 cm de profundidad, de textura arcillo limosa y un color 10 YR 3/2. Estructura en bloques angulares de 5 cm, aunque de caras mucho más redondeadas que en los horizontes superiores, fuerte; muy plástico y pegajoso. Presenta concreciones de Ca Co₃ en aproximadamente un 8 %, en su mayoría con un tamaño de 1 – 2 mm y algunas de 0.5 – 1.0 cm; duras y reactivas al ácido clorhídrico. Transición gradual.

Horizonte B3ca se encuentra entre los 55 y los 66 cm de profundidad, de textura arcillo limosa con un color 7.5 YR 7/3. Estructura en bloques angulares de 5 cm, moderadamente fuerte; muy plástico y pegajoso. Presencia de concreciones de carbonato de calcio. Transición clara a gradual

Horizonte Cca Aparece a partir de los 72 cm de profundidad. De textura arcillo limosa y color 7.5 YR 7/4

4. Manejo

Antes de ser implantada la colección de cultivares de carozo fue instalado un ensayo sobre conducción en manzanos y perales, el cual fue arrancado en la temporada 83 – 84. En Junio de año 86 se implantó la colección de variedades de carozo sobre portainjertos Pavía Moscatel. Se utilizaron plantas de 1 año de edad, o sea injertadas en Marzo del año 85 y que vegetaron en la estación de crecimiento 85 – 86 (Jorge Soria com. per.).

Las filas de árboles seguían una dirección que iba del SW hacia el NE y que, a la altura del ensayo, tenían una pendiente aproximada de 1.5 %. La distancia de plantación era de 3 m entre las plantas y 4 m entre las filas

Previo a la implantación se realizó una fertilización de fondo con hiperfosfato a una dosis de 1000 Kg. /Há. La fertilización a lo largo de la vida del monte consistió únicamente en aportes de nitrógeno en base a urea. Los aportes se realizaron de forma de mantener a las plantas con un buen estado nutricional. No debían ser mayores de lo necesario, pues de ser así los distintos cultivares se podrían diferenciar (en cuanto a su potencial) en función de su capacidad de responder frente a elevados aportes de nitrógeno (Jorge Soria com. per.). El monte estaba bajo un régimen de secano, donde los aportes de agua eran únicamente los recibidos por las lluvias

El manejo general del monte así como el manejo del suelo siguió como línea general utilizar las prácticas convencionales de la zona Sur del país. La fila de árboles estaba insta-

lada sobre un alomado que se mantuvo libre de vegetación. Durante los dos primeros años las malezas fueron controladas con Paraquat (herbicida desecante). En los siguientes años el control se realizó con Glifosfato (herbicida de contacto) y Simazina (herbicida preemergente). La entrefila fue manejada con siembras de abono verde (avena) donde el crecimiento vegetativo era controlado con sucesivos cortes a partir de la primavera.

El tratamiento fitosanitario recibido por los árboles fue lo convencional para un cultivo de durazneros en la zona Sur.

En cuanto al sistema de conducción, los árboles fueron manejados con el sistema de vaso Las Brujas o vaso moderno con tres líderes. Básicamente este sistema consta de tres líderes que se insertan en forma escalonada sobre un tronco de 40 – 60 cm, los cuales están orientados de manera de conformar un ángulo aproximado de 120° entre sí. La verticalidad de los líderes asegura una buena entrada de luz en la parte inferior de la copa y un crecimiento vegetativo equilibrado. La poda de producción consiste básicamente en lograr mediante el raleo de ramas del año un número y distribución adecuado de las mismas.

B. MATERIAL VEGETAL

Los durazneros estudiados estaban en su catorceava hoja en el momento en que se realizó el trabajo. La copa estaba formada por el cultivar “Flordaking”, el cual estaba injertado sobre el pie “Pavía Moscatel.”

Con el fin de proporcionar una idea en cuanto al estado general de los árboles se midieron los parámetros que aparecen en el siguiente cuadro y se tomaron varias fotografías (anexo, figuras 31 y 32)

Cuadro N° 4: Características de los árboles estudiados

Parámetros Medidos	Ejemplar N° 1	Ejemplar N° 2
Diámetro del tronco	11.8 cm	14.5 cm
Altura de la copa	3.5 m	3.2 m
Ancho de la copa	3.0 m	3.0 m

C. METODOLOGÍAS DE TRABAJO EMPLEADAS

1. Distribución del sistema radical

a Diseño utilizado

En primer termino se recorrió el monte para elegir los árboles que se juzgó que eran más característicos para las condiciones de cultivo de la zona Sur. Se eligieron cuatro ejemplares, de los cuales, solo se estudiaron dos.

De cada ejemplar se estudió la mitad del sistema radical debido a que se consideró que era una porción lo suficientemente grande como para abarcar las variaciones que pudieran presentarse en la distribución de las raíces. El hecho de estudiar solo la mitad del sistema radical en vez de abarcar su totalidad permitió plantearse el estudio de un mayor número árboles.

Luego se definió el volumen de suelo que tenía que ser analizado, de manera que quedara comprendido dentro de éste la mayor parte del sistema radical. En el sentido de la fila, el límite fue la distancia media entre el árbol bajo estudio y el árbol siguiente; haciendo el supuesto de que en este punto termina la zona de influencia de uno y empieza la del otro.

En el sentido de la entrefila se considero que la zona con una importante cantidad de raíces terminaba en la huella de pisada de la maquinaria. Aún así se decidió analizar esta zona con la finalidad de que no quedara ninguna parte del sistema radical sin estudiar, además se quería observar como era la incidencia de la compactación del suelo en el desarrollo de las raíces. Para determinar la profundidad de estudio se hizo una zanja ubicada al costado del volumen de suelo que iba a ser estudiado. Esta zanja permitió observar el perfil de suelo y sus raíces (ver anexo figura 33)

De esta forma quedaron definidas las dimensiones del volumen de suelo estudiado, el cual contaba con un largo de 3 m (en sentido paralelo a la línea de árboles), un ancho de 1,6 m (hacia la entrefila) y 0.6 m de profundidad.

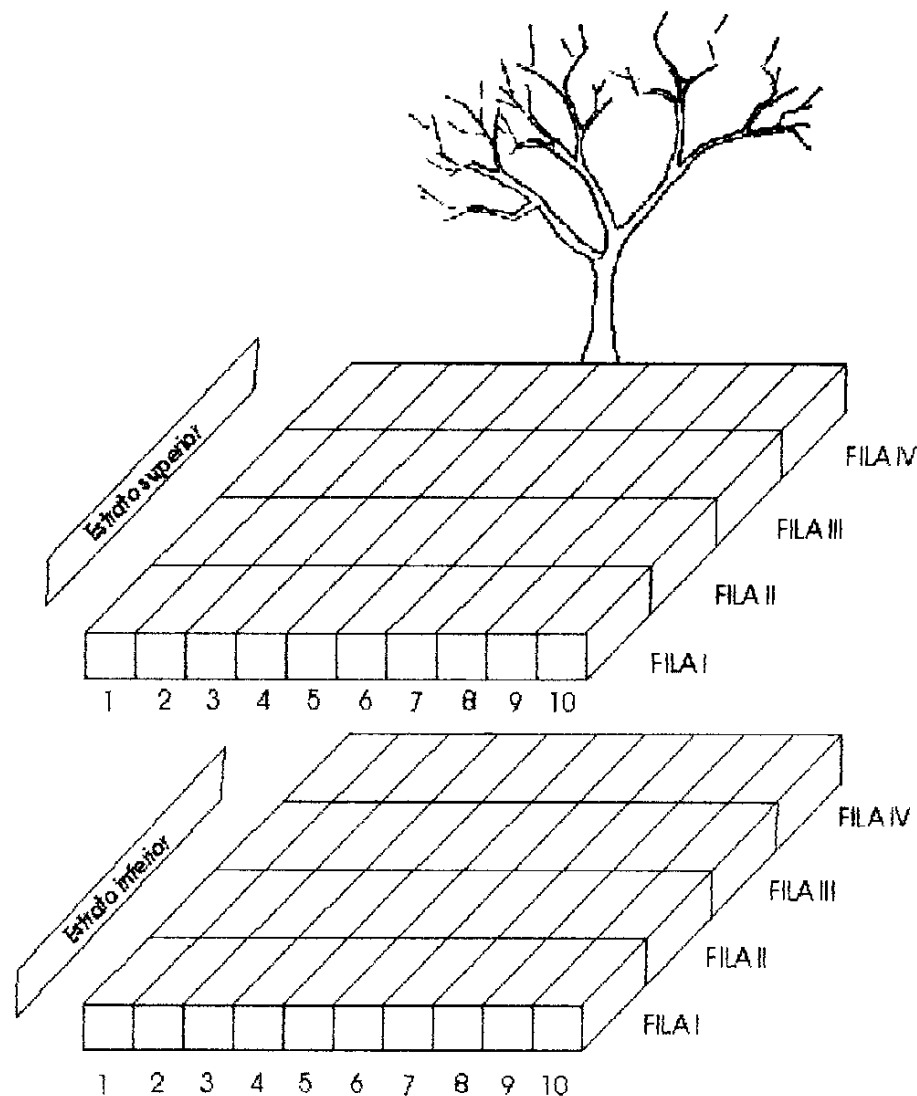


Figura N° 8: Disposición de los bloques de suelo estudiados.

El volumen de suelo se dividió en unidades más pequeñas que permitieran diferenciar las características del sistema radical en sus distintas zonas de influencia. En la elección del tamaño de la unidad de estudio se tuvieron en cuenta dos grandes componentes que se contraponen hasta cierto punto. Por un lado las unidades más pequeñas permiten un estudio más minucioso de las distintas partes del sistema radical, pero por otra parte, tienen que ser de un tamaño que sea práctico y fácil de manejar. Teniendo en cuenta estos factores y usando como apoyo la bibliografía disponible se determinaron las medidas de las unidades de estudio, las cuales quedaron conformadas por un bloque de 40 cm de largo por 30 cm de ancho por 30 cm de profundidad; siendo el largo el lado perpendicular al sentido de la fila.

La disposición de los bloques de suelo se ciñó al diseño que se ve en la figura 8. Se estableció un sistema de tres coordenadas que permitieran saber en que ubicación espacial se encontraban cada uno de los bloques en el momento en que fueron extraídos. El conjunto de prismas de suelo quedó organizado en dos capas, donde a la superior se la denominó estrato superior y a la inferior estrato inferior. Cada capa de suelo estaba integrada por 40 bloques dispuestos en 10 columnas de cuatro bloques cada una. A las filas se les asignaron números romanos que crecían desde la entrefila hacia la fila. La numeración de las columnas iba creciendo de izquierda a derecha en números arábigos.

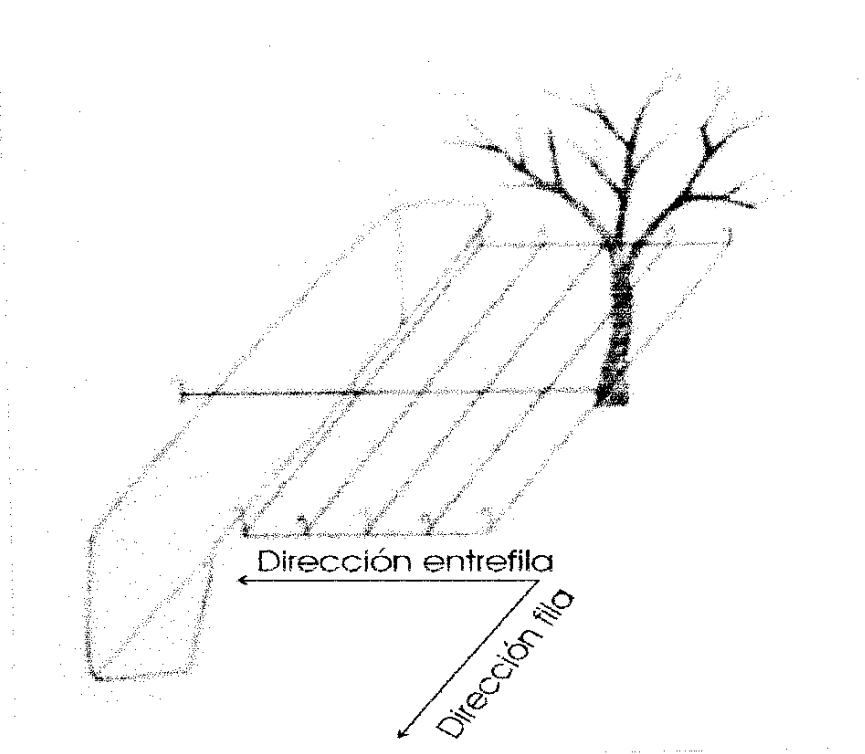


Figura 9 : Localización de la trinchera de inicio de la extracción de las muestras de suelo

La disposición de los bloques, en relación al camellón y a los horizontes de suelo se puede observar en la figura 7.

b Trabajo de campo

1 Extracción de los bloques de tierra

Se determinó el lado del árbol que se iba a estudiar y se marcó con hilos y estacas. Después se excavó una zanja que estaba ubicada en la entrefila y que corría paralela al volumen de tierra bajo estudio. La construcción de la zanja se hizo con la finalidad de facilitar la extracción de los bloques de suelo. Luego con un sistema de hilos y estacas se marcaron las distintas filas, y la línea media que dejaba 5 columnas hacia cada lado (figura 9).

Las dimensiones de los bloques fueron determinadas de la siguiente forma: en el sentido del largo eran delimitados por los hilos de las filas, el ancho fue medido en el momento, y la profundidad estaba dada por una marca en la lámina de la pala.

El procedimiento para extraer la tierra de cada bloque fue el siguiente: en primer término se marcó el límite del bloque con el filo de la pala, tratando de llegar a la profundidad buscada. Luego la tierra fue retirada en sucesivas paladas, siendo éstas de forma que no fueran ni demasiado finas (para no cortar mucho las raíces) ni tan gruesas que no permitieran un manejo práctico. Al mismo tiempo que se removió la tierra, se colocó en cajones de plástico. Una vez llenos, se sacaron del lugar de trabajo y se apilaron a un costado en forma ordenada. De esta forma se removieron uno tras otro los sucesivos bloques de tierra; empezando por la fila I y trabajando de izquierda a derecha. Así se continuó hasta completar la primera capa de suelo. Luego se continuó con la segunda capa de suelo siguiendo la misma metodología (ver anexo, figuras 33, 34, 35, 36 y 37)

2 Separación de tierra y raíces

Las raíces se separaron de la tierra mediante un proceso de lavado con un chorro de agua a presión. El agua fue conducida hasta el lugar de trabajo a través de caños de 2 pulgadas conectados a una canilla en la cabecera de la fila. En el extremo del último caño se colocó una reducción a un caño de $\frac{3}{4}$ de pulgada con la finalidad de poder dirigir con más facilidad el chorro de agua y de aumentar su presión.

Para optimizar el proceso de lavado se mojó bien la tierra de los cajones unas 48 horas antes de realizar el mismo. Con esto se perseguía que los terrones se fueran embebiendo de agua y se ablandaran.



Figura N° 10: Forma en que se llevó a cabo el lavado de las raíces.

El contenido de los cajones fue lavado sobre una estructura conformada por una malla sujeta a un bastidor. El bastidor consistía en un rectángulo de madera de 75 cm de ancho por 96 cm de largo por 15 cm de altura. La malla era de acero inoxidable con una apertura de trama de 3 mm.

Una vez separadas las raíces, fueron colocadas en bolsas de nylon junto con una etiqueta con la información de su ubicación en el sistema radical.

c Trabajo de laboratorio

El material colectado en el trabajo de campo se conservó en bolsas de nylon bien cerradas hasta que se obtuvieron la totalidad de las muestras. Esto fue importante para asegurar que todas las muestras conservaran el mismo contenido de humedad, a pesar de que transcurrieron varios días entre la extracción de las primeras y de las últimas. Este material fue conservado en un ambiente fresco y sombreado hasta el momento en el cual fue procesado en el laboratorio.

Luego se clasificaron las raíces por diámetro, se midieron y se pesaron. La clasificación de las raíces se realizó utilizando los siguientes rangos:

0 – 0.3 cm
0.3 – 0.5 cm
0.5 – 1.5 cm
1.5 – 3.0 cm
>3.0 cm

Para determinar la longitud de las raíces con diámetro menor a 0.3 cm, se midió en muestras representativas la relación entre el peso y la longitud. De ésta manera se pudo determinar el largo total de raíces que caía dentro de este grupo, solo con la información del peso. Los diámetros superiores a 0.3 cm se midieron directamente. Estos espesores también fueron pesados con el objetivo de contar con otra forma de cuantificar la cantidad de raíces y de permitir la comparación con trabajos donde fue utilizada esta forma de medida.

Una vez completada esta serie de medidas, las raíces fueron secadas en estufa durante dos días a una temperatura de 105 ° C con la intención de también contar en el dato del peso seco.

2. Aspecto del sistema radical

Para describir el aspecto que presentan las raíces se utilizaron dos procedimientos. En el primer caso lo que se hizo fue remover la tierra que estaba rodeando a una parte del sistema radical. Esto se realizó con la ayuda de un chorro de agua a presión (figuras 11 y 12). Mediante este procedimiento se puede observar con claridad la forma, color y disposición del conjunto de raíces. El segundo procedimiento consistió en dejar al descubierto las raíces de sistemas radicales que habían sido previamente arrancados. En este caso fueron utilizados ejemplares distintos a los empleados para describir la distribución de los distintos diámetros de las raíces. Este procedimiento permite observar con mas claridad aspectos de tipo estructural, como grosor de las principales raíces, así como ángulos de inserción en el tronco y grado de ramificación (ver anexo, figura 38)



Figura N° 11: Remoción de la tierra que rodea al sistema radical mediante un chorro de agua a presión.



Figura N° 12: Equipo utilizado para generar el chorro de agua a presión

Una vez que las raíces quedaron libres de tierra se registró la disposición que adoptaban las raíces en sentido horizontal y en sentido vertical mediante dos procedimientos distintos. En primer lugar se tomaron fotografías que mostraban al sistema radical desde un costado y desde abajo (figura 13). Luego se colocaron las raíces sobre un círculo de madera que estaba dividido en radios a intervalos de 10° entre sí.

Con la ayuda de éste dispositivo se midieron los ángulos que presentaban las raíces con respecto a la línea del horizonte (representada por el plano de la mesa) y la distribución de las raíces en sentido horizontal. Para esto último se midieron los ángulos que había entre una raíz y otra. (figura 14).



Figura N° 13: Forma en que se tomaron las fotografías de los sistemas radicales



Figura N° 14: Dispositivo utilizado para medir los ángulos de las raíces

También se registró la posición del tronco en el cual se insertaban las raíces más importantes, el diámetro con el cual contaban en el lugar de inserción y la variación del diá-

metro a lo largo de la raíz. Con la finalidad de cuantificar esto último se elaboró el parámetro $d1-d2$ / distancia, donde $d1$ es el diámetro de la raíz en el punto de inserción y $d2$ es el diámetro a una determinada distancia del punto de inserción.

3. Relación entre sistemas radicales contiguos

En primer término se definió la zona del suelo donde habría una interacción entre los sistemas radicales de los árboles bajo estudio. Se estableció que ésta zona se debía ubicar sobre el punto equidistante entre los 2 árboles. Luego se procedió a remover la tierra mediante un chorro de agua a presión, de manera de dejar al descubierto las raíces (ver figura 11).

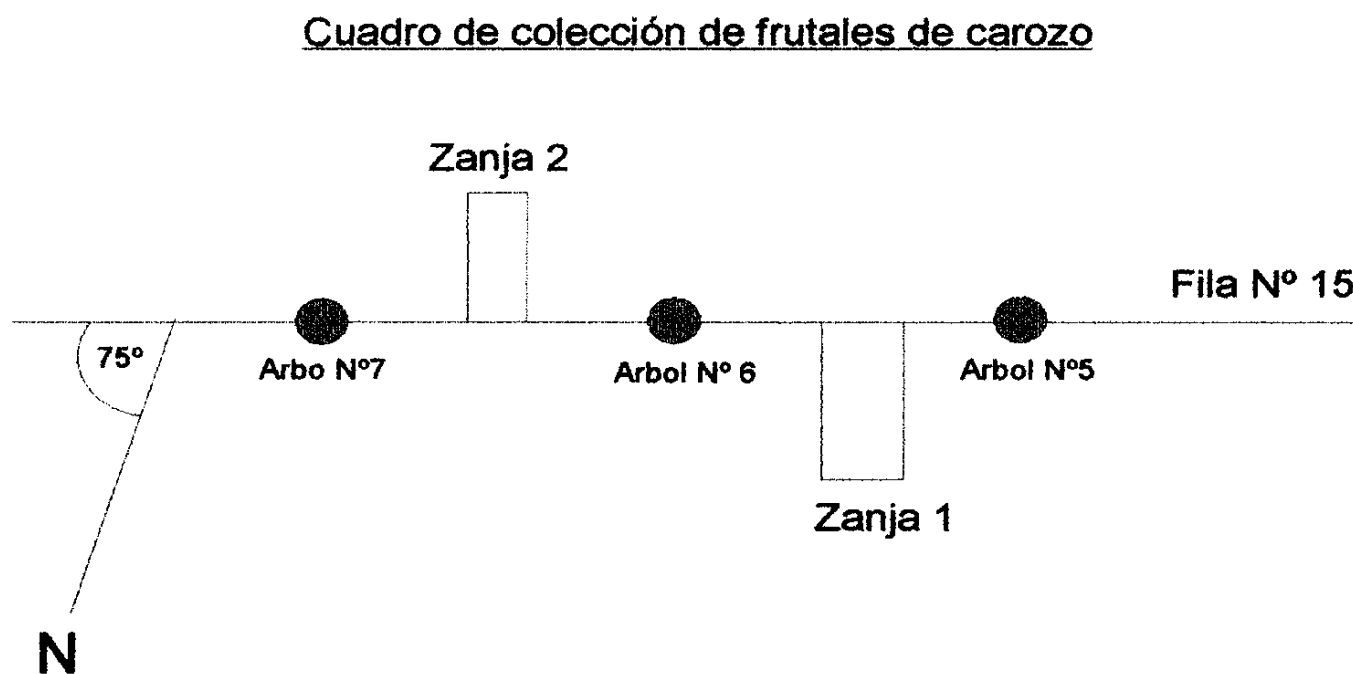


Figura Nº 15: Ubicación de las zonas de suelo estudiadas

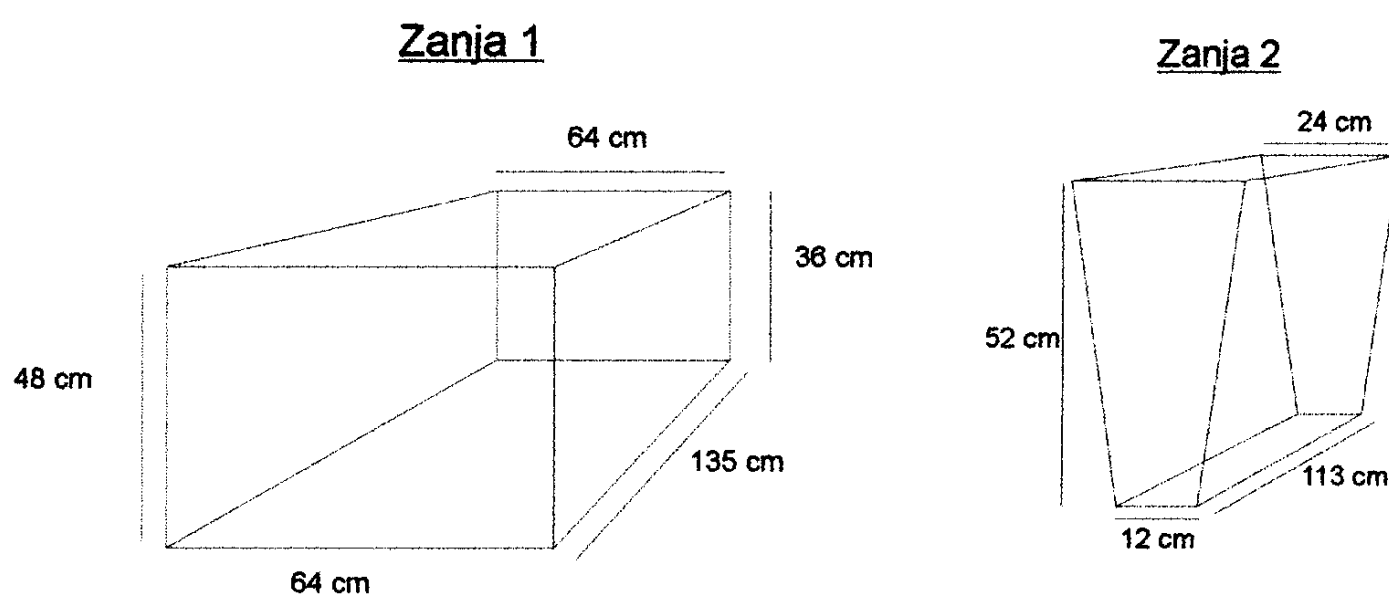


Figura Nº 16: Dimensiones de las trincheras realizadas.

Una vez que se removió la tierra se realizó una serie de operaciones con el objetivo de diferenciar las raíces de los distintos sistemas radicales y de determinar de que forma interaccionaban. En primer término se fotografió la totalidad de las raíces encontradas dentro de la zanja. Luego se sacaron todas las raíces pertenecientes a uno de los sistemas radicales y se tomó otra fotografía. Finalmente se sacaron las raíces restantes, y ambos grupos de raíces fueron embolsados para un posterior análisis en laboratorio, donde fueron clasificadas dentro de una serie de rangos de diámetro y luego fueron medidas.

4. Características del suelo

a Trabajo de campo

Se extrajeron muestras imperturbadas del perfil de suelo a una distancia de 2 metros de la fila de árboles. El muestreo comenzó a partir de los primeros 10 cm de profundidad, estando las sucesivas muestras espaciadas a 10 cm. De esta forma se continuó hasta alcanzar la profundidad de 1 m.

Para la obtención de las muestras fueron utilizados cilindros de acero con un volumen de 100 cm³ cúbicos, los cuales encajaban en un soporte que permitía manipularlos e introducirlos en el suelo (ver figuras 17 y 18)



Figura N° 17: instrumental utilizado para la extracción de las muestras de suelo.



Figura N° 18: extracción de las muestras en el perfil de suelo

b Trabajo de laboratorio

Para proporcionar una idea más detallada sobre el medio en el cual se desarrollaron los sistemas radicales estudiados, se midieron algunas características del suelo que se consideró que tenían una importante influencia en el desarrollo de las raíces.

1 Curva de retención del agua del suelo

En primer término se estableció una serie de valores de potencial de matriz en los cuales resultaba de interés conocer la cantidad de agua con la cual contaba el suelo. La cantidad de agua retenida en dichos valores permitió determinar de la porosidad del suelo y su capacidad de suministrar agua a las plantas.

Una vez que las muestras estuvieron en el laboratorio, se les sujetó en el extremo inferior un trozo de papel de filtro para evitar la pérdida de material. Luego, el primer paso fue llevar a las muestras a condiciones de saturación. Para esto, se colocaron en un recipiente en el cual su extremo inferior quedaba apenas sumergido en una película de agua.

La cantidad de agua (expresada como % en volumen) fue estimada a como la diferencia de peso entre la muestra una vez que era sometida a un determinado valor de succión, y la suma del peso seco del suelo y del recipiente.

Para llevar a las muestras a valores de succión entre 0 y 1 bar se usaron platos de tensión y para valores mayores a 1 bar se usaron membranas de presión. La cantidad de agua retenida a un valor de 15 bar fue estimada utilizando la siguiente relación:

$$\% \text{ en volumen de agua a 15 bar} = \frac{\% \text{ en volumen de agua a 0.1 bar}}{1.77}$$

La última operación que se realizó fue determinar el peso seco de las muestras, para lo cual fueron desecadas en una estufa a 105 °C.

2 Densidad aparente y porosidad del suelo

Para la estimación de la densidad aparente y espacio poroso total se utilizaron las formulas 1 y 2 respectivamente.

$$1) DA = \frac{\text{Peso suelo seco}}{\text{Volumen ocupado}}$$

$$2) \text{ Porosidad total} = (1 - \text{Densidad aparente} / \text{Densidad real}) * 100$$

Se considera macroporosidad todo el espacio ocupado por aire una vez que el suelo ha perdido agua hasta alcanzar un potencial de matriz de 0.1 Bar. En este caso fue estimada como la diferencia ente la porosidad total y la porosidad ocupada por la cantidad de agua retenida a 0.1 Bar (o sea todo el espacio poroso que no corresponde a los macroporos)

IV. RESULTADOS

A. SISTEMA RADICAL

1. Aspecto del sistema radical

La imagen que se muestran a continuación fue tomada una vez que se removió la tierra que rodeaba a las raíces con la ayuda de un chorro de agua a presión. La pérdida de raíces en el proceso de remoción probablemente fue muy baja. Por esta razón este tipo de tratamiento permite una visión de conjunto de un sistema radical completo, donde se puede apreciar el aspecto, abundancia y disposición que tienen las raíces.

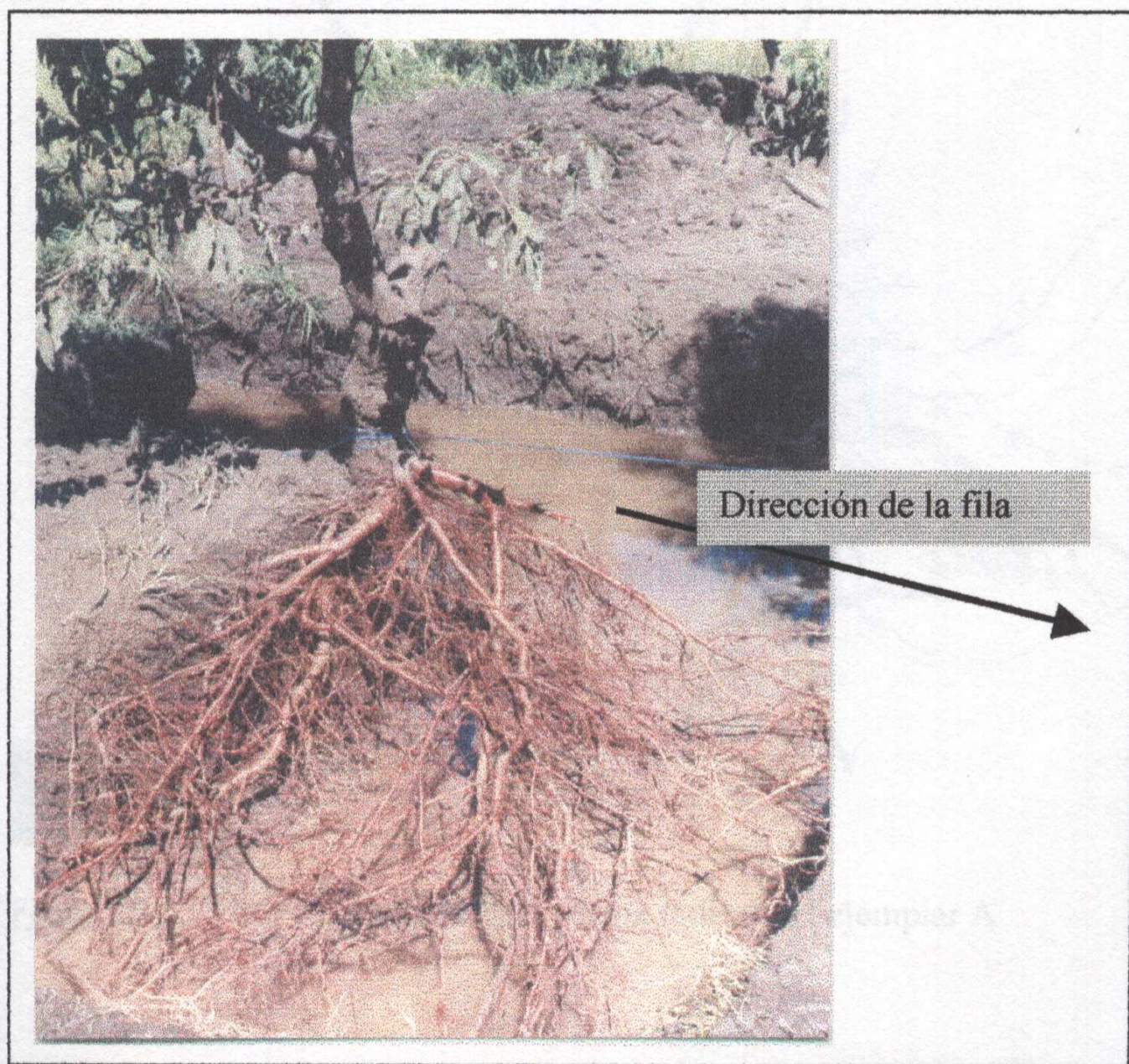


Figura N° 19: Disposición de las raíces de un sistema radical imperturbado.

Las imágenes que siguen son de sistemas radicales que fueron arrancados y en donde luego fue removida la tierra utilizando un chorro de agua a presión. En estos casos es probable que se haya perdido una cantidad mayor de raíces. Por otro lado representan únicamente la zona del sistema radical que permaneció sujeta al tronco en el proceso de arranca-

do, pero permiten ver con claridad la dirección que siguen las principales raíces y los lugares en que se insertan en el tronco. Dentro del radio que permaneció junto al tronco también se pueden observar aspectos como la cantidad y el grosor de las raíces más importantes y su grado de ramificación.

Hay que tener en cuenta que de todos los árboles que fueron arrancados en el monte, se eligieron los que presentaban sistemas radicales distribuidos en forma más uniforme en torno al tronco. Por ésta razón este tipo de material tiene un valor limitado para el estudio de la distribución de las principales raíces en sentido horizontal.

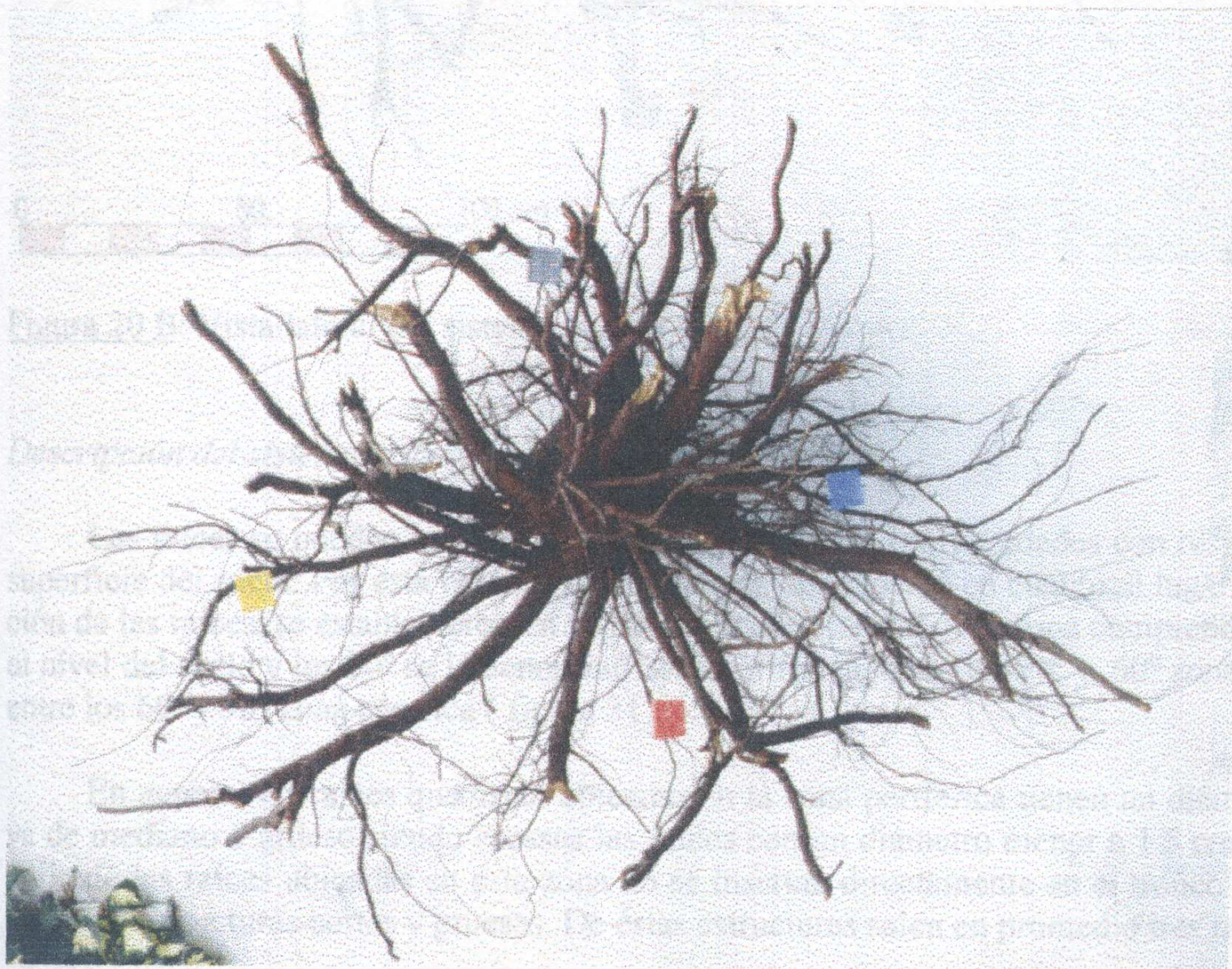


Figura 20 A: Vista desde abajo del sistema radical del ejemplar A

oscila entre 0° y 35° con una inclinación cercana a 15° para la mayoría de los casos.

En cuanto a la distribución en sentido horizontal de este grupo de raíces, en general es uniforme, siendo el ángulo entre raíces de cierta importancia (mayores a 2.5 cm) no mayor en general a 20° .

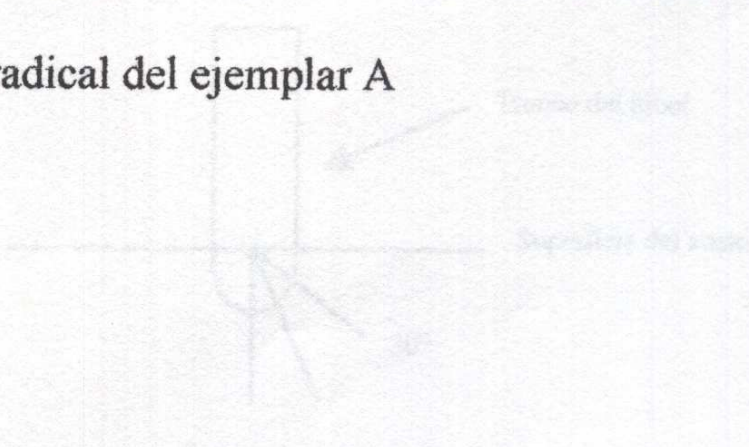


Figura 21: Clasificación de las distintas zonas de inserción

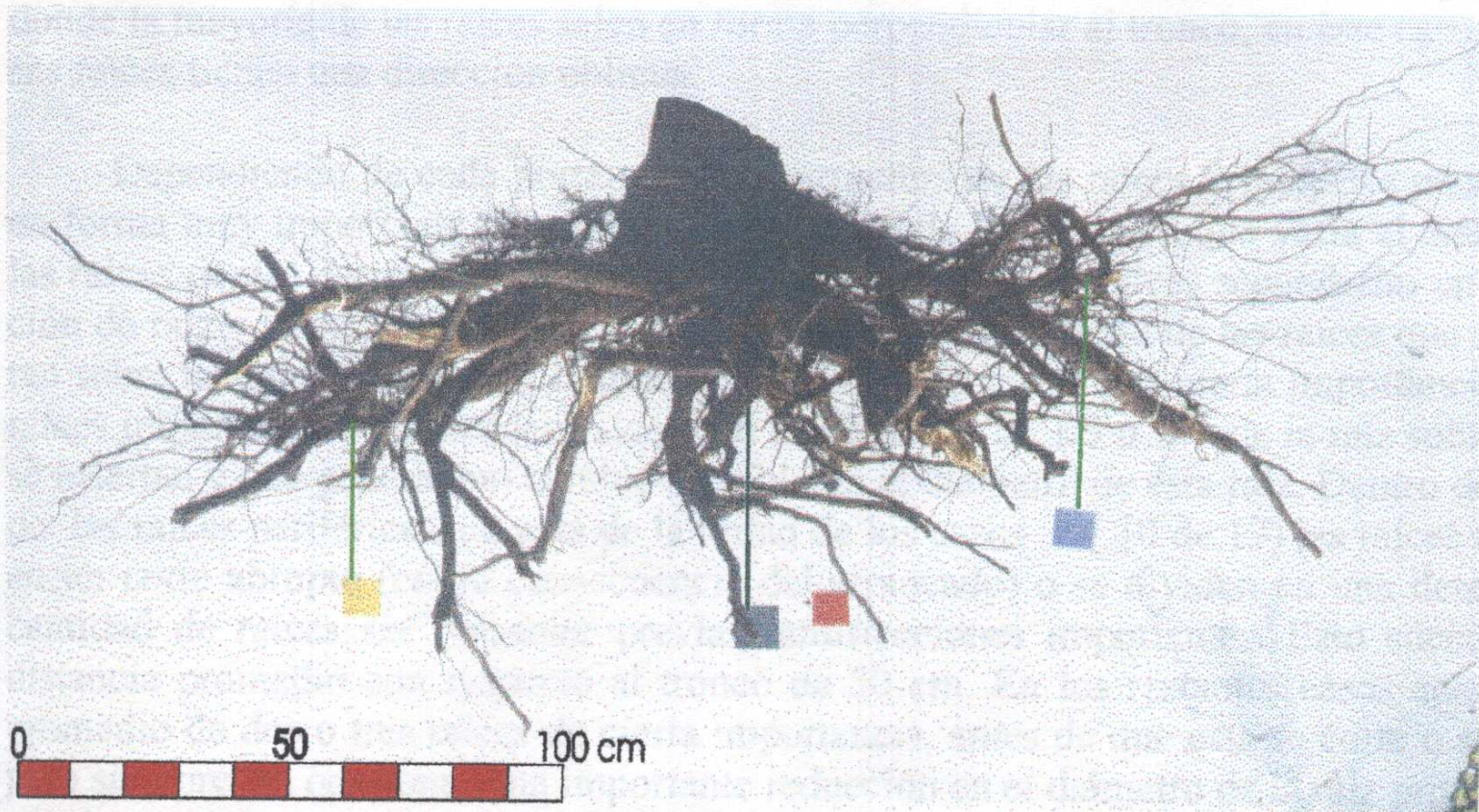


Figura 20 B: Vista lateral del sistema radical del ejemplar A

Descripción del sistema radical del ejemplar A

Las raíces se pueden insertar en el tronco a distintas profundidades con respecto a la superficie del suelo. Por esta razón, para facilitar la descripción en cuanto al lugar de inserción de las raíces, se establecieron en forma arbitraria 3 zonas. A la zona comprendida entre el nivel del suelo y los 30° se la denominó zona periférica, entre los 30° y 60° zona media y entre los 60° y 90° zona céntrica (figura 21)

En general las raíces que están ubicadas en la zona periférica tienen un diámetro que va de mediano a grueso siendo escasas las raíces con un diámetro menor a 1.5 cm. La mayoría de las raíces ubicadas en esta zona no se insertan directamente en el tronco sino que nacen en estructuras cortas y gruesas. De éstas estructuras salen en promedio tres raíces.

Estas raíces presentan un ángulo con respecto a la superficie del suelo que oscila entre 0° y 35° con una inclinación cercana a 15° para la mayoría de los casos.

En cuanto a la distribución en sentido horizontal de éste grupo de raíces, en general es uniforme, siendo el ángulo entre raíces de cierta importancia (mayores a 2.5 cm) no mayor en general a 20

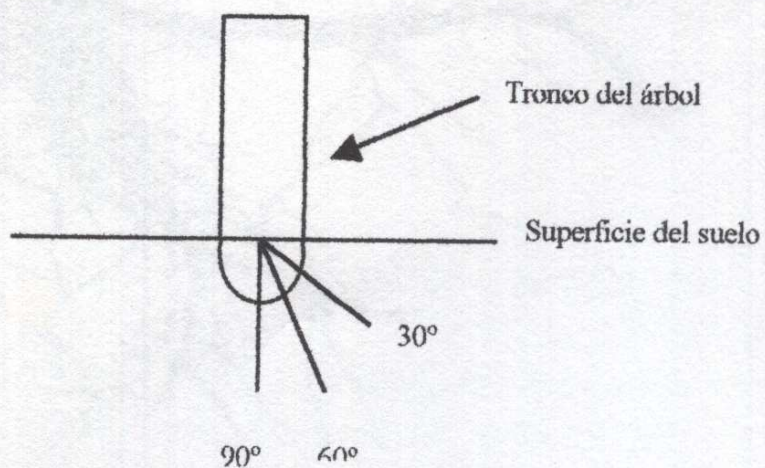


Figura N° 21: Clasificación de las distintas zonas de inserción

grados; de manera que son raros espacios grandes sin raíces. A diferencia del ejemplar B, donde la mayoría de las raíces salen en forma perpendicular al tronco, en éste caso numerosas raíces tienen una dirección oblicua.

Dependiendo de cada portainjerto la estructura de las raíces principales puede variar en forma muy importante. Por estructura se entiende la forma en que varía el diámetro de las raíces dentro de un determinado trayecto, la cantidad de raíces secundarias en esa porción de raíz y la magnitud de las mismas. Dentro de la totalidad de las raíces que se insertan sobre las raíces primarias, fueron medidas las que tenían una cierta importancia. Como raíces importantes se entienden raíces con un diámetro de $1/3$ o $1/4$ de la raíz sobre la cual se insertan y que generan un cambio sensible en el diámetro de esta raíz. Dentro del grupo de las raíces periféricas, en más de la mitad de los casos (10 de 17) las raíces terminan en un corte abrupto (como consecuencia del arrancado) o se dividen en una determinada cantidad de raíces sin presentar previas ramificaciones importantes. Esto sucede a una distancia promedio con respecto al tronco de 50 cm. En los restantes casos aparecen un promedio de dos o tres raíces de cierta importancia, antes de que esta se corte o se divida, pero siempre sin ocasionar una importante reducción en el diámetro de la raíz principal.

Las raíces que se ubican en la posición céntrica presentan diámetros que en promedio son más finos. Dentro de éste grupo, el ángulo con respecto a la horizontal es más cerrado que en las raíces ubicadas en la periferia, aunque hay algunas raíces con un ángulo similar a estas últimas (Ver anexo, cuadro 8).

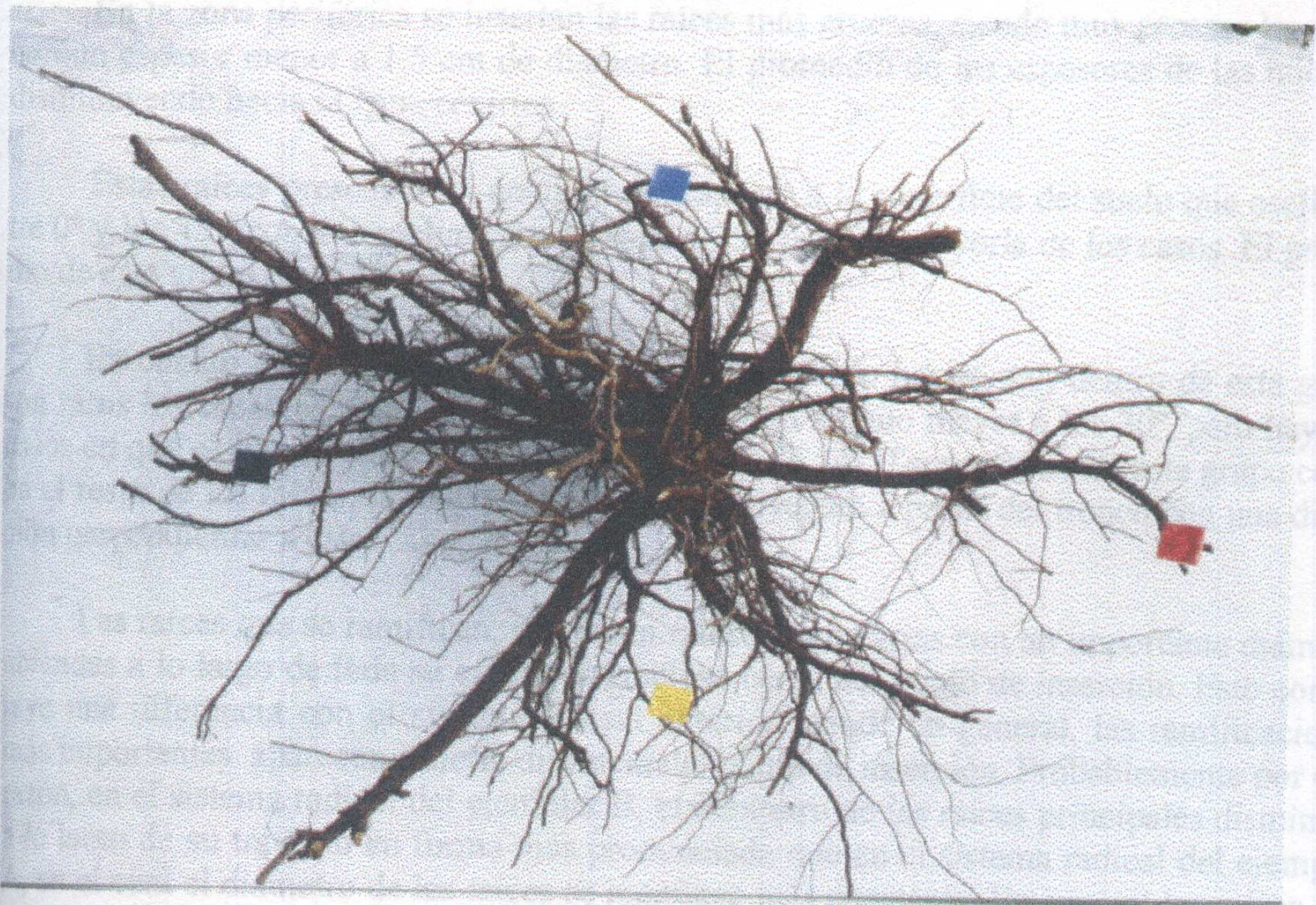


Figura N° 22 A: Vista desde abajo del sistema radical del ejemplar B

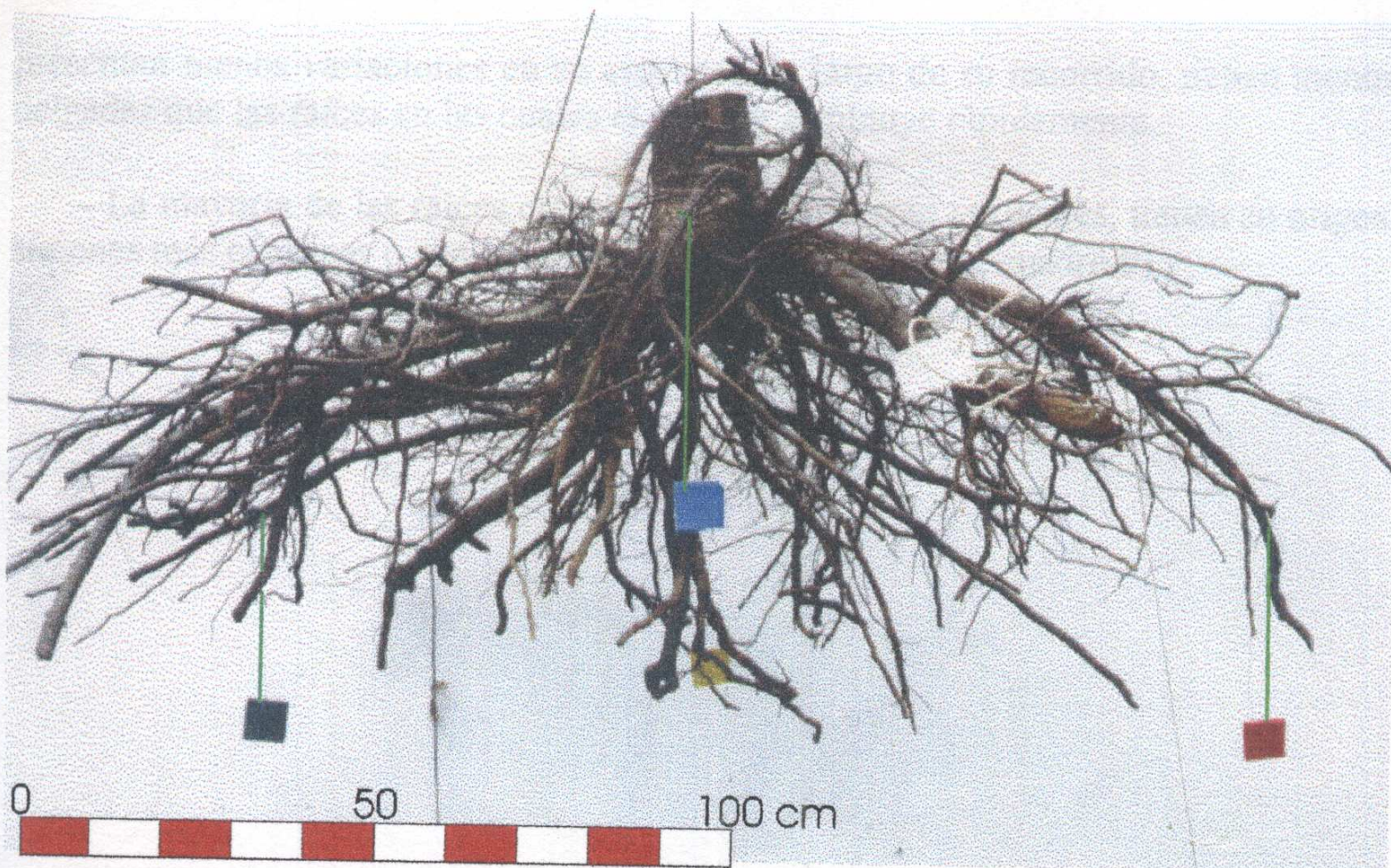


Figura N° 22 B: Vista lateral del sistema radical del ejemplar B

Descripción del sistema radical del ejemplar B

En la zona periférica se insertan las raíces más gruesas, siendo muy escasas las raíces con un espesor menor a 1.5 cm de diámetro. El promedio de los espesores de las raíces va disminuyendo hacia la zona céntrica.

Estas raíces presentan un ángulo con respecto a la superficie del suelo que oscila entre 0° y los 45° con una inclinación cercana a 25° para la mayoría de los casos. El promedio de este grupo es de 18°.

En cuanto a la distribución de las raíces en sentido horizontal; dentro de este grupo son raros los espacios entre las raíces que tengan un ángulo mayor a los 30°, pero hay dos casos en que el ángulo entre raíces es de alrededor de 54°. Tanto dentro de éste grupo como en el resto de las raíces, la mayoría de éstas se proyectan a partir del tronco con una dirección perpendicular a éste.

Las raíces que se ramifican, presentan raíces secundarias con un importante diámetro ubicadas a lo largo de toda su extensión, incluso cerca del punto de inserción. Esto constituye una diferencia con el sistema radical anterior, donde en general, las ramificaciones más importantes aparecen a cierta distancia del punto de inserción. Probablemente por esta razón, en el sistema radical del ejemplar B, el diámetro de las raíces principales disminuye a lo largo de su trayecto en forma más pronunciada que en el sistema radical del ejemplar A, en el cual el diámetro de las raíces se mantiene más constante. En general las raíces que

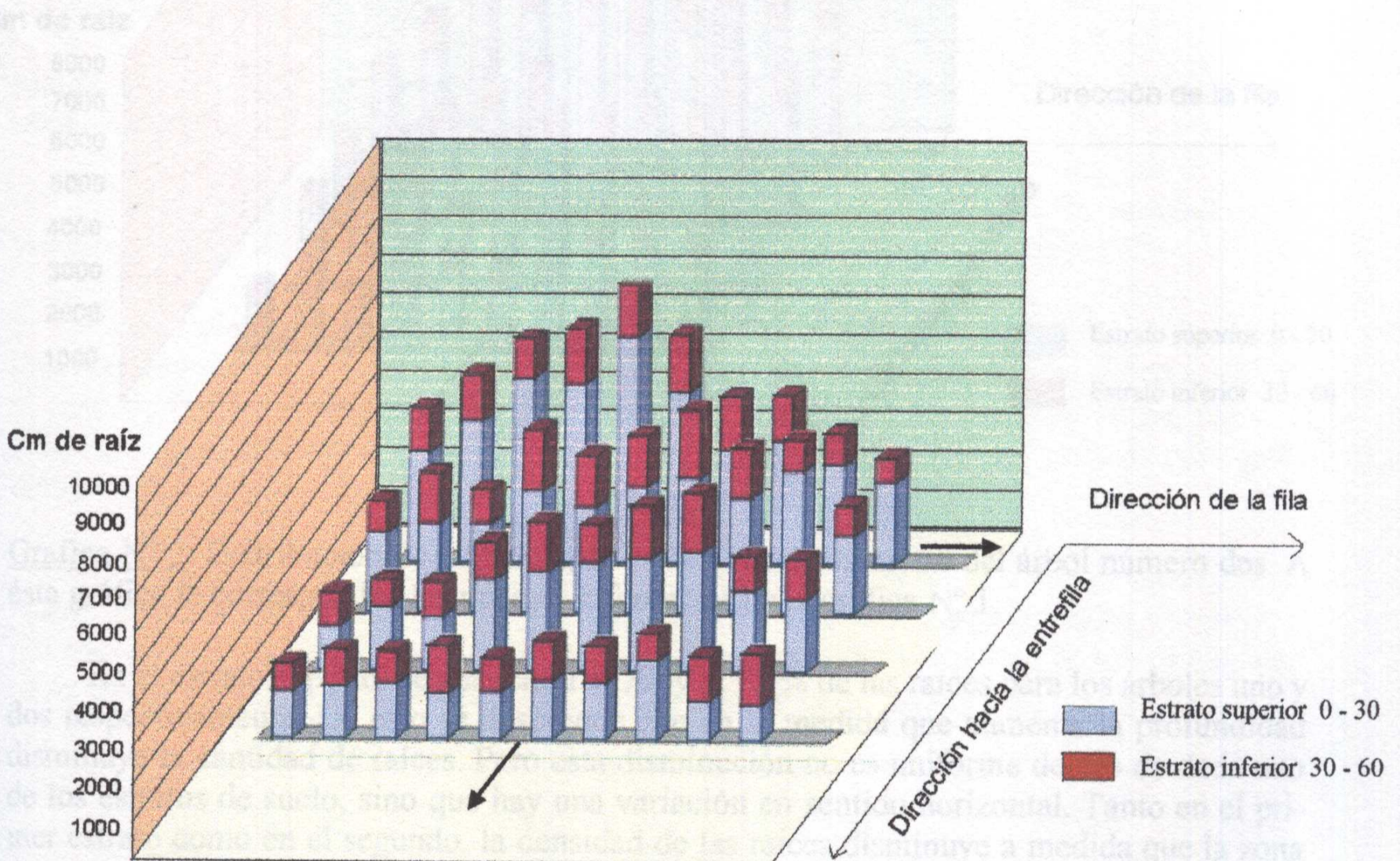
presentan menos variaciones en su espesor a lo largo de su recorrido, tienen menos raíces delgadas que las raíces en las cuales el espesor disminuye rápidamente.

La mayoría de las raíces que asumen ángulos más verticales, tienen su origen en posiciones más céntricas o son raíces secundarias (Ver anexo, cuadro 9)

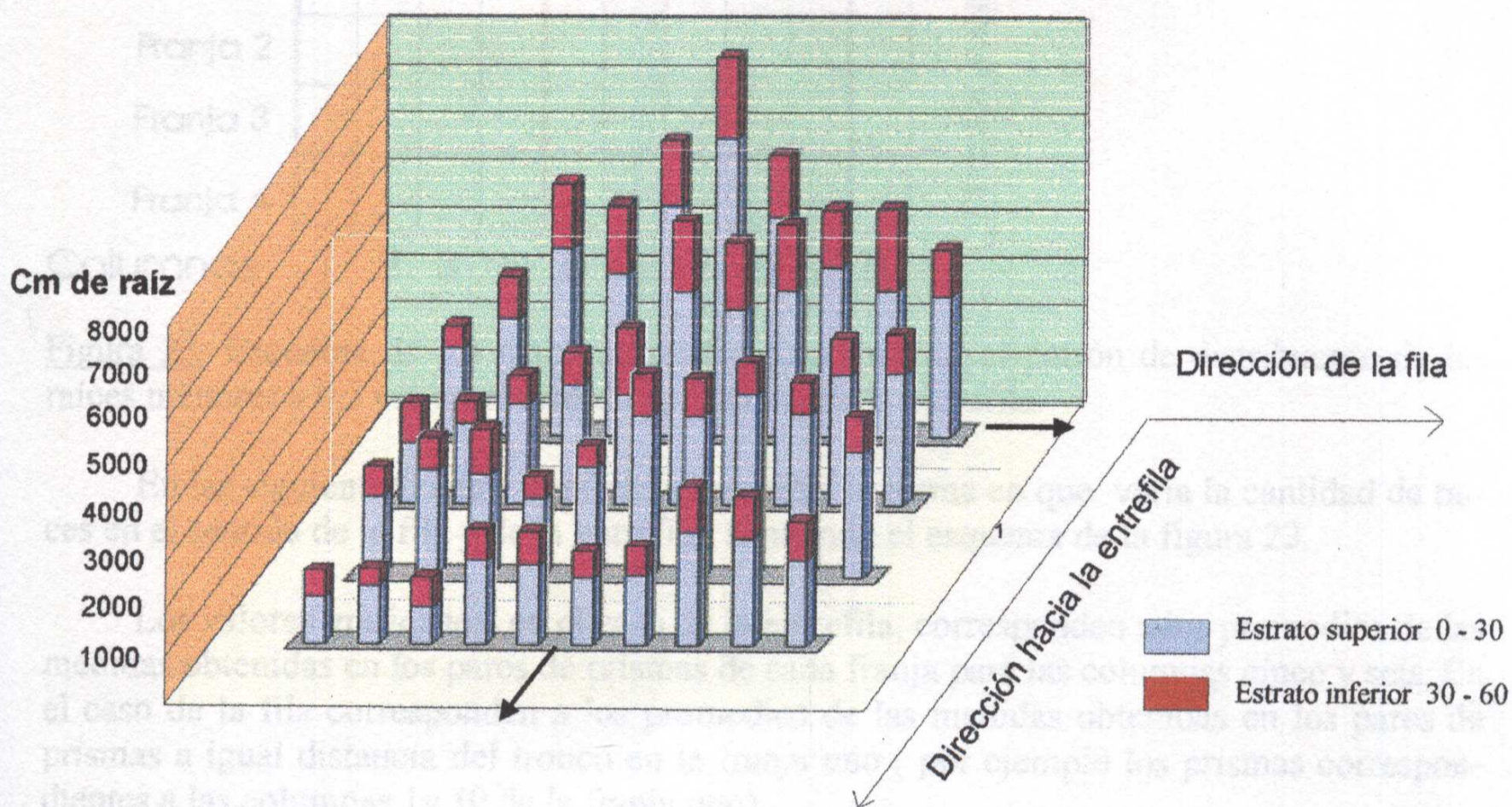
2. Distribución del sistema radical

a Distribución de las raíces menores a 0.3 cm de diámetro

La gráfica que se presenta a continuación brinda una visión de conjunto sobre la manera en que se distribuye la totalidad de las raíces de este rango, tanto en sentido horizontal como vertical.



Grafica N° 1: Distribución de las raíces de 0 - 0.3 cm de diámetro del árbol número uno. Se muestra una de las mitades del sistema radical. La intersección de los ejes señalados por las flechas señala la ubicación del tronco (ver figura 8). En cada columna se representan los dos estratos de suelo analizados (superior e inferior). Se muestra la cantidad de raíces que fueron encontradas dentro un prisma de suelo de 30 x 40 cm de lado y 30 cm de profundidad para cada estrato.



Grafica N° 2: Distribución de las raíces de 0 - 0.3 cm de diámetro del árbol número dos. A ésta gráfica le corresponden las mismas referencias de la gráfica N° 1.

En el estrato superior se encuentra el 70 y el 75 % de las raíces para los árboles uno y dos respectivamente. De esto se desprende que en la medida que aumenta la profundidad disminuye la cantidad de raíces. Pero esta disminución no es uniforme dentro de cada uno de los estratos de suelo, sino que hay una variación en sentido horizontal. Tanto en el primer estrato como en el segundo, la densidad de las raíces disminuye a medida que la zona del suelo en cuestión se encuentra más alejada del tronco.

Cuando se estudia la relación que existe entre la distancia al tronco y la cantidad de raíces, se observa que estos dos elementos se ajustan a un modelo lineal. En los estratos superiores de los árboles uno y dos se obtiene un valor de correlación lineal de 0.84 y 0.63 respectivamente. Para los estratos inferiores se obtiene un valor de 0.63 en el árbol uno y de 0.61 en el árbol dos. Estos valores dan una idea de lo uniforme que es la variación de la cantidad de raíces hacia las distintas direcciones cuando aumenta la distancia al tronco.

Con la finalidad de mostrar el patrón de distribución que siguen las raíces en las distintas direcciones, se expone a continuación lo que sería el equivalente a un corte del sistema radical a lo largo del sentido de la fila y otro transversal al sentido de la misma. La distribución de las raíces en el corte paralelo a la fila es representado por la franja uno (rectángulo azul en la figura 23), y la distribución en el corte transversal a la fila es representado por el promedio de las filas 5 y 6 (rectángulo rojo en la figura 23)

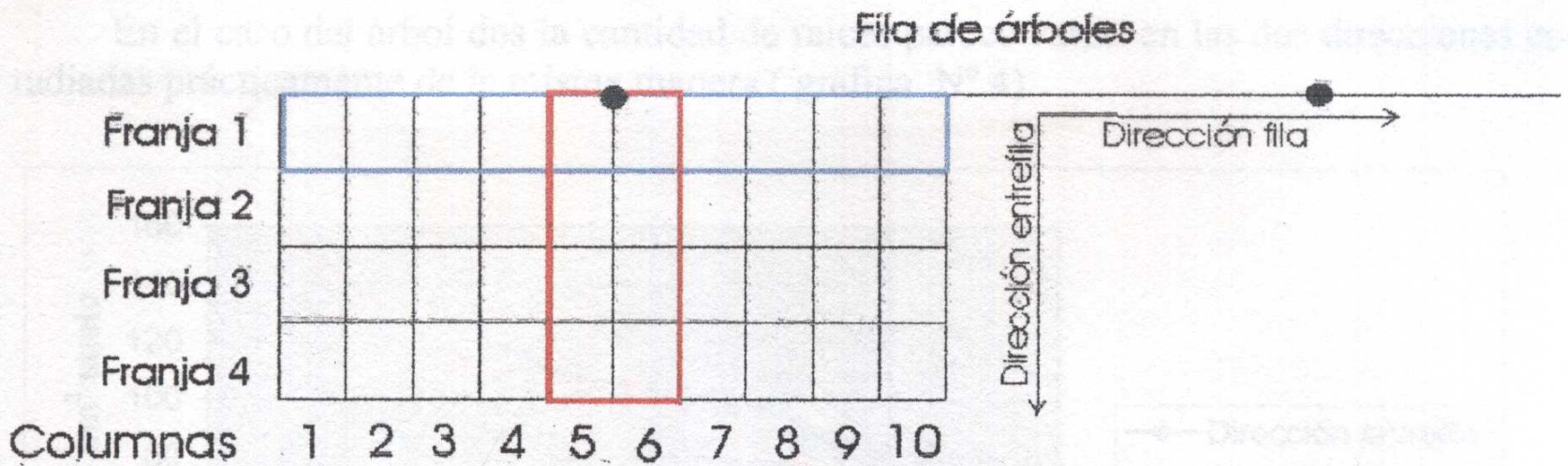
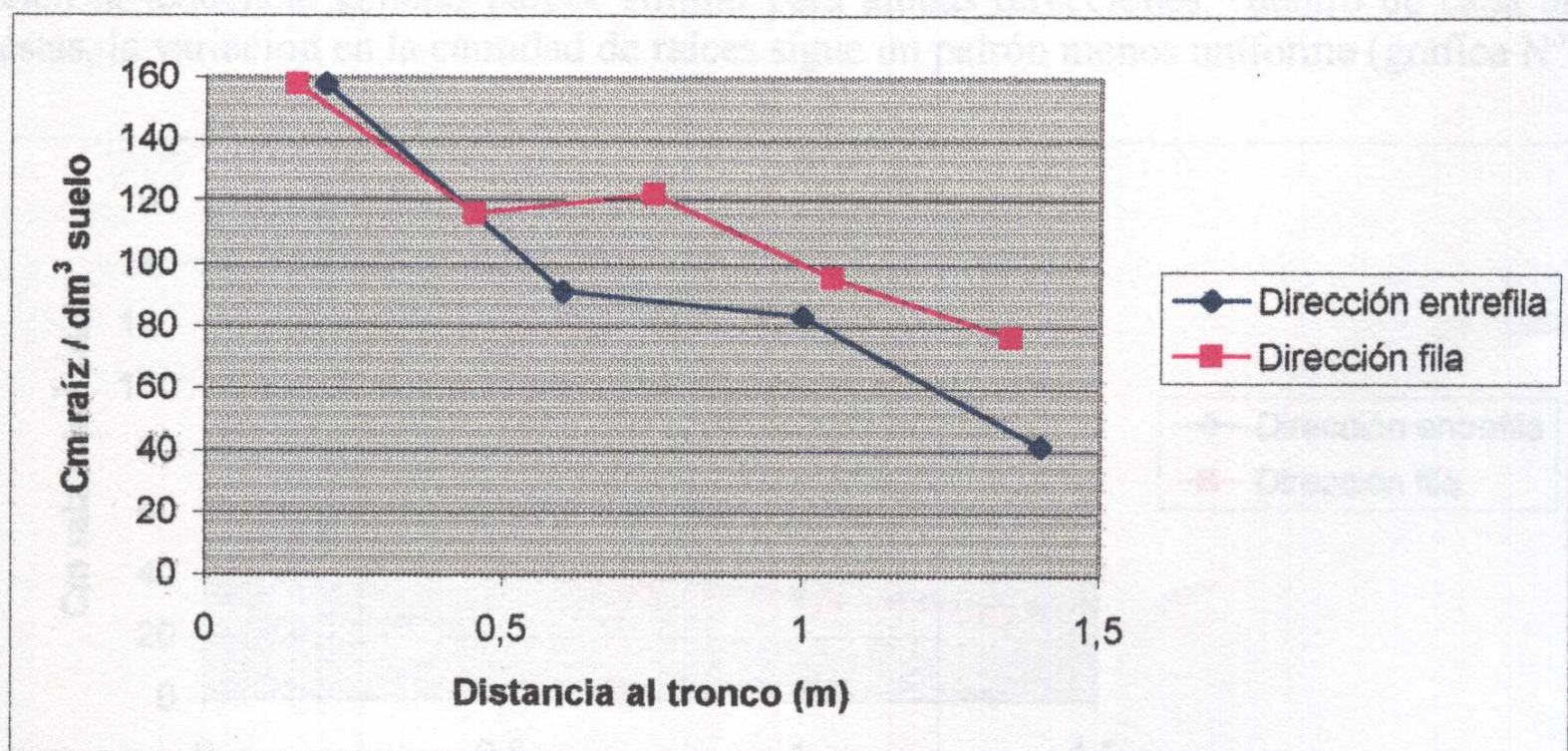


Figura 23: Esquema de los datos utilizados para mostrar el patrón de distribución de las raíces menores a 0,3 cm en el sentido de la fila y de la entrefila.

En las siguientes cuatro gráficas se muestra la forma en que varía la cantidad de raíces en el sentido de la fila y de la entrefila, siguiendo el esquema de la figura 23.

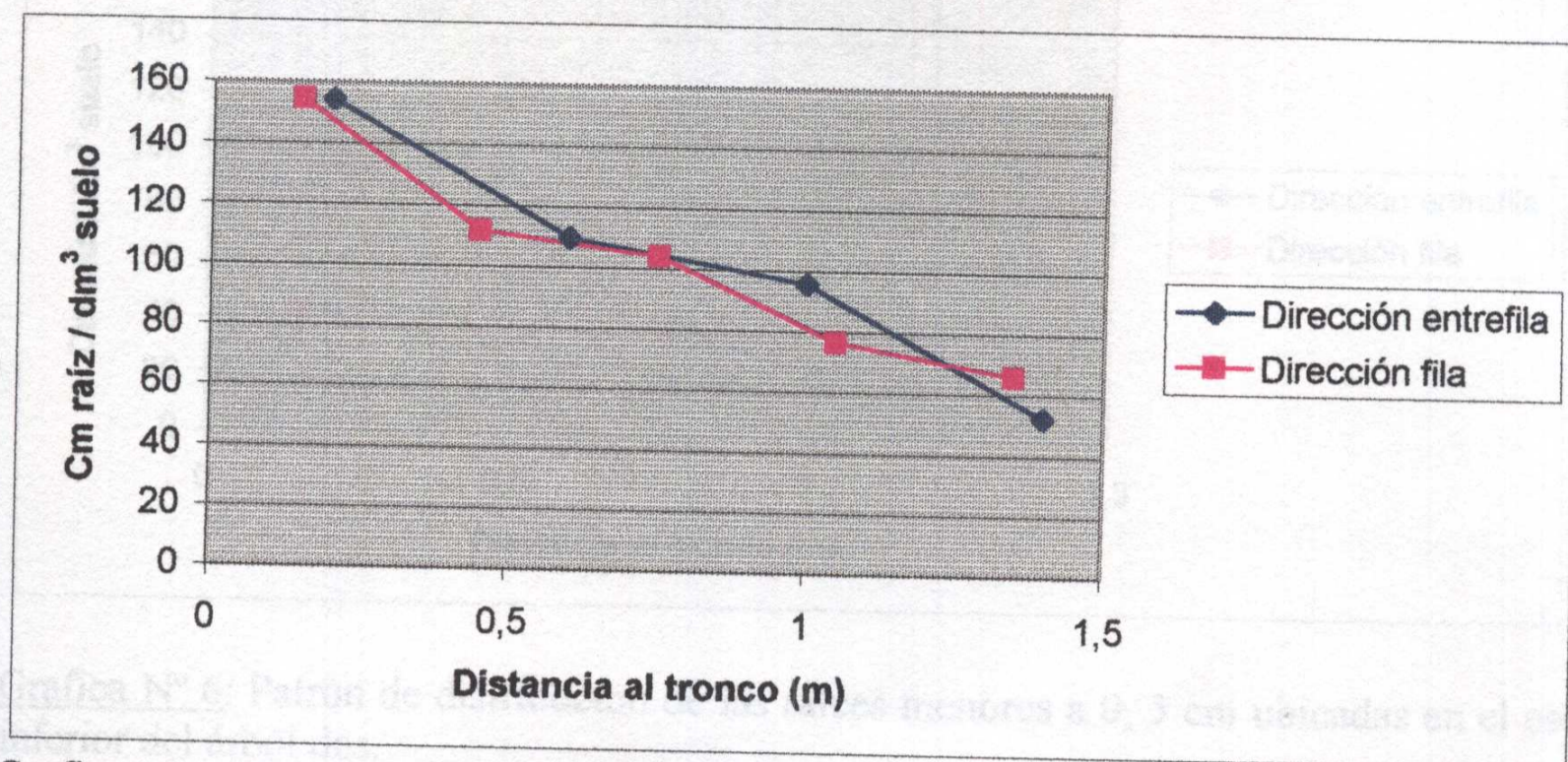
Los valores graficados, en el caso de la entrefila, corresponden a los promedios de las medidas obtenidas en los pares de prismas de cada franja para las columnas cinco y seis. En el caso de la fila corresponden a los promedios de las medidas obtenidas en los pares de prismas a igual distancia del tronco en la franja uno (por ejemplo los prismas correspondientes a las columnas 1 y 10 de la franja uno).

En la grafica 3 se puede observar una disminución hacia las dos direcciones estudiadas. Probablemente, debido a la limitada cantidad de datos no se puedan hacer observaciones más allá de un nivel general, pero se puede observar que la cantidad de raíces disminuye en forma más pronunciada hacia la entrefila que hacia la fila



Grafica N° 3: Patrón de distribución de las raíces menores a 0,3 cm ubicadas en el estrato superior del árbol uno.

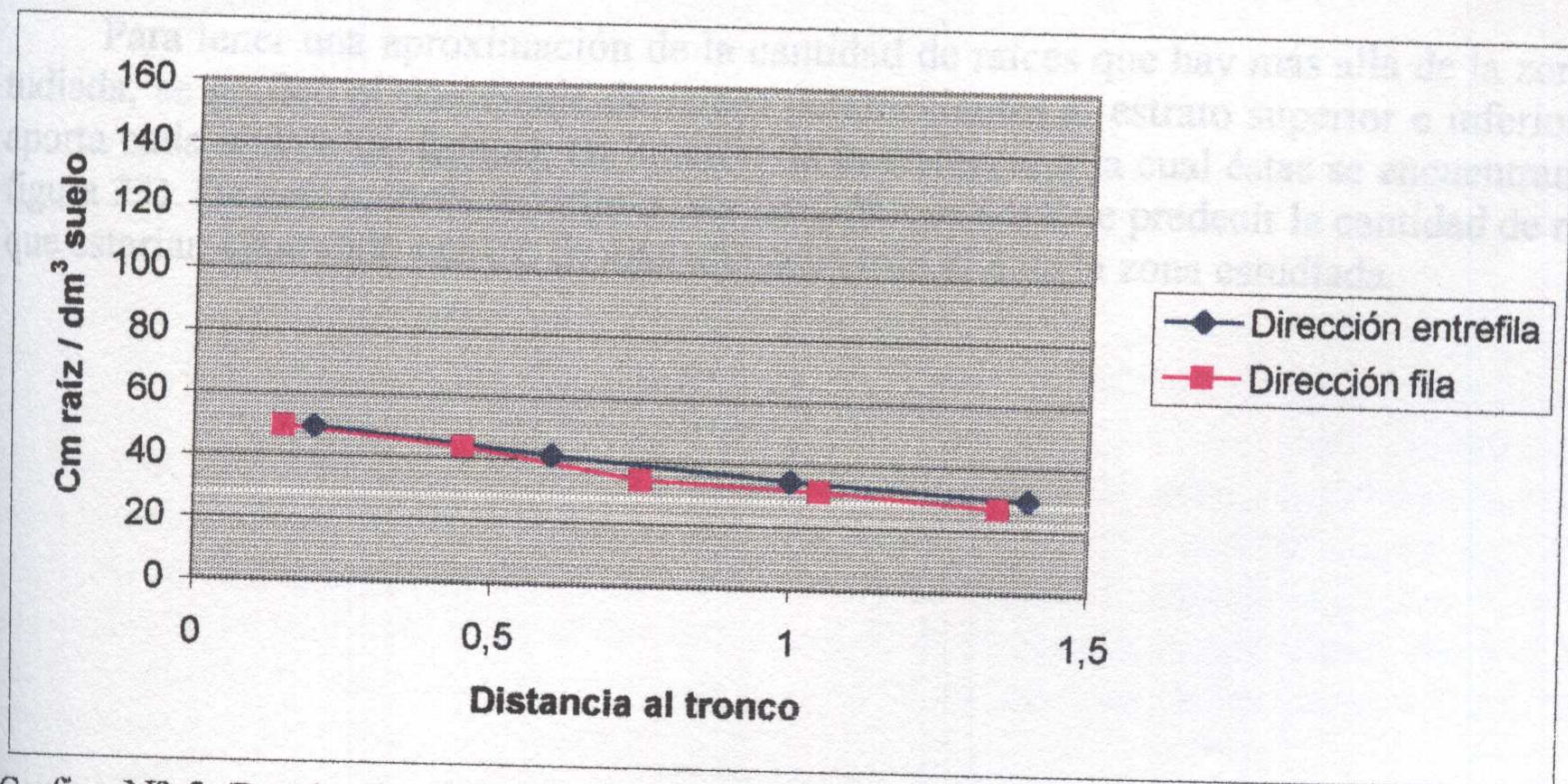
En el caso del árbol dos la cantidad de raíces parece variar en las dos direcciones estudiadas prácticamente de la misma manera (grafica N° 4).



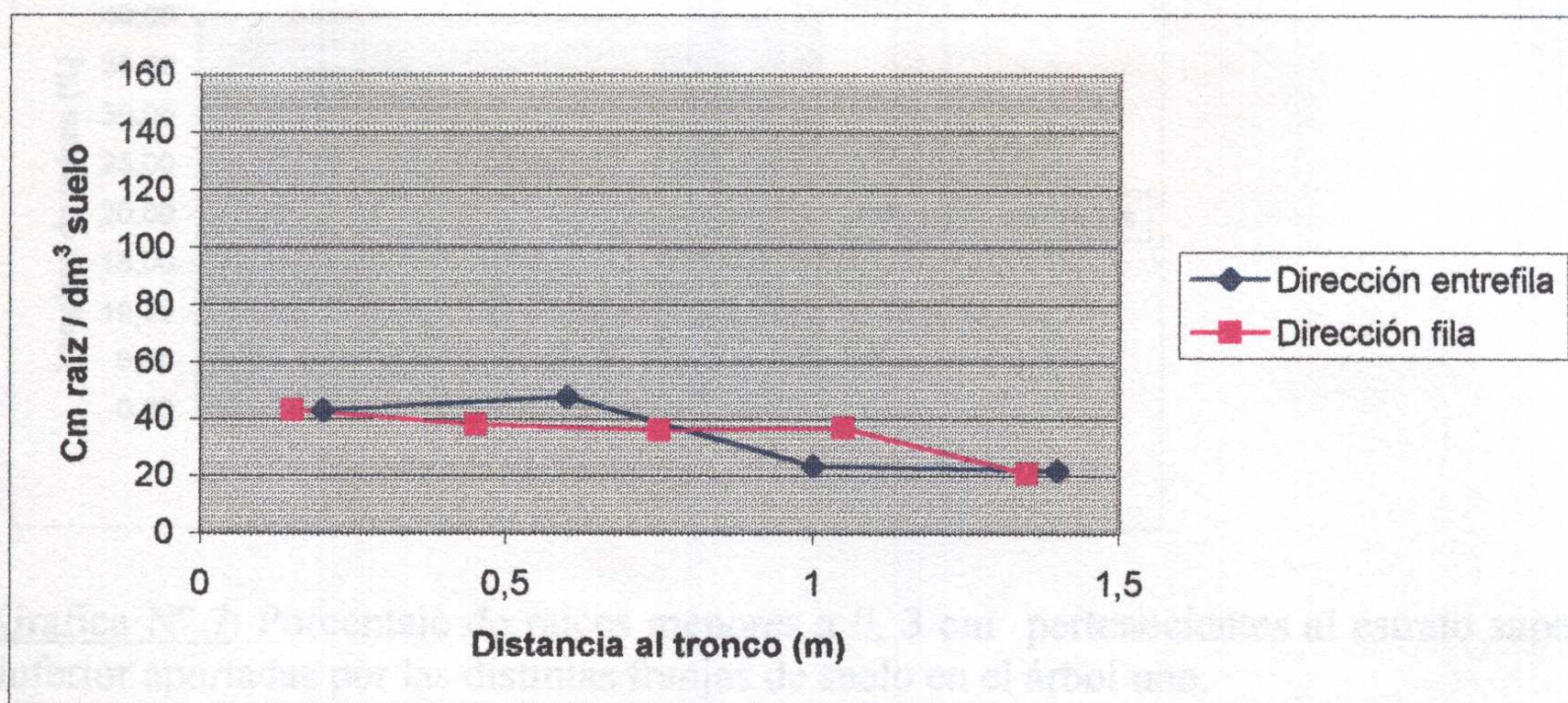
Grafica N° 4: Patrón de distribución de las raíces menores a 0,3 cm ubicadas en el estrato superior del árbol dos.

En las dos graficas que siguen se puede observar que en la segunda capa de suelo la cantidad de raíces disminuye en forma menos pronunciada a medida que aumenta la distancia al tronco.

En el árbol uno la variación de la cantidad de raíces en el sentido de la fila y de la entrefila sigue una tendencia general muy parecida (gráfica N° 5). En el caso del árbol dos, si bien la tendencia general parece similar para ambas direcciones, dentro de cada una de éstas, la variación en la cantidad de raíces sigue un patrón menos uniforme (gráfica N° 6).



Grafica N° 5: Patrón de distribución de las raíces menores a 0,3 cm ubicadas en el estrato inferior del árbol uno.



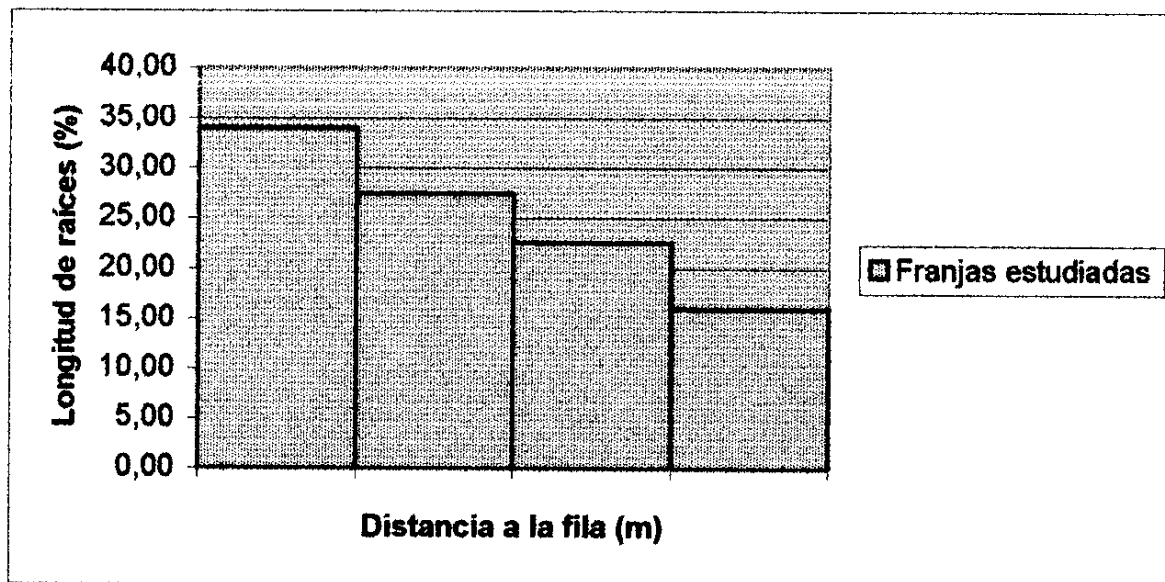
Grafica N° 6: Patrón de distribución de las raíces menores a 0,3 cm ubicadas en el estrato inferior del árbol dos.

En las graficas sobre el patrón de distribución de las raíces, se observa que en el límite de la zona estudiada del sistema radical, los valores de cantidad de raíces están bastante por arriba de cero, por lo que es bastante probable que las raíces se extiendan más allá de ésta zona.

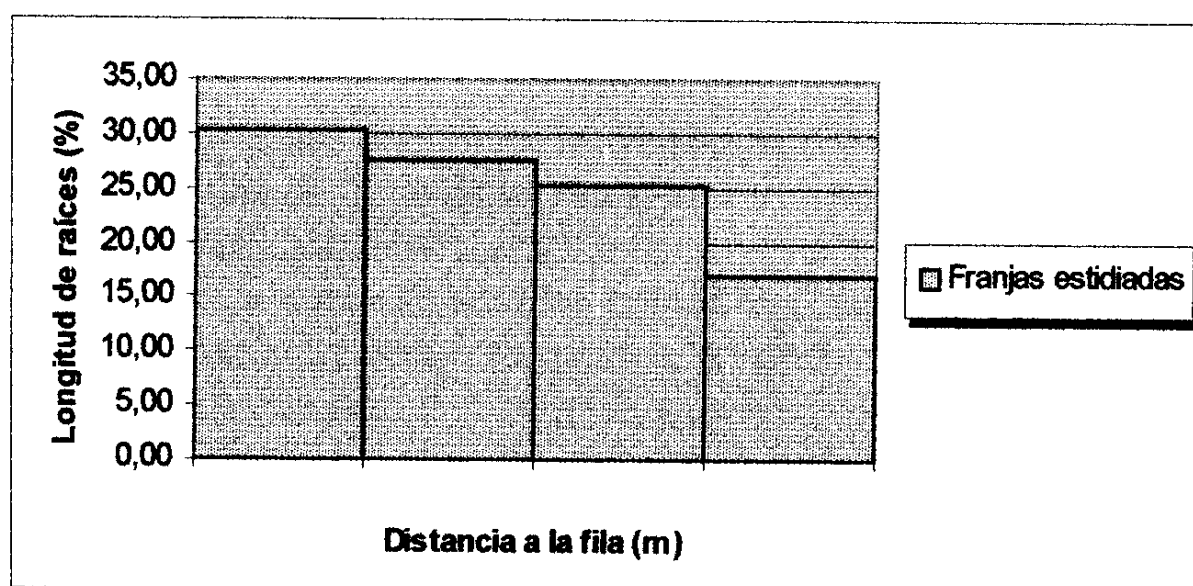
Probablemente sea de interés conocer qué porción del sistema radical queda fuera del área estudiada y también qué porción del sistema radical queda comprendida dentro del camellón. Por otro lado es difícil predecir de qué manera se pueden comportar las raíces más allá del área estudiada, dado que cambian las condiciones (a diferencia del camellón la entrefila esta empastada).

Para tener una aproximación de la cantidad de raíces que hay más allá de la zona estudiada, se graficó el porcentaje de raíces pertenecientes al estrato superior e inferior que aporta cada una de las franjas, en función de la distancia a la cual éstas se encuentran (ver figura 23). De esta manera se obtuvo una función que permite predecir la cantidad de raíces que estarían aportando nuevas franjas ubicadas más allá de la zona estudiada.

Si más allá de la zona estudiada, las raíces siguieran las tendencias que se observan en las graficas, entonces sería de esperar que las raíces se extiendan hasta una distancia aproximada de 2,1 metros en el árbol uno y de 3 metros en el árbol dos. La distancia de plantación es de 3 metros entre los árboles y 4 metros entre las filas. Haciendo una estimación conservadora, se puede suponer que las raíces no superan la distancia de 2 metros a partir de la fila, que es donde termina un sistema radical y empieza el otro. Bajo este supuesto, en la zona estudiada se encontraría el 86 % de las raíces en el árbol uno y el 87 % en el árbol dos. El camellón abarcaría el 70 % y el 71 % del total de las raíces del árbol uno y dos respectivamente.



Grafica N° 7: Porcentaje de raíces menores a $0,3\text{ cm}$ pertenecientes al estrato superior e inferior aportadas por las distintas franjas de suelo en el árbol uno.

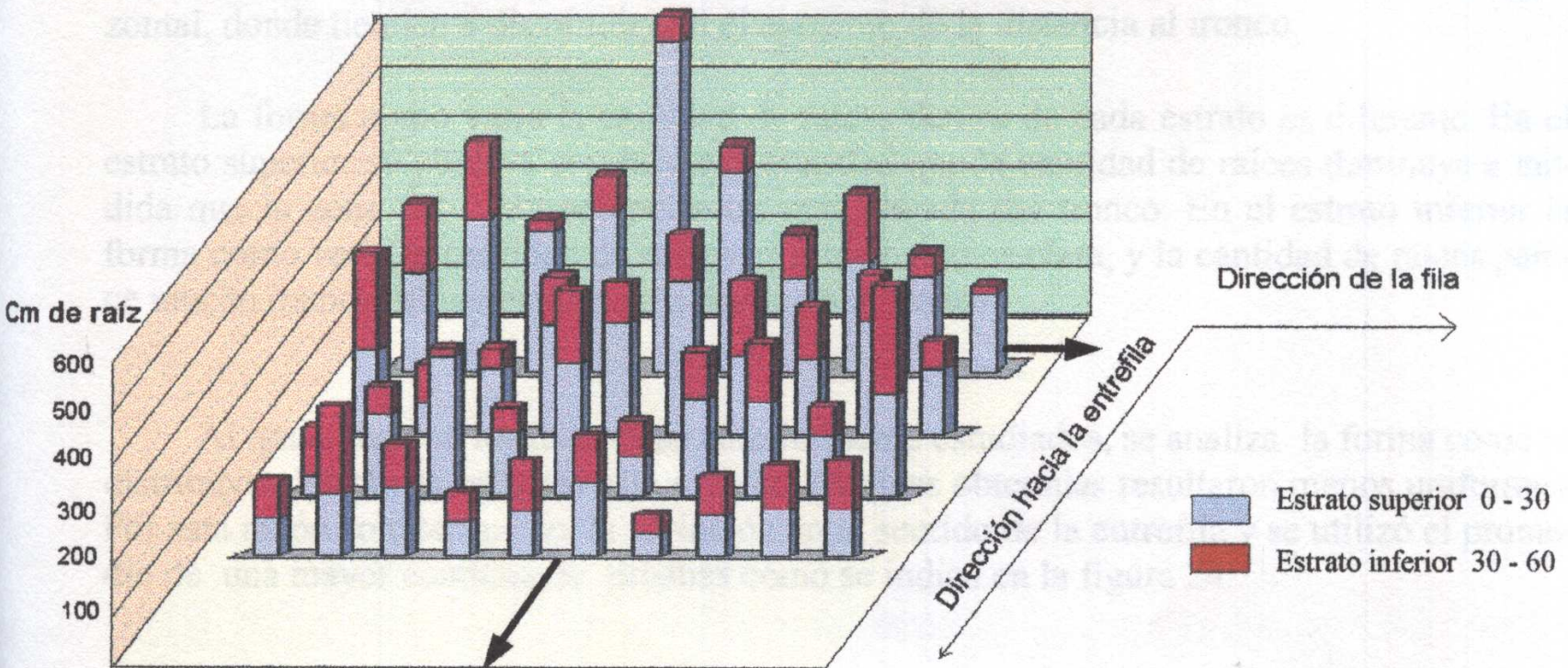


Grafica N° 8: Porcentaje de raíces menores a $0,3\text{ cm}$ pertenecientes al estrato superior e inferior aportadas por las distintas franjas de suelo en el árbol dos.

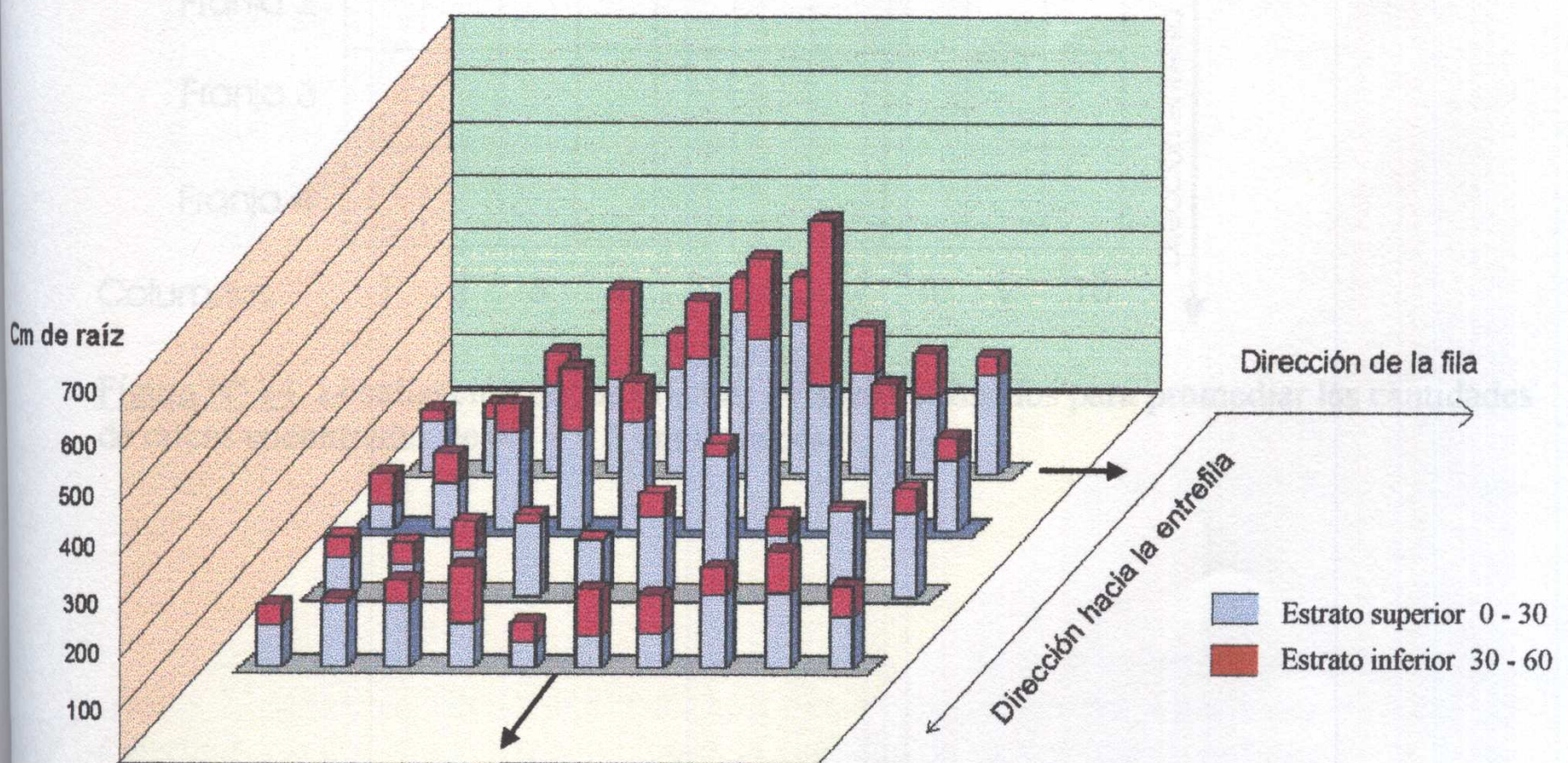
Las tendencias representadas por las dos gráficas tienen un alto coeficiente de correlación lineal, en el primer caso es de 0.99 y en el segundo de 0.95.

Si más allá de la zona muestreada, las raíces siguieran las tendencias que se observan en las gráficas, entonces sería de esperar que las raíces se extendieran hasta una distancia aproximada de 2.5 metros en el árbol uno y de 3 metros en el árbol dos. La distancia de plantación es de 3 metros entre los árboles y 4 metros entre las filas. Haciendo una estimación conservadora, se puede suponer que las raíces no superan la distancia de 2 metros a partir de la fila, que es donde terminaría un sistema radical y empezaría el otro. Bajo este supuesto, en la zona estudiada se encontraría el 86 % de las raíces en el árbol uno y el 87 % en el árbol dos. El camellón abarcaría el 70 y el 71 % del total de las raíces del árbol uno y dos respectivamente.

b Distribución de las raíces entre 0.3 – 0.5 cm de diámetro



Grafica N° 9: Distribución de las raíces de 0.3 - 0.5 cm de diámetro del árbol número uno. Se muestra una de las mitades del sistema radical. La intersección de los ejes señalados por las flechas señala la ubicación del tronco (ver figura 8). En cada columna se representan los dos estratos de suelo analizados (superior e inferior). Se muestra la cantidad de raíces que fueron encontradas dentro un prisma de suelo de 30 x 40 cm de lado y 30 cm de profundidad para cada estrato



Grafica N° 10: Distribución de las raíces de 0.3 – 0.5 cm de diámetro del árbol número dos. A ésta gráfica le corresponden las mismas referencias de la gráfica N° 9.

En el estrato superior se encuentra el 66 y el 69 % de las raíces para los árboles uno y dos respectivamente. A medida que aumenta la profundidad disminuye la cantidad de raíces. La cantidad de raíces no solo varía en profundidad sino también en el sentido horizontal, donde tienden a disminuir con el aumento de la distancia al tronco.

La forma como varía la cantidad de raíces dentro de cada estrato es diferente. En el estrato superior se observa con bastante claridad que la cantidad de raíces disminuye a medida que la zona del suelo se encuentra más alejada del tronco. En el estrato inferior la forma como varía la cantidad de raíces es mucho menos clara, y la cantidad de raíces parece mucho menos influenciada por la distancia al tronco.

Al igual que con los diámetros anteriormente estudiados, se analiza la forma como se distribuyen las raíces, pero en este caso las medidas obtenidas resultaron menos uniformes. Por esta razón solo se analiza la variación en el sentido de la entrefila y se utilizó el promedio de una mayor cantidad de prismas como se indica en la figura 24.

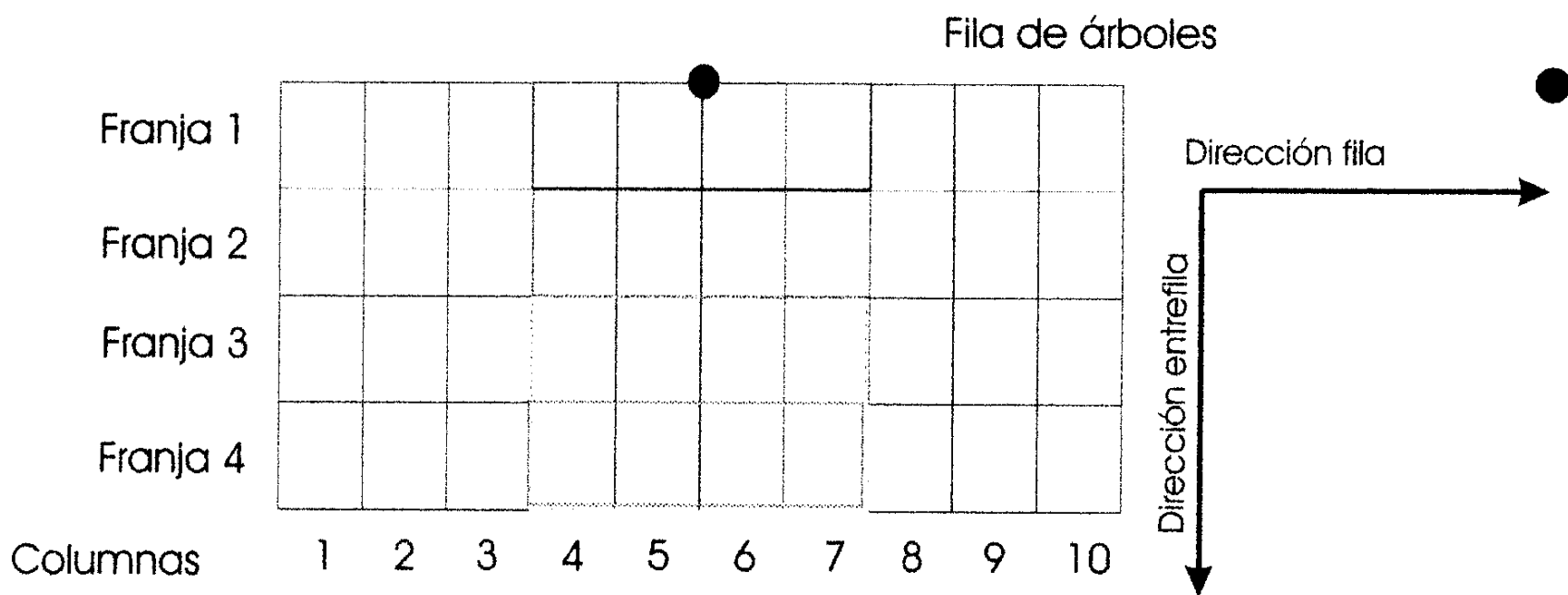
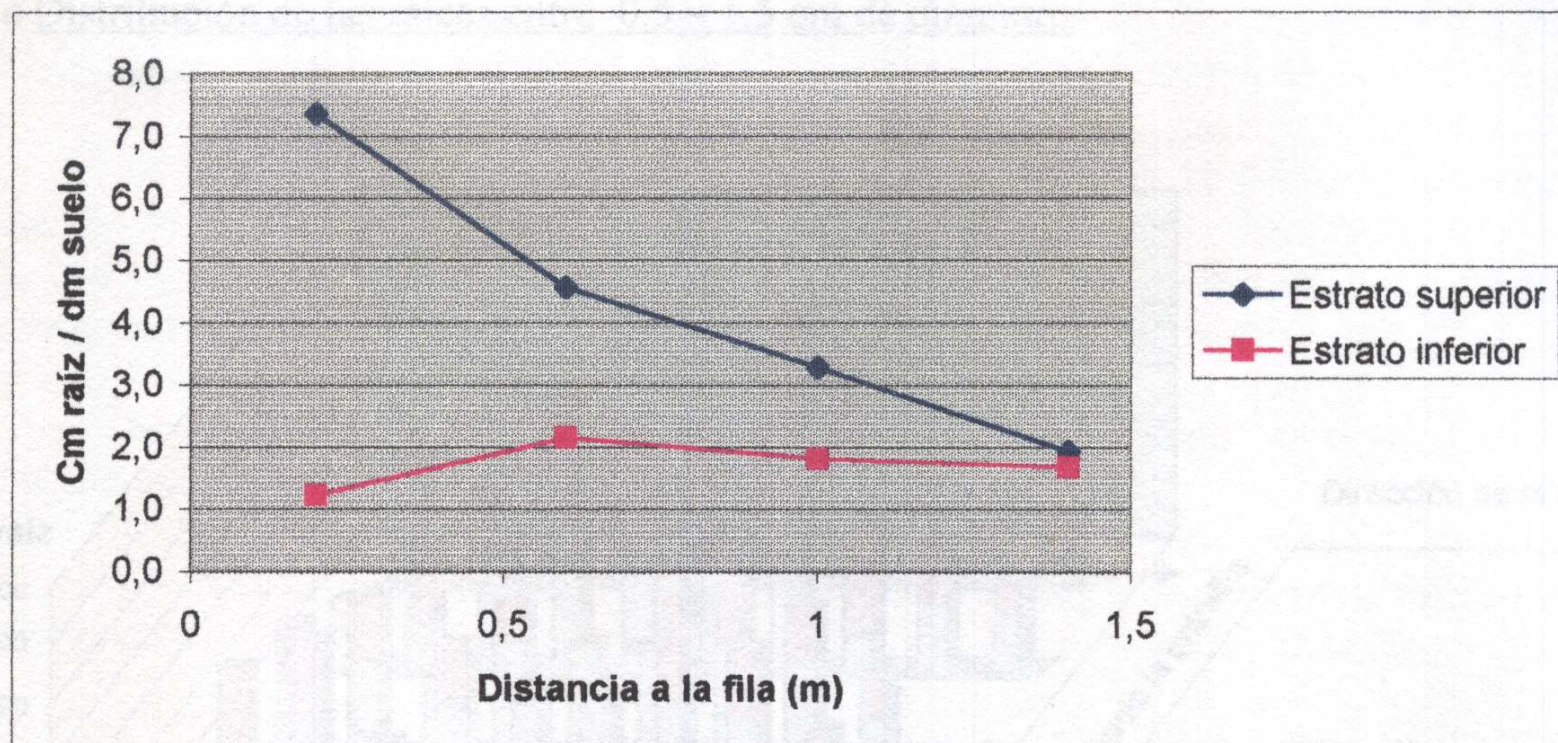
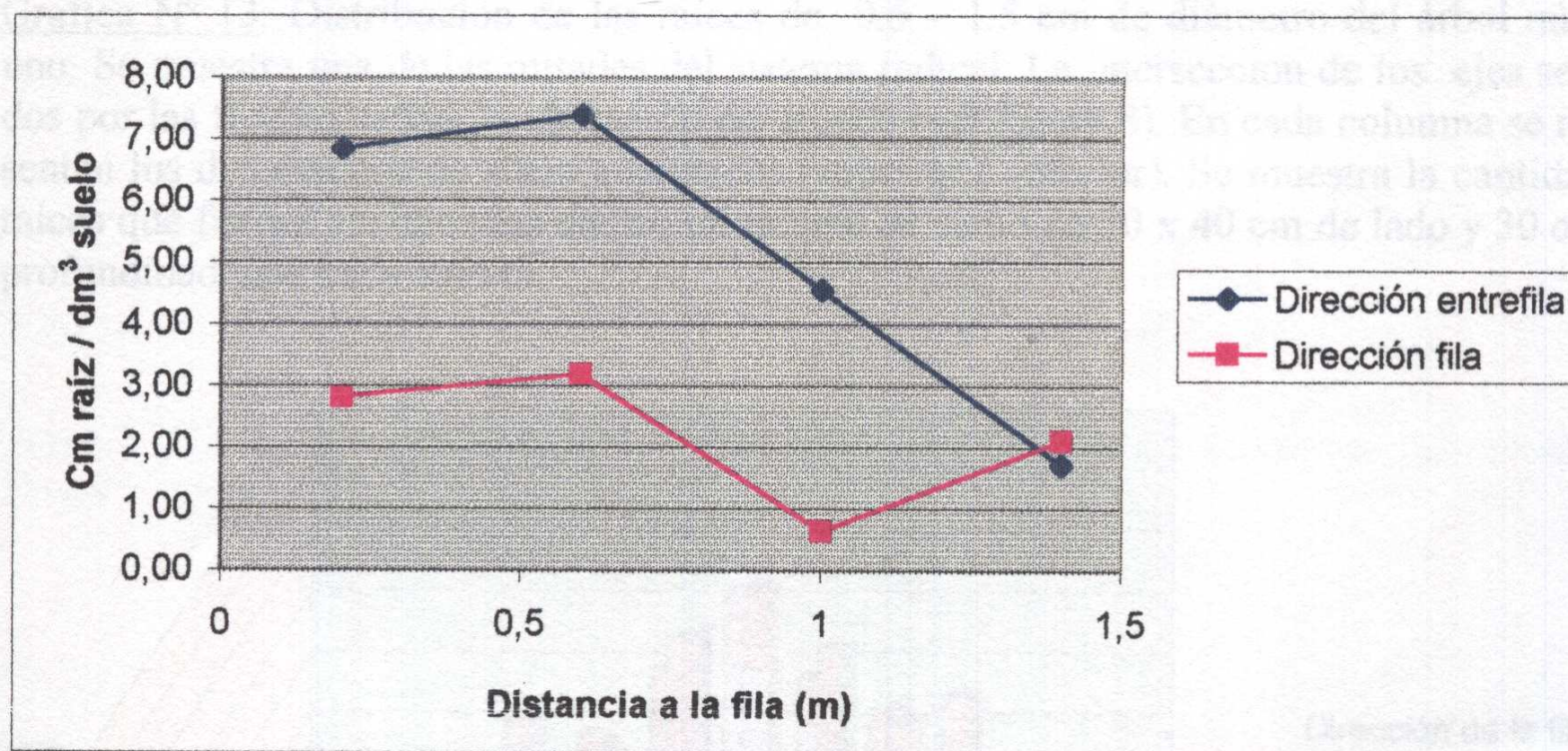


Figura N° 24: Localización de los prismas de suelo utilizados para promediar las cantidades de raíces encontradas de 0.3 – 0.5 cm de espesor.



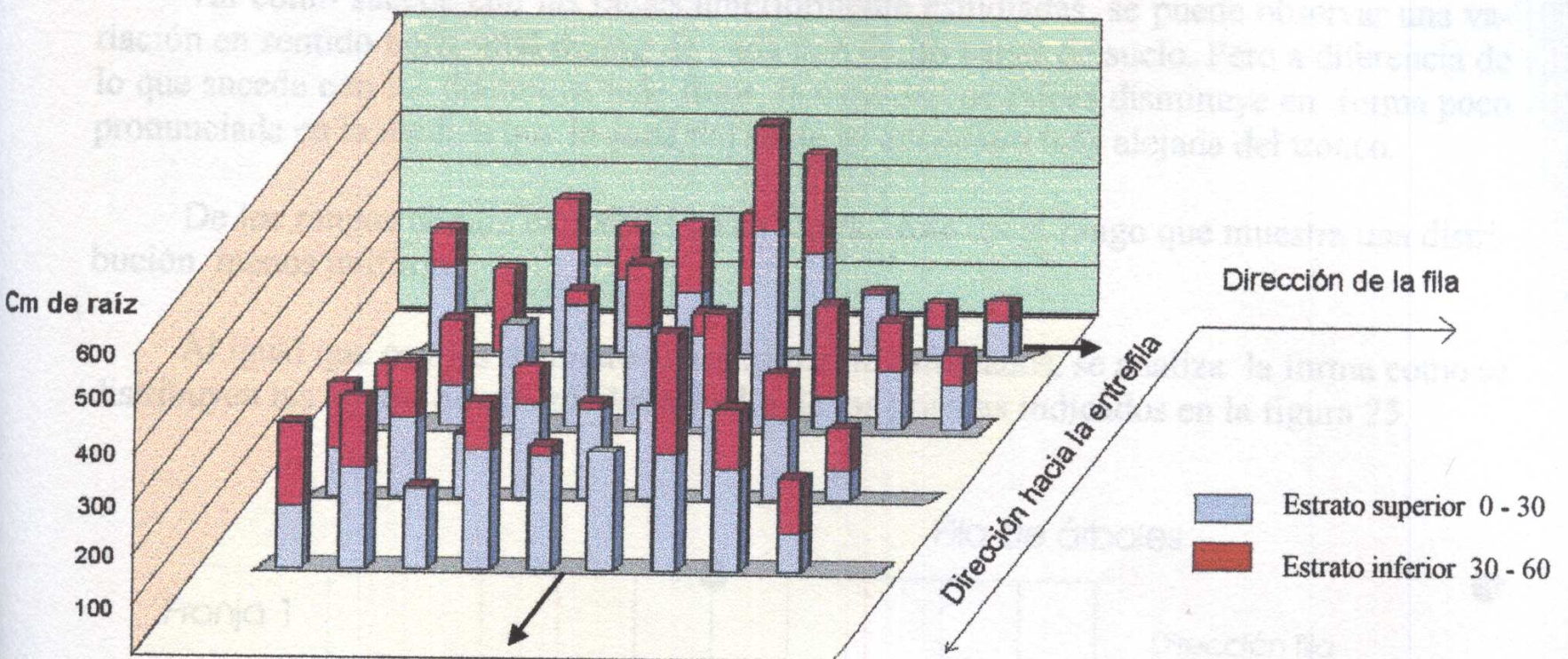
Grafica N° 11: Patrón de distribución de las raíces de 0.3 – 0.5 cm de diámetro en el sentido de la entrefila en el árbol uno.



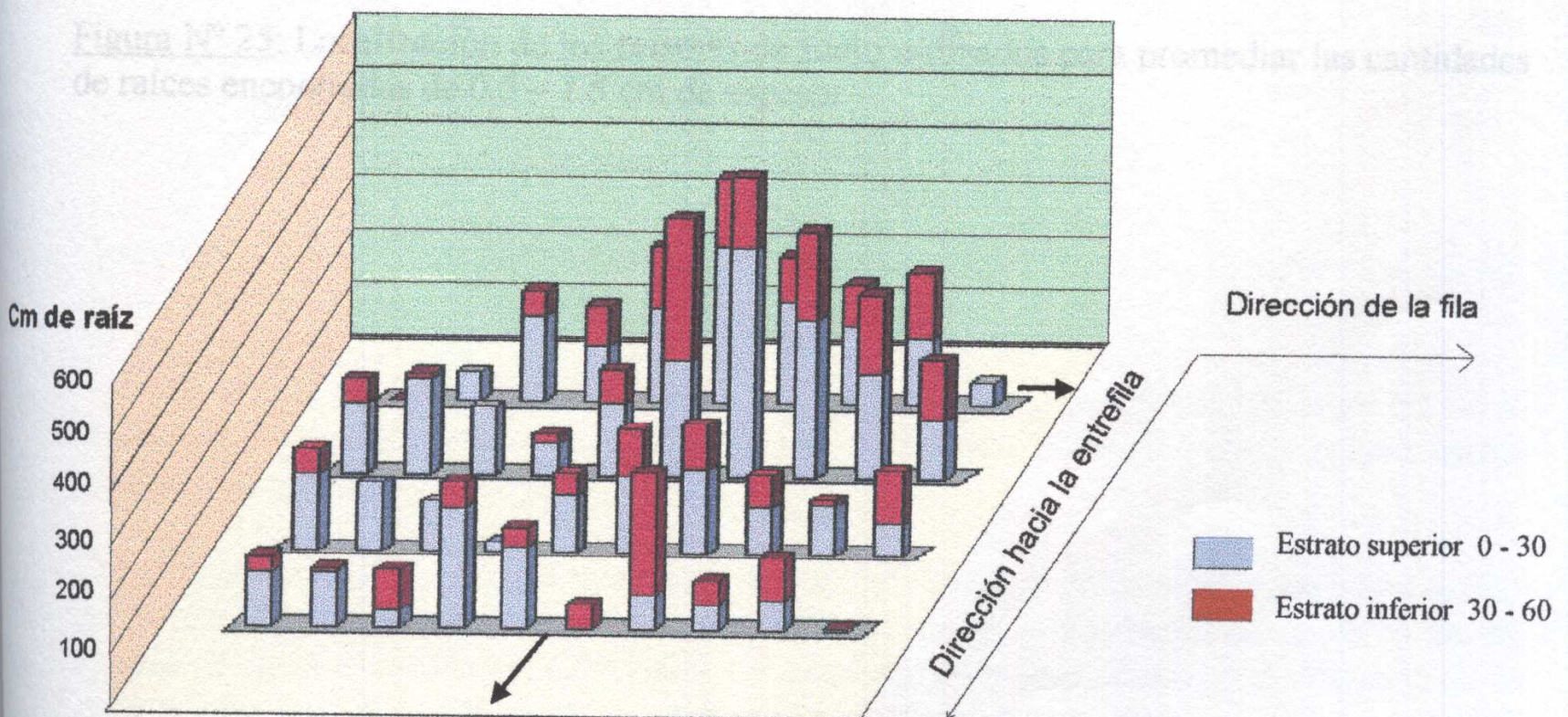
Grafica N° 12: : Patrón de distribución de las raíces de 0.3 – 0.5 cm de diámetro en el sentido de la entrefila en el árbol dos.

Las tendencias que se observan en la gráfica 11 difieren en cierto grado de las de la gráfica 12, pero es difícil saber hasta que punto representan dos situaciones distintas. De cualquier manera, tienen en común que la cantidad de raíces que se encuentran en la primera capa de suelo disminuyen en forma pronunciada a medida que la zona del sistema radical se encuentra más alejada de la línea de la fila. En cambio, en la segunda capa de suelo, la densidad de raíces parece mantenerse más uniforme en toda la zona estudiada.

c Distribución de las raíces entre 0.5 – 1.5 cm de diámetro



Grafica N° 13: Distribución de las raíces de 0.5 – 1.5 cm de diámetro del árbol número uno. Se muestra una de las mitades del sistema radical. La intersección de los ejes señalados por las flechas señala la ubicación del tronco (ver figura 8). En cada columna se representan los dos estratos de suelo analizados (superior e inferior). Se muestra la cantidad de raíces que fueron encontradas dentro un prisma de suelo de 30 x 40 cm de lado y 30 cm de profundidad para cada estrato.



Grafica N° 14: Distribución de las raíces de 0.5 – 1.5 cm de diámetro del árbol número dos. A ésta gráfica le corresponden las mismas referencias de la gráfica N° 13.

La cantidad de raíces encontradas en cada capa de suelo es igual en los dos árboles. En el estrato superior se encuentra el 65 % y en el inferior el restante 35 %.

Tal como sucede con las raíces anteriormente estudiadas, se puede observar una variación en sentido horizontal dentro de cada una de las capas de suelo. Pero a diferencia de lo que sucede con los diámetros más finos, la cantidad de raíces disminuye en forma poco pronunciada en la medida que la zona del suelo se encuentra más alejada del tronco.

De los rangos de raíz expuestos hasta ahora, éste es el rango que muestra una distribución menos uniforme.

Al igual que con los diámetros anteriormente estudiados, se analiza la forma como se distribuyen las raíces. Se utilizó el promedio de los prismas indicados en la figura 25.

Gráfica N° 25: Patrón de distribución de las raíces de 0.5 - 1.5 cm de diámetro en el sentido de la entrefila en el árbol uno

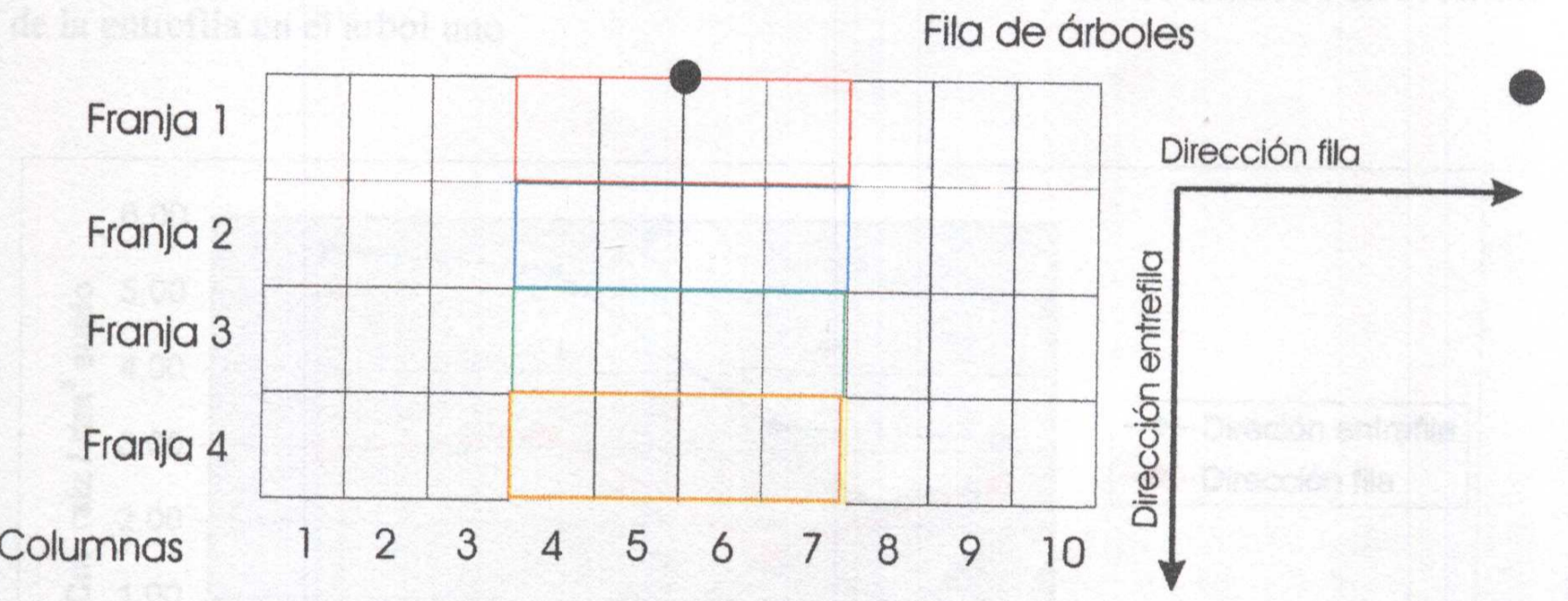


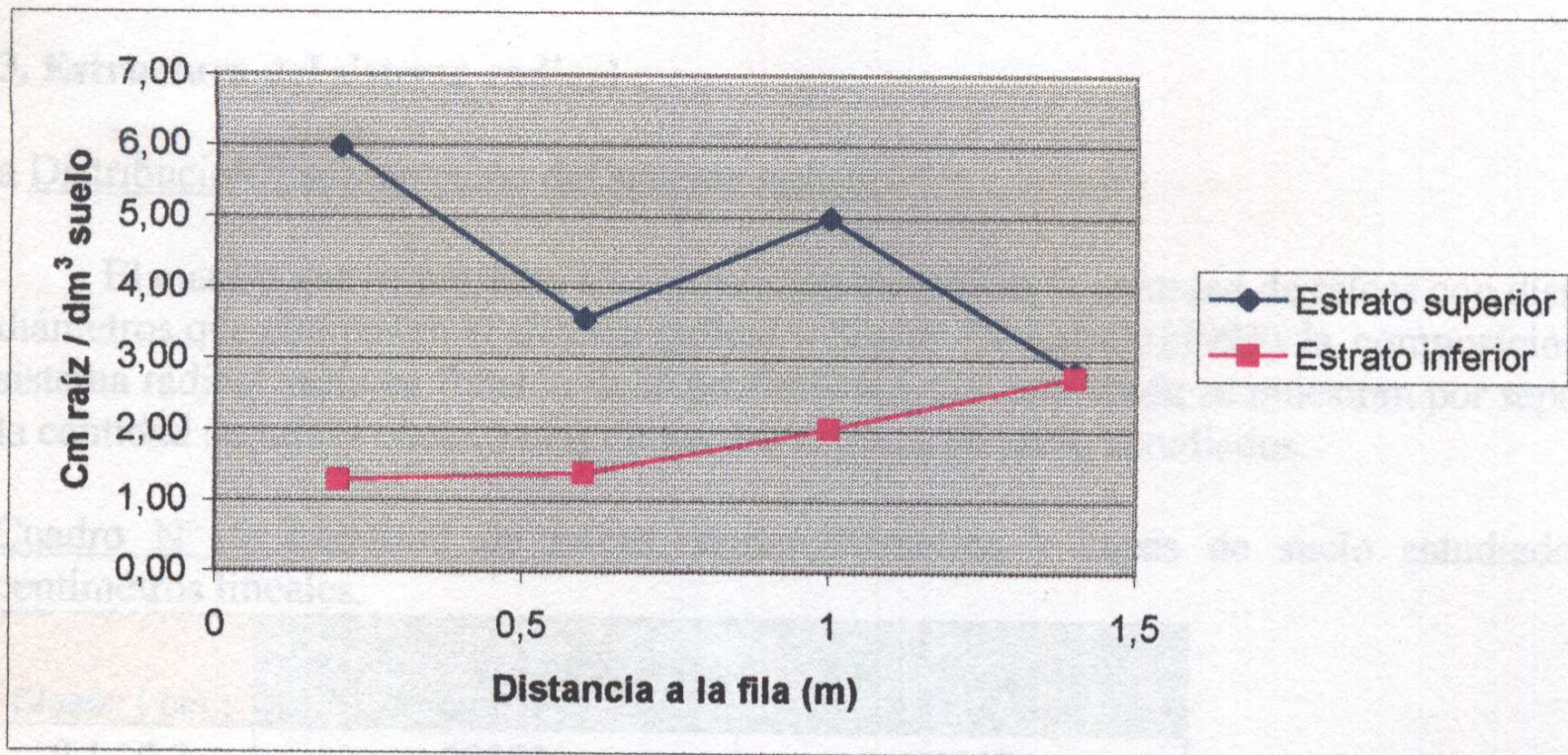
Figura N° 25: Localización de los prismas de suelo utilizados para promediar las cantidades de raíces encontradas de 0.5 - 1.5 cm de espesor

Distancia a la fila (m)

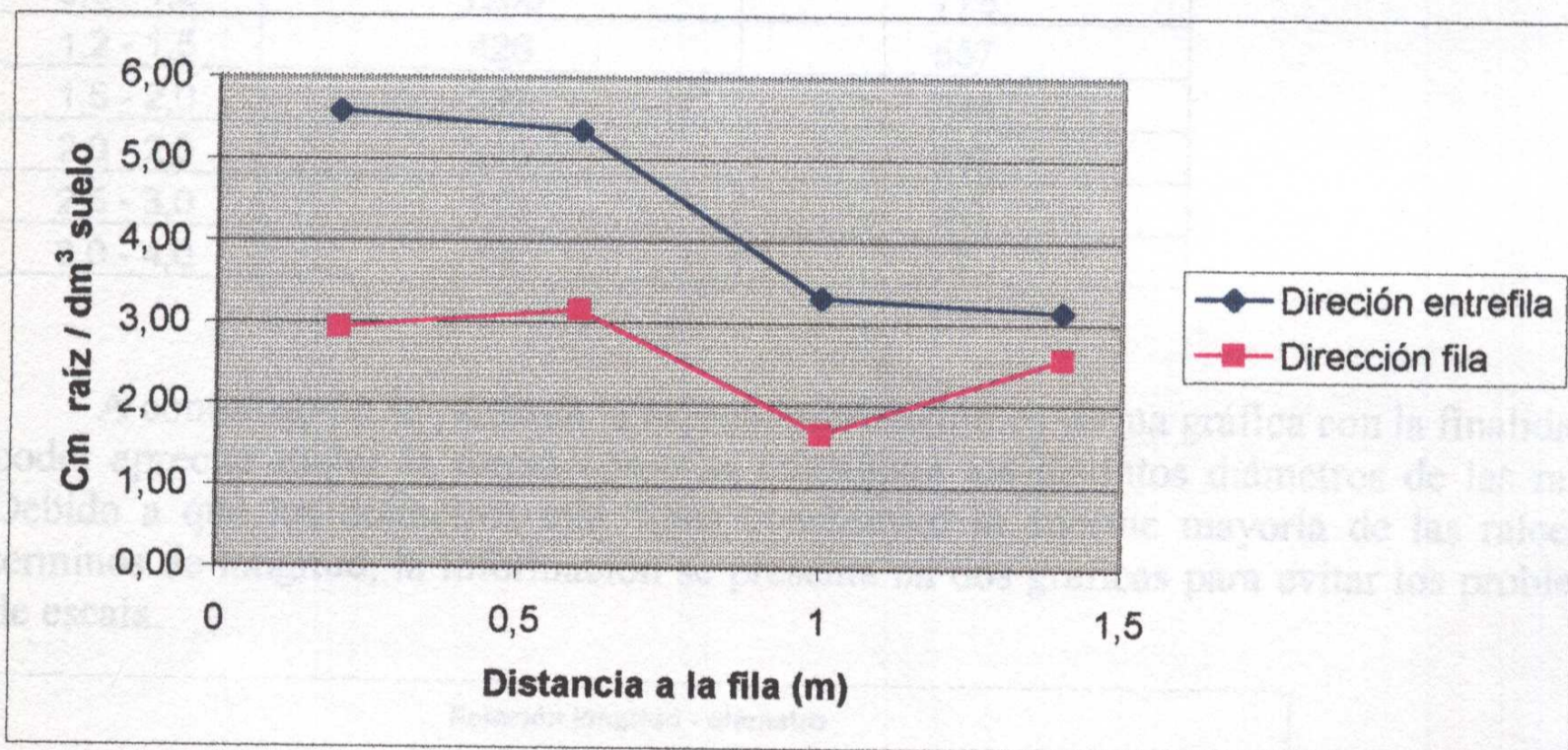
Gráfica N° 16: Patrón de distribución de las raíces de 0.5 - 1.5 cm de diámetro en el sentido de la entrefila en el árbol dos

Es difícil saber en una situación en la cual hay tanta desuniformidad entre las cantidades de raíces encontradas en cada bloque, hasta qué punto los datos seleccionados representan una imagen general.

Se puede observar que las tendencias que siguen cada uno de los árboles son bastante diferentes entre sí. Mientras que en el árbol uno la forma como se distribuyen las raíces en los dos estratos de suelo es totalmente diferente, en el árbol dos en ambos estratos la distribución de las raíces sigue tendencias similares. Lo que tienen en común ambos casos es que en la medida que la zona del suelo se ubica más lejos del tronco, la cantidad de raíces que hay en ambos estratos tiende a aproximarse.



Grafica N° 15: Patrón de distribución de las raíces de 0.5 – 1.5 cm de diámetro en el sentido de la entrefila en el árbol uno



Grafica N° 16: Patrón de distribución de las raíces de 0.5 – 1.5 cm de diámetro en el sentido de la entrefila en el árbol dos

Es difícil saber en una situación en la cual hay tanta desuniformidad entre las cantidades de raíces encontradas en cada bloque, hasta qué punto los datos seleccionados representan una patrón general.

Se puede observar que las tendencias que siguen cada uno de los árboles son bastante diferentes entre sí. Mientras que en el árbol uno la forma como se distribuyen las raíces en los dos estratos de suelo es totalmente diferente, en el árbol dos en ambos estratos la distribución de las raíces siguen tendencias similares. Lo que tienen en común ambos casos es que en la medida que la zona del suelo se ubica más lejos del tronco, la cantidad de raíces que hay en ambos estratos tiende a emparejarse.

3. Estructura del sistema radical

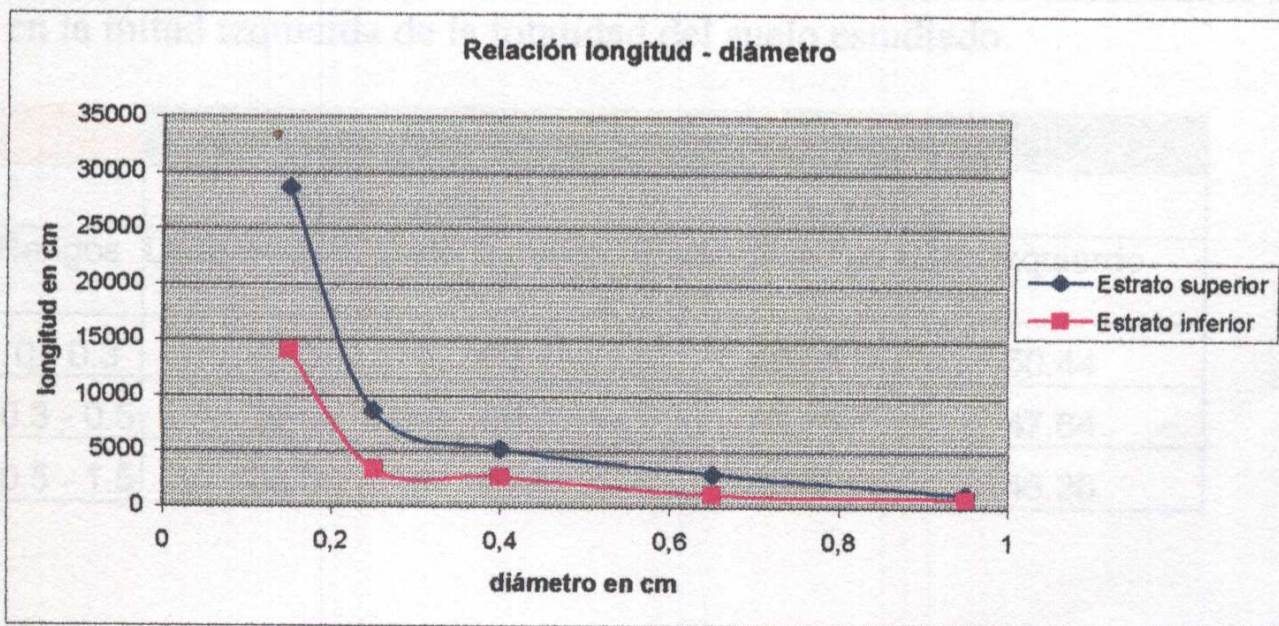
a Distribución y composición del sistema radical

El cuadro que se presenta a continuación cuantifica la cantidad de raíces con distintos diámetros que componen al sistema radical. Según De Lucca (1995) la composición del sistema radical varía en función de la profundidad, por esta razón se muestran por separado la cantidad de raíces encontradas en los dos estratos de suelo estudiados.

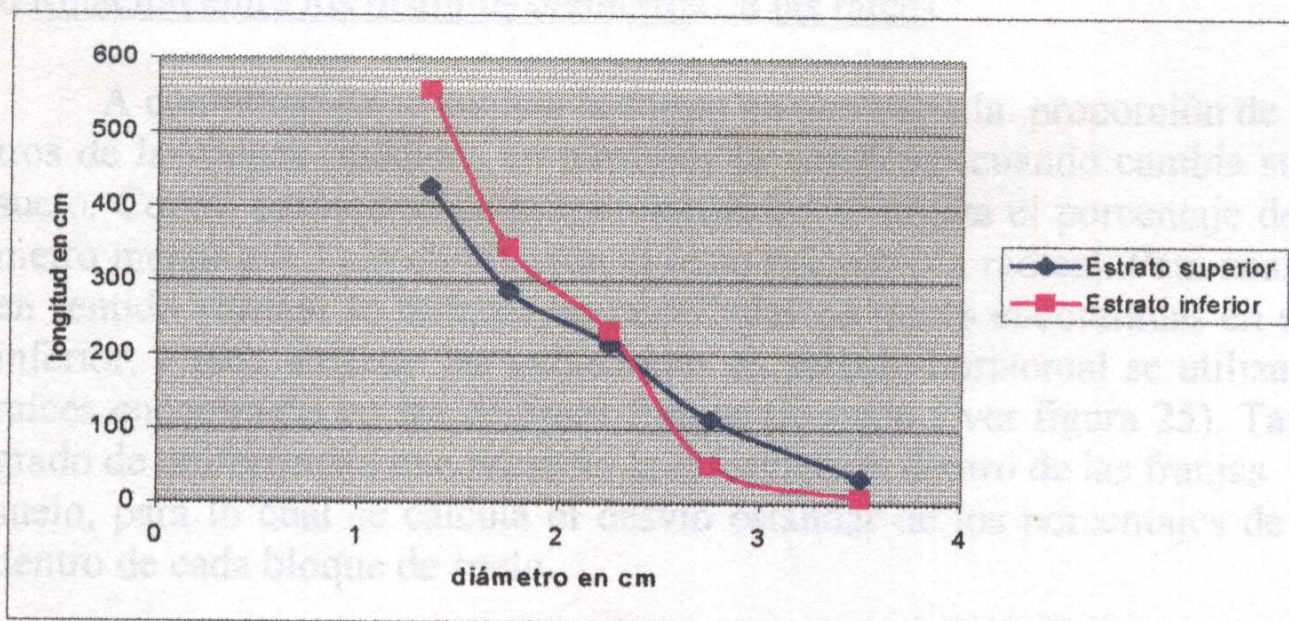
Cuadro N° 5: Longitud de raíces, según diámetros y capas de suelo estudiado, en centímetros lineales.

Clases (cm)	Longitud en el estrato superior (cm)	Longitud en el estrato inferior (cm)
0,1 - 0,2	28650	14049
0,2 - 0,3	8608	3312
0,3 - 0,5	5175	2685
0,5 - 0,8	3014	1111
0,8 - 1,2	1203	775
1,2 - 1,5	426	557
1,5 - 2,0	287	344
2,0 - 2,5	215	233
2,5 - 3,0	113	50
3,0 - 4,0	34	7

A continuación se presenta la misma información en forma gráfica con la finalidad de poder apreciar mejor la forma como se relacionan los distintos diámetros de las raíces. Debido a que los diámetros más finos constituyen la enorme mayoría de las raíces en términos de longitud, la información se presenta en dos gráficas para evitar los problemas de escala.



Gráfica N° 17 A: Relación entre longitud y diámetro de las raíces encontradas en los dos estratos de suelo estudiados (diámetros menores a 1 cm)



Grafica N° 17 B: Relación entre longitud y diámetro de las raíces encontradas en los dos estratos de suelo estudiados (diámetros mayores a 1 cm)

Cuando los diámetros de las raíces son menores a 1 cm, la cantidad de raíces en el estrato superior es mayor que en el estrato inferior. Esta diferencia se acentúa en la medida que los diámetros son menores. De los diámetros próximos a 1 cm en adelante las cantidades de raíces son similares en los dos estratos de suelo.

En el cuadro que se presenta a continuación se puede ver la distribución en sentido horizontal de los distintos diámetros de las raíces que integran el sistema radical. La totalidad de la zona estudiada, vista desde la entrefila, se divide en dos mitades. La mitad izquierda está integrada por las columnas 1,2,3,4 y 5, y la mitad derecha esta integrada por las columnas 6, 7,8,9, y 10 (ver figura 25).

Cuadro N° 6: Porcentajes de raíces de distintos diámetros encontrados en la mitad derecha y en la mitad izquierda de la totalidad del suelo estudiado.

Rangos	Árbol 1		Árbol 2	
	Lado derecho	Lado izquierdo	Lado derecho	Lado izquierdo
0 - 0.3	40.3	59.7	49.56	50.44
0.3 - 0.5	39.4	60.7	52.36	47.64
0.5 - 1.5	38.2	61.7	53.62	46.38

b Relación entre los distintos diámetros de las raíces

A continuación se analiza la forma en que varía la proporción de los distintos diámetros de las raíces (medidas en términos de longitud) cuando cambia su ubicación en el suelo. Como parámetro de proporcionalidad se utiliza el porcentaje de raíces con un diámetro menor a 0.3 cm en relación al resto del sistema radical. Para analizar las variaciones en sentido vertical se utilizan las cantidades de raíces encontradas en el estrato superior e inferior, y para analizar las variaciones en sentido horizontal se utilizan las cantidades de raíces encontradas en las distintas franjas de suelo (ver figura 25). También se analiza el grado de uniformidad que presenta la información dentro de las franjas y de los estratos de suelo, para lo cual se calcula el desvío estándar de los porcentajes de raíces encontrados dentro de cada bloque de suelo.

Cuadro N ° 7: Porcentaje de raíces (medidas en longitud) con un diámetro menor a 0.3 cm, pertenecientes a las distintas franjas del estrato superior e inferior y desvío estándar de la información que integra a las franjas y a los estratos de suelo.

	Árbol 1				Árbol 2			
	Estrato superior		Estrato inferior		Estrato superior		Estrato inferior	
	Porcentaje	D.E.	Porcentaje	D.E.	Porcentaje	D.E.	Porcentaje	D.E.
Franja 1	0,90	0,02	0,88	0,04	0,91	0,04	0,87	0,07
Franja 2	0,91	0,04	0,90	0,04	0,93	0,02	0,90	0,05
Franja 3	0,92	0,02	0,91	0,05	0,89	0,02	0,84	0,06
Franja 4	0,92	0,02	0,94	0,03	0,91	0,02	0,88	0,05
Estrato	0,91	0,03	0,91	0,05	0,91	0,03	0,87	0,06

(D.E.) Desvío Estándar

En el cuadro se puede observar que la proporción entre las raíces finas y el resto de las raíces no presenta grandes variaciones ni en el sentido horizontal ni en el sentido vertical. Se observa que en el estrato superior los porcentajes de las distintas franjas son más uniformes. En éstos estratos también se observa que la variación (desvío estándar) entre los bloques de suelo es menor que en los estratos inferiores.

4. Relación entre sistemas radicales contiguos

En la figura que sigue a continuación se esquematiza el emplazamiento de los volúmenes de suelo que fueron removidos con la finalidad de dejar a descubierto las raíces de árboles vecinos.

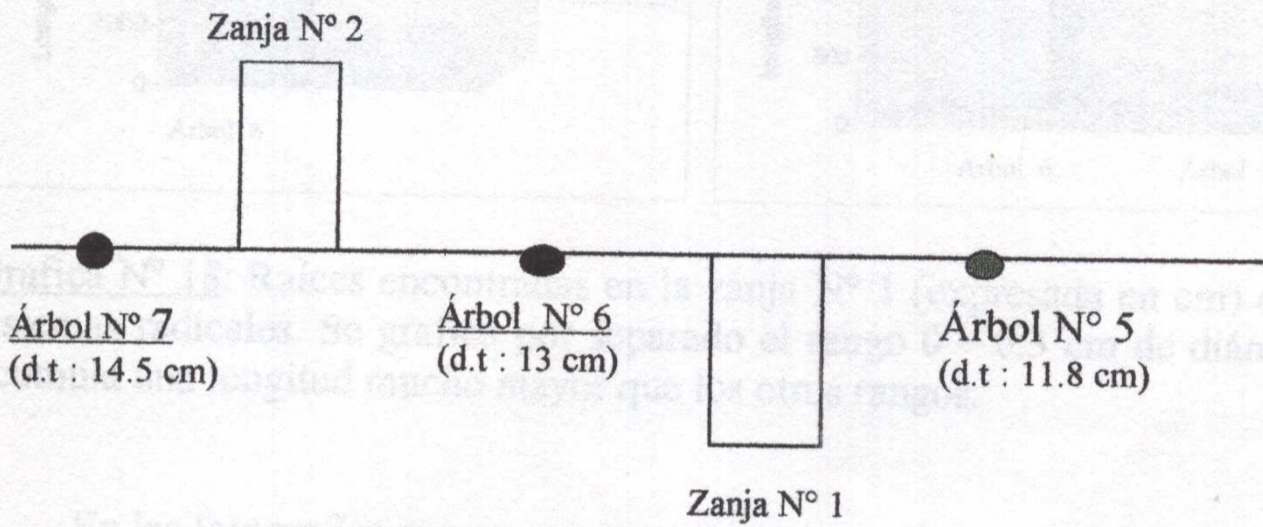


Figura N° 26: Localización de las zonas estudiadas y diámetros de los troncos de los árboles (d.t)

En las figuras 27 A y 27 B se puede observar las raíces encontradas entre los árboles número 5 y 6.

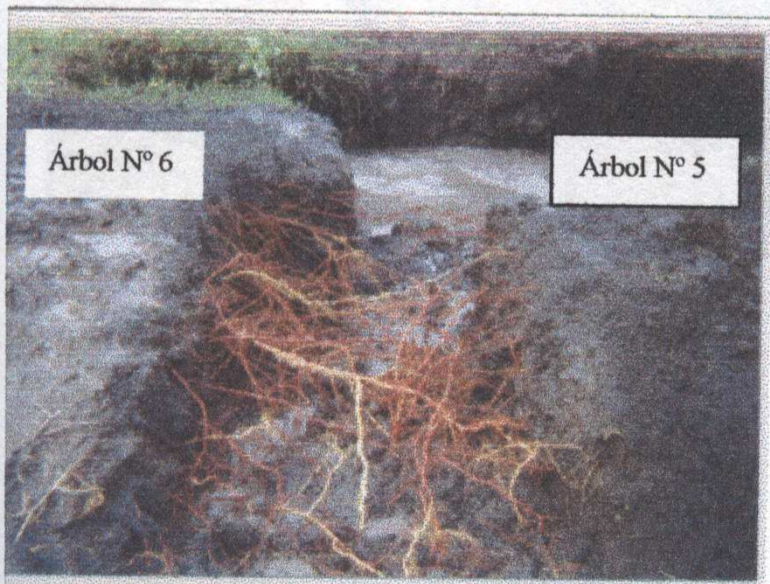
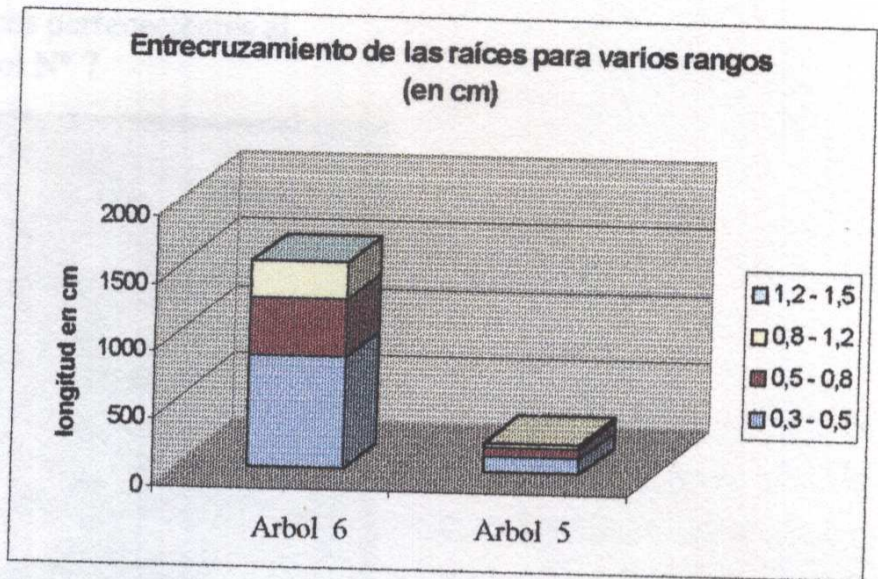
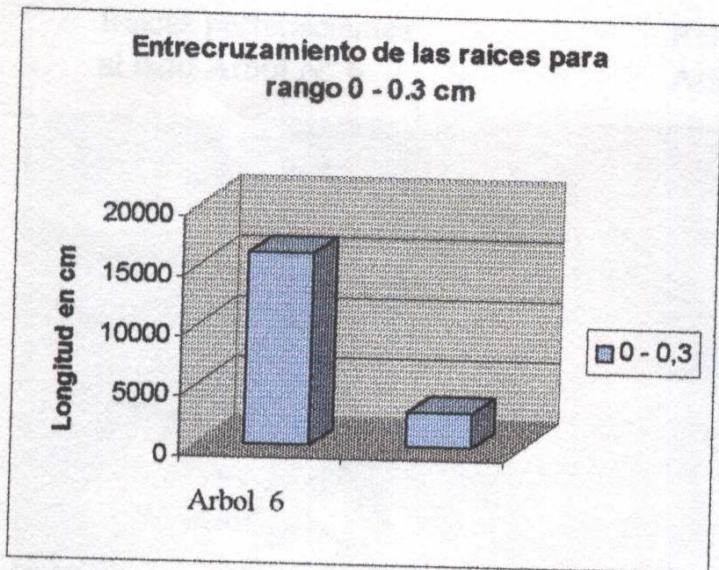


Figura N° 27 A: Zanja N° 1, zona del suelo donde se removió la tierra. Las raíces que se pueden observar forman parte de los dos sistemas radicales

Figura N° 27 B: Zanja N° 1 después de remover las raíces del lado izquierdo



Grafica N° 18: Raíces encontradas en la zanja N° 1 (expresada en cm) de cada uno de los sistemas radicales. Se grafica por separado el rango 0 – 0.3 cm de diámetro debido a que acumula una longitud mucho mayor que los otros rangos.

En las fotografías que se muestran a continuación se puede observar las raíces encontradas entre los árboles número 6 y 7.

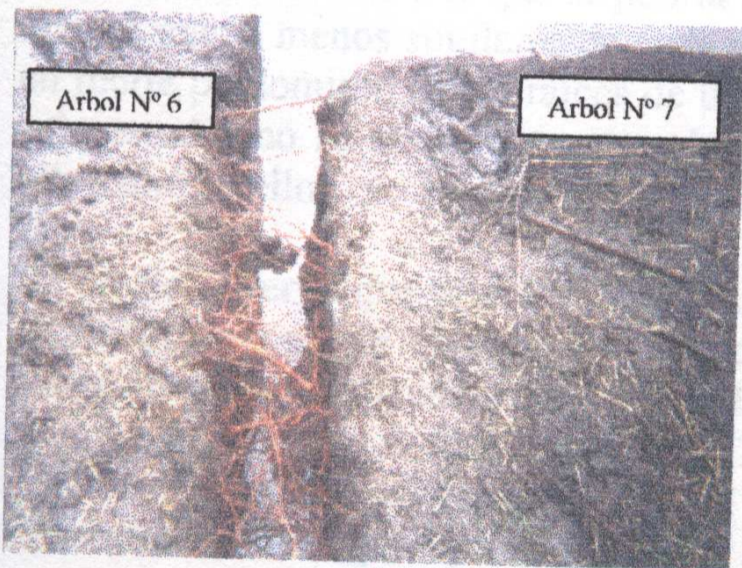


Figura N° 28 A: Zanja N° 2, totalidad de las raíces encontradas en la zona de suelo estudiada

Figura N° 28 B: Zanja N° 2 después de remover las raíces pertenecientes al árbol N° 7

Raíces pertenecientes
al lado Árbol N° 6

Raíces pertenecientes al
Árbol N° 7

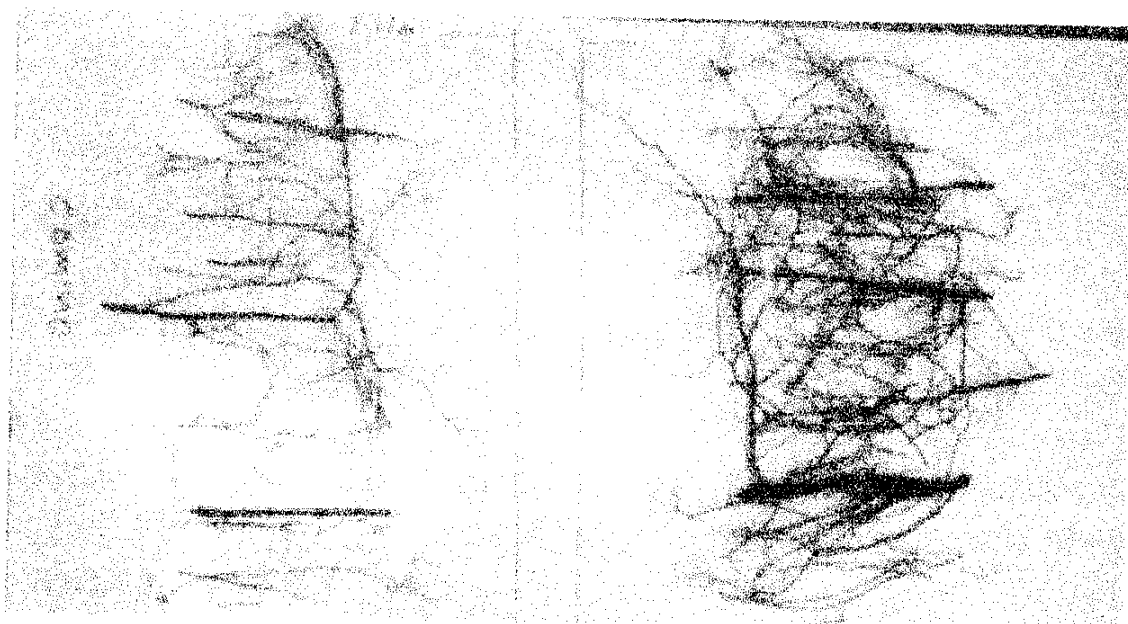


Figura N° 29: Cantidad de raíces perteneciente a cada uno de los sistemas radicales.

En relación a los resultados obtenidos, cabe observar que existe un cierto grado de entrecruzamiento entre los sistemas radicales de los árboles estudiados.

Contrariamente a lo que se podría esperar, la zona estudiada no está ocupada por cantidades más o menos similares de cada uno de los sistemas radicales. Lo que se observa es un fuerte predominio de las raíces de un árbol con respecto al otro. Probablemente la zona bajo estudio no se encuentre entre el límite de ambos sistemas radicales, sino más bien sobre uno de ellos.

Se observa que el predominio en la cantidad de raíces de un árbol con respecto a otro coincide con los diámetros de tronco (d.t.) que éstos presentan. En la zanja N° 1 se puede observar que hay una mayor cantidad de raíces del árbol 6 (d.t.= 13 cm) con respecto al árbol 5 (d.t.=11.8 cm). En la zanja N° 2 hay una mayor cantidad de raíces del árbol 7 (d.t.= 14.5 cm) que del árbol 6 (d.t.=13 cm). En el caso del árbol 6 donde hacia un lado tiene menos raíces que el árbol vecino y hacia el otro lado más que éste; se podría pensar que el sistema radical de éste árbol no se encuentra perfectamente distribuido alrededor del tronco, sino que está desplazado hacia uno de los lados.

V. DISCUSIÓN

A. DISTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES

El sistema radical está determinado por las características del portainjerto, de la variedad injertada sobre éste y de las condiciones ambientales.

Dentro de lo que depende del árbol en sí mismo, la estructura y distribución de las raíces están determinadas principalmente por las características del portainjerto. Pueden haber importantes variaciones entre distintos portainjertos pertenecientes a una misma especie. La variedad que forma la copa, también ejerce una influencia sobre las características del sistema radical, pero sobre todo en lo que respecta al vigor, más que a las características estructurales.

Las condiciones climáticas afectan directamente a la parte aérea de la planta y a las raíces a través de la particular relación que se establece con cada suelo. Cada tipo de suelo tiene una serie de características que le son propias, y muchas de éstas interaccionan con las condiciones climáticas.

Son muchos los factores que dan como resultado un determinado sistema radical, por lo que parece adecuado comparar éste trabajo solo a un nivel general con otros trabajos realizados bajo condiciones diferentes.

1. Distribución en sentido vertical

La mayor parte del sistema radical fue encontrado dentro de un espesor de 60 cm de suelo. Dentro de éste espesor, se encontró que casi el 70 por ciento del total de las raíces (medidas en longitud) se encontraban ubicadas en los primeros 30 cm de suelo. Esto concuerda con lo que dice Atkinson (1980). En base a una revisión bibliográfica sobre distintos frutales de carozo, menciona que en los trabajos por él analizados la mayoría de las raíces fueron encontradas en una zona de 0 – 60 cm de profundidad, con un número significativo entre los 0 – 25 cm (el autor no especifica ningún tipo de suelo en particular).

En el trabajo de Mitov et al (1991) se analiza la distribución de las raíces de cuatro portainjertos distintos para duraznero (el suelo se describe como típico para éste cultivo). De los 100 cm de suelo estudiados, se encontró que en todos los casos aproximadamente el 90 % del total de las raíces (medidas en peso) se encontraban dentro de los primeros 60 cm, a partir de los cuales la cantidad de raíces decrecía rápidamente. La capa con mayor cantidad de raíces estaba ubicada entre los 20 y 40 cm de profundidad. En los primeros 20 cm de suelo la cantidad de raíces era baja, pero es probable que esto se deba a que una vez al año durante el otoño, se araba una capa de suelo de 15 a 20 cm.

Franco et al (1993) realizaron un trabajo con almendros instalados sobre un suelo franco arcilloso. El agua que recibía el cultivo era casi exclusivamente la aportada por el

riego. Encontraron que bajo la línea de goteros, en donde la humedad era uniforme hasta una profundidad de 1,5 metros, la cantidad de raíces decrecía con el aumento de la profundidad. La mayor densidad de raíces se encontraba dentro de los primeros 30 cm de suelo, y dentro de los 60 cm se encontraba el 80 % del total de éstas.

Arbrisqueta et al (1997) realizaron un trabajo sobre almendros sometidos a dos niveles de riego. Encontraron que en los dos tratamientos las cantidades de raíces seguían tendencias similares, donde éstas disminuían al aumentar la profundidad del suelo. En los dos casos la mayoría de las raíces estaban ubicadas en los primeros 60 cm de profundidad. Los tratamientos se diferenciaron en que los árboles que recibieron una mayor cantidad de agua desarrollaron más sus raíces en todas las profundidades estudiadas.

A continuación se discute la forma en que se distribuyen los distintos diámetros de las raíces que forman parte del sistema radical.

Se encontró que la proporción de raíces con un diámetro menor a 0.3 cm en relación al resto del sistema radical (medidas en longitud), no variaba en forma importante dentro de los dos niveles de suelo estudiados. Esto concuerda con el trabajo realizado por Bargioni et al (1985), donde las raíces finas se distribuyen en forma uniforme en la misma zona ocupada por las raíces gruesas, aunque se encontró una importante cantidad de raíces finas cerca de la superficie. En el trabajo de Huidobro (1985), en donde se estudian 3 especies de carozo desarrolladas sobre un suelo arenoso; se observa que las raíces menores a 2 mm de diámetro se distribuyen en forma más uniforme en los 80 cm de suelo analizado, que las raíces con diámetro mayor.

De Lucca (1995) encontró que las raíces finas y las raíces gruesas se distribuían de manera diferente en el perfil de suelo. En el primer horizonte de suelo (aproximadamente 20 cm de espesor), las raíces con diámetros menores a 2 mm representaban el 25 % del peso total del sistema radical, en cambio en el segundo horizonte de suelo, este rango solo representaba el 5 % del total. Se puede observar que hay una importante diferencia entre lo que encontró De Lucca y lo que se observó en el trabajo realizado, a pesar de que en ambos casos se trabajó sobre el mismo portainjerto. Probablemente éstas diferencias se deban a que los árboles estudiados se encontraban sobre suelos con distintas características. Lo que encontró éste autor estaría de acuerdo con lo que dice Calderón (1983), el cual sostiene que en general, la gran mayoría de las raíces de diámetros finos se ubican en los primeros 30 cm de suelo. La tendencia a ubicarse más cerca de la superficie que presentan las raíces finas, se hace más pronunciada en la medida que la textura del suelo es más arcillosa.

Sin embargo la forma en que se distribuyen los distintos diámetros de las raíces no solo se ve afectada por las características de los suelos, sino que también esta determinada por factores genéticos. Por ejemplo en el trabajo de Mitov et al (1991), en donde las raíces se agrupan en tres rangos de espesor, cada uno de los portainjertos estudiados sigue una tendencia diferente. En uno de los casos, las cantidades de raíces de los distintos rangos se distribuyen de forma similar en las distintas capas de suelo. En otro de los casos no hay ningún tipo de coincidencia, y en los otros dos casos se dan situaciones intermedias.

2. Distribución en sentido horizontal

En el trabajo realizado se encontró que la cantidad de raíces tiende a disminuir en la medida que la zona del suelo se ubica más lejos del tronco. Esto sucede tanto hacia la entrefila como hacia los árboles vecinos dentro de la fila.

En líneas generales, el comportamiento que sigue la distribución de las raíces observado en el trabajo, parecer ser una característica común para varios tipos de árboles frutales. De esta forma Bargioni et al (1985) encontraron que en el portainjerto para duraznero GF 655/2, la cantidad de raíces disminuía con la distancia al tronco. Incluso en dos de los casos el 66 % de las raíces (medidas en peso) se encontraban dentro de una distancia de 50 cm con respecto a la línea de la fila. En el trabajo de Huidobro et al (1985) encontraron que las raíces seguían este mismo comportamiento. Los mismo sucede en un trabajo sobre portainjertos para manzana realizado por Mata Beltrán, citado por Calderón (1983). En el trabajo de Valenzuela et al (1990) sobre plantas de kiwi, encontraron que la gran mayoría de las raíces finas y gruesas se ubicaban cerca del tronco.

Pero dentro de ésta líneas generales se pueden observan diferencias entre portainjertos pertenecientes a una misma especie. Por ejemplo, en los trabajos de Rogers citados por Martínez Zaporta (1964) sobre distintos portainjertos clonales para manzana, encontró que cuando se considera la masa total de las raíces por unidad de área, esta tiende a disminuir en la medida que aumenta la distancia al tronco. Pero cuando se consideran solo las raíces finas se observan importantes diferencias entre los distintos portainjertos. En dos de los casos analizados, con el aumento de la distancia al tronco, la cantidad de raíces se mantiene mas o menos estable hasta un determinado punto en donde empieza a disminuir. En los otros dos casos la cantidad de raíces es baja en un radio cercano al tronco, luego se incrementa y se mantiene dentro del área estudiada. En el trabajo de Mitov et al (1991), se puede observar a través de las planimetrías que presentan, que hay importantes diferencias en las estructuras de los sistemas radicales estudiados. En algunos casos las raíces principales solo se ramifican cerca de sus extremidades, en cambio en otros casos éstas raíces presentan importantes ramificaciones a lo largo de toda su extensión, situación en la cual es probable que la distribución de las raíces finas sea mucho más uniforme en toda el área de suelo estudiada.

En el trabajo realizado se analizó el comportamiento que siguen los distintos diámetros de raíces en su distribución. A un nivel tan particular como éste, no se encontró un punto de comparación dentro de la bibliografía consultada.

En la categoría de raíces que va de 0 – 0.3 cm de diámetro, se puede observar en las graficas número 3 y 4 que en el primer estrato de suelo la cantidad de raíces disminuye a medida que aumenta la distancia al tronco. La forma en que varía la cantidad de raíces es similar en dirección hacia la entrefila y en dirección hacia la fila.

En cierta medida lo que explica la cantidad de raíces son las condiciones del medio para el crecimiento de éstas. Como se puede observar en la figura 7 el estrato superior de

suelo queda ubicado en su mayoría dentro del horizonte A, salvo la última franja donde aproximadamente $\frac{2}{3}$ quedan dentro del A y $\frac{1}{3}$ queda dentro del horizonte B. El hecho de que no hallan grandes diferencias hacia una dirección o hacia la otra podría deberse a que dentro del radio estudiado las condiciones del medio se mantienen más o menos uniformes. Hacia ambas direcciones las condiciones del medio comienzan a variar en el límite de la zona estudiada. Hacia la entrefila se adelgaza el espesor del horizonte A a partir de la última franja de suelo analizado, en tanto que hacia la fila comienza la competencia con las raíces del árbol vecino.

En el estrato inferior, se observan en las gráficas 5 y 6 que la variación en la cantidad de raíces es muy similar tanto en dirección hacia la entrefila como en dirección hacia la fila.

En base a esto, se podría pensar que las condiciones del suelo que afectan al crecimiento de las raíces, eran uniformes en las dos direcciones estudiadas.

En este caso la forma en que disminuye la cantidad de raíces con el aumento de la distancia al tronco, es menos pronunciada que en el estrato superior. Teniendo en cuenta que éste estrato queda ubicado dentro de una capa de suelo de textura más pesada, sería de esperar que la cantidad de raíces disminuyera más rápidamente de lo que sucede en el estrato superior, o al menos siguiera una tendencia similar a éste. Con respecto a esto, Martínez Zaporta (1964) y Valenzuela et al (1990), afirman que la expansión de las raíces tiende a quedar restringida a un volumen de suelo más reducido en la medida que la textura del suelo es más pesada. Por otro lado Trocme y Gras (1979) mencionan que las raíces de los durazneros pueden penetrar fácilmente en un suelo arcilloso cuando éste tiene una buena estructura. Es probable que ésta sea la situación que se presentó en el trabajo realizado.

Por otro lado, la ubicación de las raíces además de estar determinada por las condiciones del medio, también está determinada por el hábito de crecimiento particular de cada portainjerto. En este caso lo que podría suceder es que la masa de raíces tiende a ubicarse a más profundidad a medida que aumenta la distancia al tronco, y por ésta razón la densidad de raíces en el estrato inferior tiende a permanecer constante. Con respecto a esto es interesante observar que en los sistemas radicales en los cuales se estudió su estructura (figuras 26 b y 28 b) la mayoría de las raíces importantes presentan ángulos iguales o mayores a 15 grados con respecto a la línea horizontal, es decir que las raíces en vez de extenderse en forma horizontal, tienden a profundizar. En base a lo que se puede observar en el cuadro 7, las raíces con distintos diámetros siguen una tendencia similar en la forma en que se distribuyen en el suelo.

3. Influencia del suelo en la distribución de las raíces

En el trabajo realizado se estudiaron algunas de las características del suelo que se consideraron más influyentes en el crecimiento de las raíces. En éste sentido, se analizó la

capacidad de retención de agua y el espacio poroso del suelo hasta una profundidad de un metro.

Dentro de los 60 cm espesor, en los cuales se estudió la distribución de las raíces, no se encontraron grandes variaciones ni entre la cantidad de agua disponible total ni entre la cantidad de agua fácilmente disponible. Probablemente no sea este factor el que explique las diferencias en cantidades de raíces que se presentan con el aumento de la profundidad (ver anexo gráfica 19).

La porosidad total tiende a decrecer en forma leve dentro de los primeros 60 cm de la profundidad. En el caso de los macroporos se encontraron diferencias entre los dos estratos de suelo analizados. El promedio de macroporosidad para el estrato superior es del 14.6 % del volumen del suelo, mientras que en el estrato inferior el valor es del 11.3 % (ver anexo gráfica 20).

La cantidad de macroporos del suelo es útil para brindar una idea general sobre la cantidad de oxígeno que llega a las raíces, pero no es el único factor del cual depende éste proceso. Por esta razón es difícil decir si en los niveles más profundos del suelo estudiado, la cantidad de oxígeno disponible para las raíces cae por debajo del nivel necesario para el crecimiento de éstas.

4. Estructura y composición del sistema radical

En cuanto a la estructura del sistema radical no se encontraron puntos de comparación dentro de la bibliografía consultada. Las características que se analizaron fueron grosor y longitud de las raíces principales, ángulos de inserción en el tronco, y abundancia y ubicación de las raíces secundarias. En este caso, éste tipo información sólo constituye una forma más de describir y caracterizar al portainjerto estudiado.

Los diferentes portainjertos, presentan grandes diferencias en la proporción de raíces con distintos diámetros que integran a los sistemas radicales. Éste es el caso del trabajo realizado por Massai et al (1993) en donde se comparan los sistemas radicales de dos portainjertos para duraznero. En el trabajo de Mitov et al (1991) se clasifican las raíces en los siguientes rangos; menores a 3 mm, de 3 a 10 mm y mayores a 10 mm. El porcentaje en peso del primer grupo varía considerablemente entre los distintos portainjertos analizados. En uno de los casos este rango representa el 12 % lo cual es muy similar a lo encontrado en el estudio, donde se determinó un 13 % y un 11 % para el estrato superior e inferior respectivamente.

Según Martínez Zaporta (1964) la composición del sistema radical también está determinada por las condiciones del medio en el cual se desarrollan las raíces.

5. Entrecruzamiento de las raíces

En el trabajo realizado se observó que dentro de los volúmenes de suelo analizado existía un cierto grado de entrecruzamiento entre los sistemas radicales de los árboles vecinos. Pero más allá de este volumen de suelo, no se determinó hasta que punto el sistema radical de cada árbol se introducían dentro del espacio asignado al árbol vecino. Algunos autores mencionan que las raíces del duraznero no se entrecruzan. Pero es difícil saber hasta que punto lo encontrado discrepa con lo que sostienen éstos autores, debido a que en sus trabajos no queda definida alguna forma de describir el grado de entrecruzamiento.

Según Calderón (1983), las raíces de los durazneros no se entrecruzan, sino que se repelen, cambiando la dirección de crecimiento cuando se encuentran. Bargioni et al (1985) en base a un trabajo realizado sobre la distribución del sistema radical del portainjerto GF 655/2, sostiene nuevamente que las raíces de los distintos árboles se mantienen separadas. Aunque menciona que algunas raíces se llegan a entrecruzar, pero que en estos casos siempre se encuentran a profundidades distintas, donde en general la distancia entre éstas no es menor de 15 a 20 cm. En este trabajo no se mencionan las posibles causas que ocasionan que las raíces de los árboles vecinos se mantengan separadas. En el trabajo de Mitov et al (1991) se menciona que en los cuatro portainjertos para duraznero que se estudiaron, las raíces de árboles vecinos se mantienen separadas. Según éstos autores esto se debería a fenómenos de antagonismo.

También es posible que la causa de que los sistemas radicales se mantengan más o menos apartados unos de otros se deba a fenómenos de competencia entre éstos. En los trabajos de Bargioni et al (1985) y de Mitov et al (1991) se utiliza como argumento de que las raíces del duraznero no se entrecruzan, que los sistemas radicales de cada árbol tienden a ocupar el volumen de suelo asignado, sin ocupar el volumen asignado para el árbol vecino. Sin embargo, esto es algo que Hidalgo et al (1969) encontraron en su trabajo sobre la morfología radical de la vid, siendo éste un cultivo donde no se menciona que se registren fenómenos de antagonismo.

En los volúmenes de suelo analizados se observó que a pesar de que éstos se encontraban ubicados a la misma distancia de los dos árboles, había un fuerte predominio en la cantidad de raíces de un sistema radical con respecto a otro. Los sistemas radicales que predominaban eran los que pertenecían a árboles con un tronco de mayor diámetro. Es probable que el límite entre los sistemas radicales de dos árboles se establezca en función de vigor de cada uno, y que el árbol más vigoroso tiende a ocupar un área mayor en detrimento del árbol menos vigoroso.

B. METODOLOGÍA UTILIZADA

En este trabajo se estudian distintos aspectos del portainjerto Pavía moscatel. Se centra en la distribución que tiene en el suelo los distintos diámetros de las raíces. También se estudia el aspecto que presentan las raíces, su estructura y la relación de las raíces con los

árboles vecinos. El estudio de cada uno de estos aspectos puede requerir una metodología particular.

1. Distribución de las raíces

a Zona de estudio

Para el estudio de la distribución de los distintos tipos de raíces; fue necesario definir el espacio de suelo que tenía que ser analizado. En este trabajo se decidió estudiar la mitad del sistema radical de cada uno de los ejemplares elegidos. Se planteo como objetivo estudiar la zona del suelo necesaria para abarcar la mayor parte del sistema radical. Se consideró que dicha zona quedaba delimitada por un rectángulo que se extendía en el sentido de la fila hasta la distancia media a los árboles ubicados a cada lado y en sentido de la entrefila a la distancia de la pisada de la maquinaria, quedando esta incluida.

En base a los resultados obtenidos, se puede estimar que solo un 13 a un 14 % del total de las raíces quedan mas allá la última franja de suelo muestreada (pisada de la maquinaria). De ser así, la mayor parte del sistema radical quedó ubicado dentro de la zona de suelo que fue analizada. Pero en el caso de se considerase importante abarcar la totalidad del sistema radical, habría que extender el límite del suelo bajo estudio al menos hasta la distancia media entre las filas de árboles.

Para definir la profundidad de suelo que debía ser estudiada, se observaron las cantidades de raíces ubicadas a distintas profundidades, a través de una zanja excavada al costado de la pisada de la maquinaria. Teniendo en cuenta los resultados, se podría pensar que hubiera sido más adecuado definir la profundidad de estudio a partir de la inspección visual de una zona de suelo más cercana al tronco del árbol. En éstos resultados se encontró que en la medida de que la zona del suelo se ubicaba más cerca del tronco, la cantidad de raíces era mayor en todas las profundidades analizadas. Por esta razón sería de esperar que en esta zona de suelo se ubicara una mayor cantidad de raíces por debajo del límite de los 60 cm de profundidad establecido, que en las zonas más alejadas del tronco.

b Tratamiento de la zona bajo estudio

Con la finalidad de describir la distribución de los distintos diámetros pertenecientes al sistema radical se subdividió el volumen de suelo bajo estudio en pequeños prismas (30 por 40 cm de lado y 30 cm de profundidad).

Cuando se utiliza este método, el sistema radical queda dividido en tantas partes como prismas de suelo se empleen. De esta manera se pierde la forma del sistema radical, y la información se trasforma en cantidades de raíces ubicadas en una determinada posición del suelo. En base a los resultados obtenidos, se observó que este tipo de metodología no resul-

ta igual de conveniente para brindar una visión de conjunto de la distribución de los distintos diámetros de las raíces.

En el caso de los diámetros más gruesos, esta metodología resultó poco adecuada. El valor numérico de la longitud de raíz encontrada en cada uno de los prismas de suelo, no resultó de mucha utilidad para brindar un panorama claro sobre la manera en que se distribuyen las raíces. Esto se debe a que este grupo de raíces se encuentra en bajo número y solo cubren algunas zonas en el suelo.

Probablemente sea más adecuado para describir la distribución de las raíces gruesas, los métodos en los cuales la totalidad del sistema radical permanece mas o menos inalterado, donde es posible representar la ubicación de las raíces a través de una planimetría.

En el caso de las raíces con diámetros finos, la utilización de prismas de suelo resultó adecuada para mostrar en forma clara la distribución de las raíces. En este caso, la representación gráfica de la ubicación de las raíces finas (por ejemplo una fotografía) no es una buena alternativa. Solo permite observar un tupido entramado, donde resulta difícil establecer cuales son las cantidades que están presentes en las distintas zonas del sistema radical. Para tener una visión de conjunto de la forma en que se distribuye este tipo de diámetro, probablemente lo mejor es subdividir el volumen del suelo ocupado por el sistema radical y obtener un valor numérico de las cantidades de raíces emplazadas en dichos volúmenes.

c Tratamiento de las raíces

Una vez que las raíces fueron separadas del suelo, se clasificaron en sucesivos rangos de diámetro, de manera de poder describir en que cantidades se encontraban los distintos espesores y la ubicación que éstos ocupaban en el suelo. A partir de los resultados obtenidos surgen algunas discrepancias con la clasificación utilizada.

En el trabajo realizado se observó que las raíces con distintos diámetros tienden a ubicarse en distintas posiciones en el perfil de suelo. Según se puede observar en la gráficas 17a y 17b, la cantidad de raíces con diámetros menores a 1 cm es mayor en el primer estrato de suelo. Cuando las raíces tienen diámetros mayores a 1 cm las cantidades tienden a emparejarse en los dos estratos de suelo estudiados. En relación a esto, no parece conveniente agrupar las raíces en rangos de una amplitud tal que abarquen raíces que se comportan de manera diferente a distintas profundidades. Por ejemplo, se encontró que el 65 % de las raíces pertenecientes al rango de 0.5 – 1.5 cm de diámetro se encontraban en la primera capa de suelo, cuando en la realidad las cantidades de raíces mayores a un centímetro son casi iguales para las dos capas de suelo estudiadas. En este caso lo que sucede es que en términos lineales el rango esta compuesto en su mayoría por las raíces finas, las cuales enmascaran, la tendencia de las raíces más gruesas

2. Estructura del sistema radical

Para estudiar estos aspectos se utilizaron los sistemas radicales de árboles que habían sido arrancados. Luego se separó la tierra de las raíces mediante un chorro de agua a presión. En este caso la extensión del sistema radical que podía ser analizado se limitó al radio de raíces que permanecieron junto al tronco en el proceso del arrancado (aproximadamente un metro). Sin embargo resulto adecuado para estudiar características generales como ángulos de inserción al tronco, número y grosor de las principales raíces, y grado de ramificación de éstas.

Si se cuentan con los medios necesarios, este sistema es fácil y rápido de llevarse a cabo.

3. Entrecruzamiento de las raíces

Para estudiar la forma en que se relacionan los sistemas radicales de árboles que se encuentran próximos entre sí, se removió la tierra de una franja ubicada en forma equidistante entre los 2 árboles bajo estudio. Para remover la tierra y dejar las raíces al descubierto se utilizó un chorro de agua a presión.

En las dos situaciones analizadas, se observó un amplio predominio de uno de los sistemas radicales en relación al otro, por lo que se podría pensar que el límite donde termina la zona de uno de los sistemas radicales y empieza la del otro, no tiene por que estar en la distancia media entre los dos árboles. En relación a esto, sería mas adecuado analizar franjas de suelo más anchas que las utilizadas en éste trabajo. Por otra parte sería mejor remover solo una capa de suelo de 20 o 30 cm de profundidad, dado que la mayor parte de las raíces se encuentran en ese estrato, además se evita la pérdida de las raíces por una exposición demasiado prolongada bajo el chorro de agua a presión.

C. RECOMENDACIONES FINALES

Para estudiar la distribución de las raíces finas, la división del espacio ocupado por el sistema radical en pequeños bloques es una buena alternativa porque permite determinar las cantidades de raíces en las distintas posiciones del suelo. El uso de esta metodología implica la necesidad de delimitar de antemano el volumen de suelo que deber ser estudiado. En base a los resultados obtenidos, se observa que si se plantea como objetivo abarcar cerca de la totalidad de las raíces, se deber definir una zona más amplia que la utilizada en el trabajo realizado. En el sentido horizontal la zona se debe extender hacia la entrefila. En sentido vertical, la determinación de la profundidad hasta la cual hay presencia de raíces deber hacerse en un punto cercano al tronco.

En relación a las dimensiones de los bloques de suelo que fueron empleados, puede decirse que en caso de que se considerase importante aumentar la precisión de la información, la disminución del tamaño de los bloques no implica un aumento en el trabajo y el tiempo necesario para extraerlos. Por otro lado, parece conveniente que la cara del bloque ubicada en el plano horizontal tenga los lados iguales. En la medida de que el bloque es mucho más largo que ancho, la densidad de raíces en las extremidades del bloque difiere más de la densidad promedio para todo el bloque. De ser así, la densidad promedio del bloque (cantidad de raíces encontradas en dicho volumen) no refleja la realidad de sus distintas zonas.

Para extraer los bloques de suelo, en primer instancia se excavó una zanja en la entre-fila ubicada al costado de la zona de suelo bajo estudio. La realización de esta zanja resultó de una gran ayuda para realizar la excavación, al proporcionar un frente de ataque. Sin ésta ayuda realmente hubiera sido muy difícil la extracción de la primera fila de bloques.

La remoción del suelo se efectuó en forma manual utilizando una pala. El grado de humedad del suelo afectó mucho la facilidad con la cual se desarrolló el trabajo, por lo que sería aconsejable tener en cuenta este aspecto. Previamente a realizar la excavación, es conveniente regar la zona bajo estudio de manera que el suelo se encuentre en un estado friable.

La metodología empleada para separar la tierra de las raíces, descrita en los materiales y métodos, resultó muy adecuada.

A partir de los resultados obtenidos, parece importante incluir otros aspectos a los utilizados en la clasificación de las raíces. Para fijar los límites de cada rango hay que tener en cuenta los espesores a partir de los cuales las raíces tienen un comportamiento diferente en su distribución. En los resultados se observó que las raíces de distintos diámetros difieren en cuanto a la profundidad del suelo donde tienden a ubicarse. Por otro lado, debido a que los diámetros más gruesos son más escasos, se distribuyen en forma más desuniforme en el suelo que los diámetros finos.

En un principio se desconoce de que manera se van a comportar los distintos diámetros que integran al sistema radical. En el caso de los diámetros que se pueden medir en forma directa lo más recomendable es dividir la masa de raíces en una buena cantidad de rangos. Cuando las raíces se miden en forma directa, el tiempo que insume la labor está dado por la masa de raíces, no por la cantidad de rangos en que se divide ésta masa. En una segunda etapa, con la finalidad de interpretar y mostrar la información, se pueden agrupar en rangos más amplios, los diámetros donde se observa un comportamiento similar.

En el caso de las raíces más finas, donde no es posible realizar la medición en forma directa, hay que ser cuidadoso en la determinación de la amplitud del rango. En el rango de 0 a 3 mm utilizado en el trabajo, se encontró que las raíces con diámetro de 2 a 3 mm, representan solo el 20 % de la longitud, pero casi la mitad del peso total. Lo cual quiere decir que si las raíces gruesas del rango tienen un comportamiento errático, genera que el rango entero parezca que sigue un comportamiento errático.

En muchos casos es mejor conservar la totalidad del sistema radical en forma mas o menos inalterada, para poder representar la ubicación de las raíces a través de una planimetría. Para estudiar la distribución de las raíces de diámetros medianos y gruesos, esta metodología resulta mucho más útil, que la división del suelo en pequeños bloques. También es útil cuando se trata de determinar el grado de entrecruzamiento de las raíces entre dos árboles vecinos. Con respecto a esto, el método de los bloques no permite saber cuales raíces pertenecen a un árbol o al otro. Para estudiar la estructura del sistema radical también es útil porque permite observar la forma en que se relacionan los distintos diámetros de las raíces.

Para dejar al descubierto las raíces, el uso de un chorro de agua a presión es una buena alternativa, debido a que es una forma fácil y rápida de remover la tierra. Por otro lado la pérdida de raíces es baja (seguramente mucho menor que cuando se remueve la tierra en forma manual)

VI. CONCLUSIONES

La mayor densidad de raíces se ubica en la zona cercana al tronco, y en la medida que aumenta la distancia a éste la densidad de raíces disminuye de manera uniforme.

Con el aumento de la distancia al tronco, la densidad de raíces disminuye en forma más pronunciada en el estrato de suelo superior que en el inferior.

Con el aumento de la distancia al tronco disminuye la diferencia entre las cantidades de raíces encontradas en los estratos de suelo.

El 70 % de las raíces con diámetros menores 0.3 cm se ubica dentro de los primeros 30 cm de suelo.

Cuando las raíces superan un diámetro de un cm tienden a distribuirse en forma uniforme en el perfil de suelo.

La mayor parte del sistema radical se encuentra dentro de una profundidad de 60 cm.

En los casos estudiados es probable que exista un cierto grado de entrecruzamiento entre las raíces de distintos árboles.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 ARBRISQUETA, J. M.; FRANCO, J. A. 1993. Dinámica del sistema radical de almendros jóvenes bajo distintos niveles de riego por goteo. Congreso Iberoamericano de ciencias hortícolas.(2º) Actas: 43-45.
- 2 ATKINSON, D. 1980. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. Horticultural Reviews. 2: 424 – 490
- 3 BARGIONI, G.; BARONI, G. 1985. The root system of St. Julien INRA Gf 655/2 as a peach rootstock. Acta Horticulturae. 173: 229-235
- 4 BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. 1973. Física de suelos. México. UTEHA. 529 p.
- 5 CABRERA, D.; CARRAU, F.; SORIA, J.; EDGARDO, D. 1998. Avances en portainjertos para duraznero en la zona litoral – Norte. INIA Las Brujas. Serie de Actividades de Difusión Nro. 175. 4 p.
- 6 CABRERA, D. 1994. Resultados experimentales en frutales de carozo. INIA Las Brujas. Serie de Actividades de Difusión Nro. 30. 7 p.
- 7 CABRERA, D. 1999. Portainjertos para frutales de carozo. INIA Las Brujas. Material preparado para curso de capacitación PREDEG. 3 p.
- 8 CAHOON, G. A.; STOLZY, L.H.; GABER, M.J.; MORTON, E.S. 1964. Influence of nitrogen and Water on the root density of Nature Washington Navel orange Trees. American Society for Horticultural Science. 85: 224-230
- 9 CALDERON, E. 1983. Fruticultura General; el esfuerzo del hombre. 2ª ed. México, Editorial LIMUSA. 759 p.
- 10 COUTANCEAU, M. 1965. Fruticultura; técnica y economía de los cultivos de rosáceas leñosas productoras de fruta. Barcelona, Ediciones de Occidente. 608 p
- 11 CHILDERS, N.F. 1982. Fruticultura moderna; cultivo de frutales y arbustos frutales. Tr. por Sartori. Montevideo, Hemisferio Sur. 458 p.
- 12 DA SILVA, H.; CAYSSIALS, R. 1972. Estudio de suelos de la Estación Experimental de Horticultura y Fruticultura de “Las Brujas.” Ministerio de Ganadería y Agricultura; Programa de Estudio y Levantamiento de Suelos. 30 p.
- 13 DA SILVA, H.; CAYSSIALS, R. 1972. Estudio de suelos de la Estación Experimental de Horticultura y Fruticultura de “Las Brujas”. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Programa de estudio y levantamiento de suelos. 30 p.
- 14 DE LUCA, R.; STARICCO, R.; VECINO, C. 1995. Manejo de suelo en duraznero. Uruguay Granjero. 1(3): 1-5

- 15 DURAN, A. 1985. Los suelos del Uruguay. 2ª ed. Montevideo, Hemisferio Sur S.R.L. 398 p.
- 16 DURAN, A. 1992. Propiedades Hídricas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 119 p.
- 17 ELLIS, F.B.; BARNES, B. T. 1978. Estimation of the distribution of living roots or plants under field conditions. *Plants and soil*. 39: 81 – 91
- 18 ESAU, K. 1985. Anatomía Vegetal. Barcelona, Ediciones OMEGA. 779 p.
- 19 FAO. 1996. Anuario de Producción. 50: 159 – 160
- 20 FORD, H. W. 1959. Growth and root distribution of orange trees two different rootstocks as influenced by depth to subsoil clay. *American Society for Horticultural Science*. 74: 313-321
- 21 FRANCO, J. A.; ARBISQUET, J. M. 1997. A comparison between minirhizotron and soil coring methods of estimating root distribution in young almond trees under trickle irrigation. *Journal of Horticultural Science*. 72: 797 – 805.
- 22 GLENN, D.M.; WELTER, W.V. 1993. Root development patterns in field grown peach trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118 (3): 362 – 365.
- 23 GRASSO, M. H.; LOMBARDO, P. G. 1999. Caracterización de cultivares de duraznero y nectarina en la zona norte del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 132 p.
- 24 HIDALGO, L.; CANDELA, M. 1969. Morfología radical de la vid, su relación con la producción, densidad y disposición en el viñedo. Madrid, Instituto nacional de investigaciones agropecuarias. 101 p.
- 25 HUIDOBRO, J. G.; CASTRO, J.; FIERRO, I. 1985. Distribución de las raíces de tres especies frutales regadas por goteo. *IPA La platina* N° 29: 26-30
- 26 IBACACHE, A.; LOBATO, A. 1995. Períodos de crecimiento de raíces en vid. *Revista Frutícola*. 16 (1):163-167
- 27 MARTINEZ-ZAPORTA, F. 1964. Fruticultura; Fundamentos y Prácticas. Madrid, Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas. 1002 p.
- 28 MASSAI, R.; XILOYANNIS, C.; PICOTINO, C.; BARONI, G. 1993. Root system growth and conformation of peach grafted on two rootstocks in high density orchards. *Acta Horticulturae*. 349: 163-166
- 29 MITOV, P.; KIAKOV, D.; LICEV, V.; GHOVEDAROV, G. 1991. Sviluppo e distribuzione del sistema radicale dei portinnesti da seme e clonali del pesco. *Universidad agraria de Plovid -Bulgaria. Revista di Frutticoltura*, N° 6: 51-55

- 30 MOU, P.; MITCHELL, R. J.; JONES, H. J. 1997. Root distribution of two tree species under a heterogeneous nutrient environment. *Journal of Applied Ecology*. 34: 645 - 656
- 31 OLANO, A. 1993. Relaciones Hídricas. Montevideo. Facultad de Agronomía. 80 p.
- 32 PATT, J.; CARMELI, D.; ZAFIR, I. 1966. Influence or soil physical conditions on root development and on productivity or citrus trees. *Soil Science* 102 (2): 82-84
- 33 REUNION ANUAL de avances de investigación en frutales de hoja caduca. 1999. INIA. Salto Grande. Serie de Actividades de Difusión Nro. 207. 6 p.
- 34 RIBEREAU – GAYON, J.; PEYNAUD, E. 1986. Tratado de ampelología ; ciencias y técnicas de la viña. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 658 p.
- 35 RUSSEL, R. S. 1977. Plants root system ; their function and interaction with de soil. New York, Mc Graw – Hill: 143-168
- 36 SILVA, A.; PONCE DE LEON, J.; GARCIA, F.; DURAN, A. 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Boletín de Investigación N° 10. Montevideo. Facultad de Agronomía. 20 p
- 37 TALICE, R.; BORSANI, O.; SORIA, G. 1998. Cultivares de frutales de carozo con mayor potencial para la reconversión varietal. Trabajo solicitado por PREDEG, MGAP. 21 p.
- 38 TORRALLARDONA, S. D. 1993. Melocotoneros, Nectarinas y Pavías; portainjertos y variedades. Barcelona, Editorial AEDOS. 152 p.
- 39 TROCME, S.; GRAS, R. 1979. Suelo y fertilización en fruticultura .2ª ed. Madrid, Ediciones Mundi – Prensa. 388 p.
- 40 UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY) FACULTAD DE AGRONOMÍA. 1990. Plantas agrícolas. Montevideo. Facultad de Agronomía. 96 p.
- 41 UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY) FACULTAD DE GRONOMIA. 1993 a. Nutrición Mineral. Montevideo. Facultad de Agronomía. 79 p.
- 42 UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY) FACULTAD DE AGRONOMÍA 1993 b. Portainjertos de duraznero. Montevideo. Facultad de Agronomía. 18 p.
- 43 URUGUAY-DIEA. 1997. Encuesta Frutícola; Manzana, pera y durazno. Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Serie Encuestas N° 187. 20 p

- 44 URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. JUNAGRA.1992. Coeficientes técnicos y costos de implantación de cultivos hortifrutícolas. 50 p.
- 45 VALENZUELA, L.; GODOY, P. 1990. La raíz del kiwi: Actividad, interacción con el resto de la planta y participación en la producción. Revista Frutícola. 11 (3): 71-80
- 46 VOZMEDIANO. J. 1982. Fruticultura; fisiología, ecología del árbol frutal y tecnología aplicada. Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias. 521 p.
- 47 WESTWOOD, M.N. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Madrid, Mundi – Prensa. 461 p.
- 48 WILLIAMSON, J. G.; CUSTON, D. C. 1989. The relationship among root growth; shoot growth, and fruit growth o peach. J. amer. Soc. Hort. Sci. 114 (2) 180 – 183.

VII. ANEXO

Figura N° 30: Perfil del suelo en el cual se realizó el trabajo



Figura N° 31: Fotografía del ejemplar número 1



Figura N° 32 . Fotografía del ejemplar número 2



Figura N° 33: Zanja realizada con la finalidad de facilitar la extracción de los bloques de suelo.



Figura N° 34: Zona del suelo bajo estudio después de remover la primer franja de prismas de suelo.

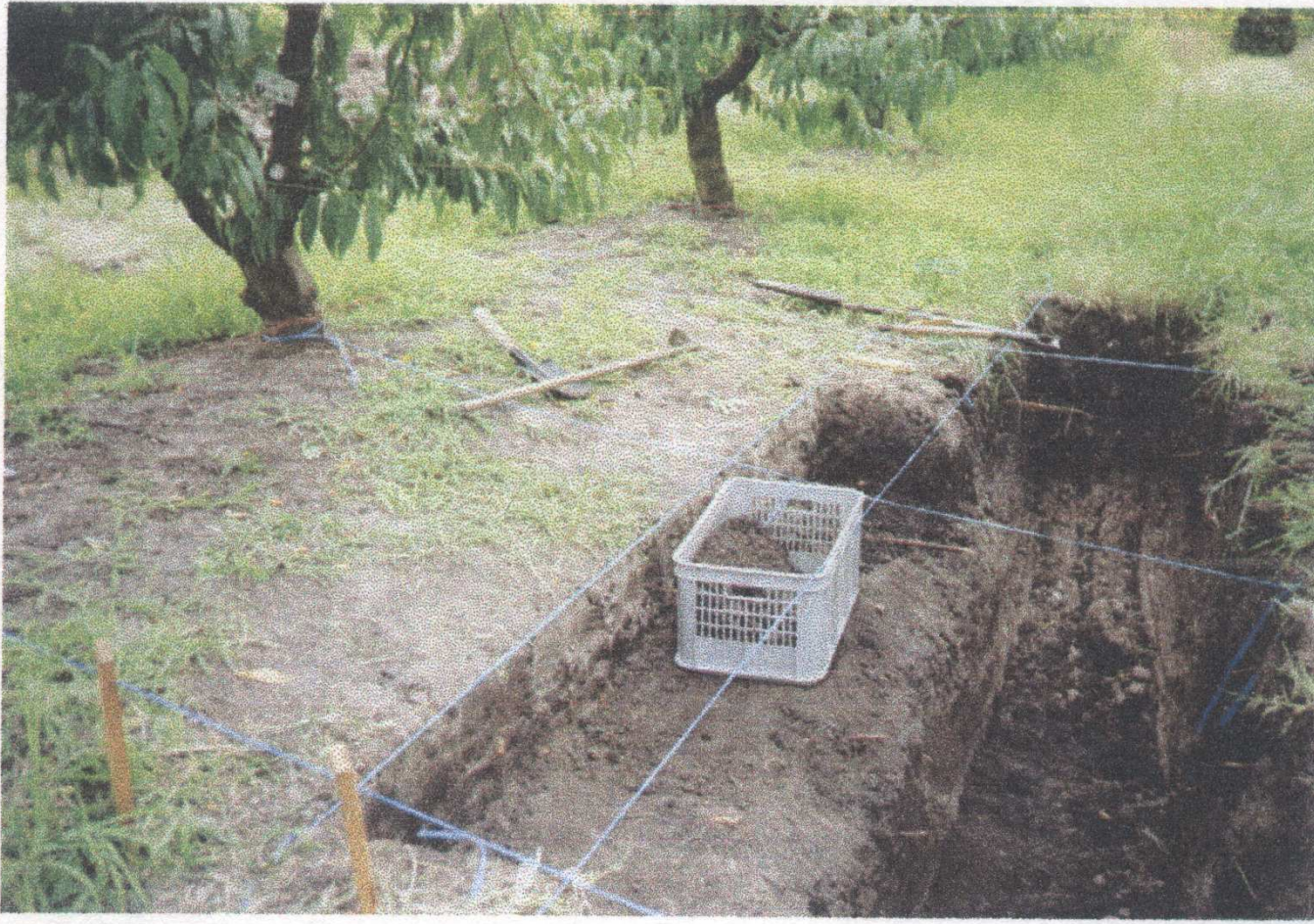


Figura N° 35: Zona de suelo bajo estudio donde se removió casi la totalidad de los prismas de suelo.



Figura N° 36: Zona de suelo bajo estudio donde se removi6 la totalidad de los prismas de suelo.



Figura N° 37: Cajones apilados con el contenido de los prismas de suelo.



Figura N° 39: Remoción de la tierra sujeta a un sistema radical previamente arrancado.

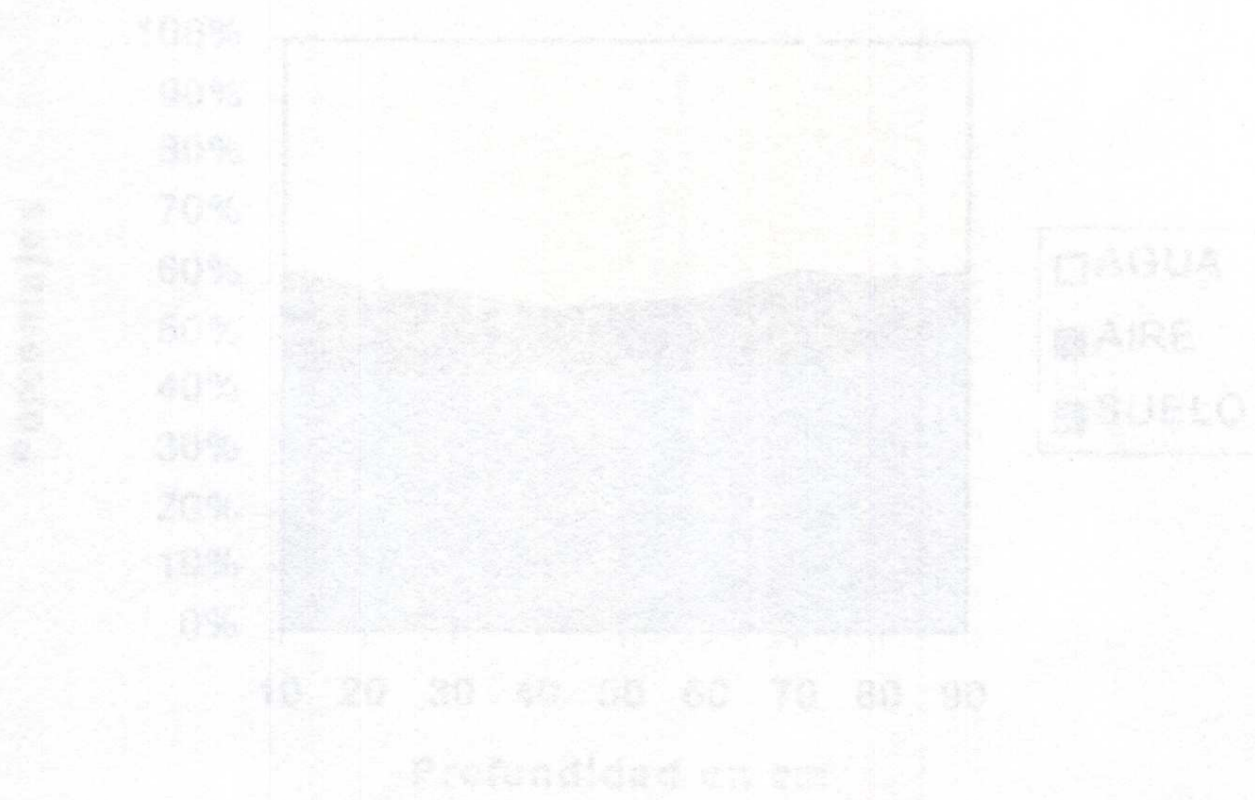


Figura N° 34: Porcentajes del volumen del suelo ocupado por los componentes que lo forman (agua, aire y sólidos) a distintas profundidades.

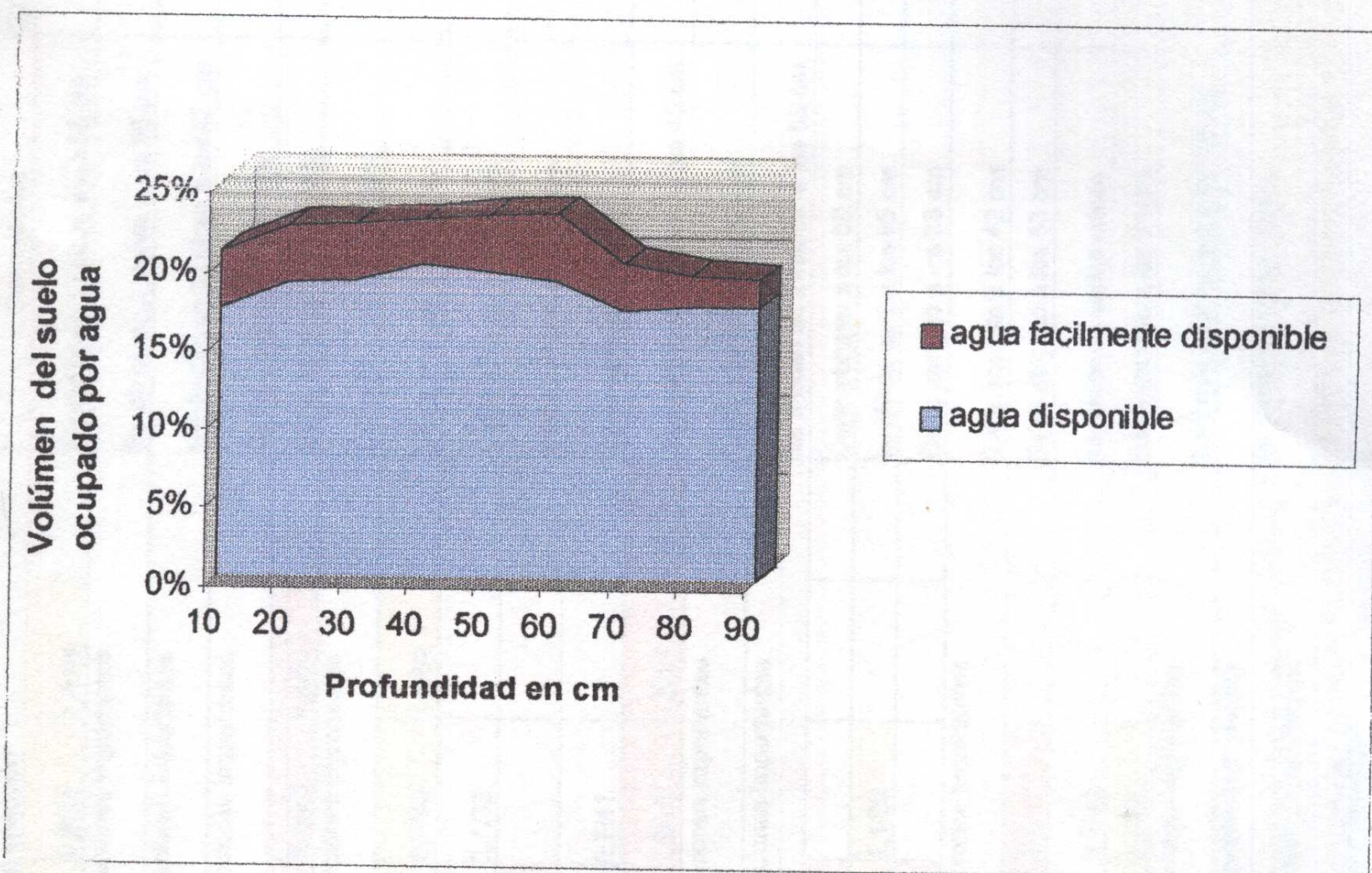


Gráfico N° 19: Porcentajes del volumen del suelo ocupado por el agua disponible y por el agua fácilmente disponible a distintas profundidades del suelo.

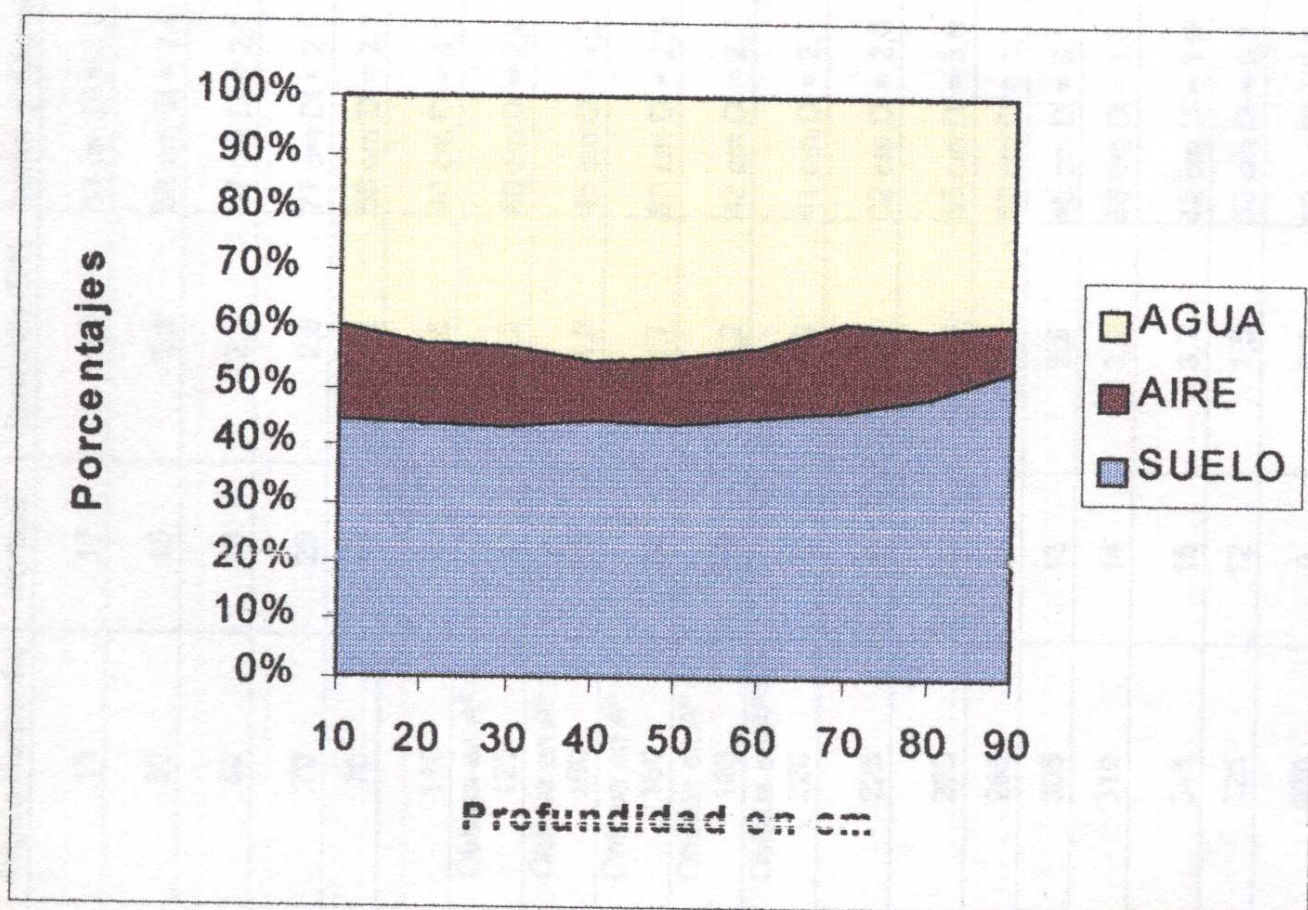


Gráfico N° 20: Porcentajes del volumen del suelo ocupado por los componentes que lo forman (agua, aire y sólidos) a distintas profundidades

Cuadro N° 8: Descripción del sistema radical del árbol A, estudiado por el método de arrancado y posterior lavado

Número de raíz	Lugar de inserción	Angulo Horizontal	Angulo vertical	Diámetro en la inserción (D1)	1) Distancia en el extremo y diámetro (D2)	2) Diámetro en cm de las Ramificaciones y distancia de aparición		Comentarios	3) (D1-D2)/dist.	
1	Corta formación periférica	15	17	4,1	53 cm Di = 3,9	1,0/22	0,9/34	1,4/49	Se divide en 2 raíces a los 55 cm	0,0038
2	Corta formación periférica	30	15	2,8	56 cm Di = 2,4	Sin ramificaciones importantes			Se divide en 2 raíces a los 56 cm	0,0071
3	Corta formación periférica	50	10	2,5	47 cm Di = 2,1	Sin ramificaciones importantes			Se dividen en 3 raíces a los 47 cm	0,0085
4	Corta formación periférica	70	25	2,6	77 cm Di = 2,1	Sin ramificaciones importantes			Corte abrupto a los 77 cm	0,0065
5	Periferia	70	13	3,4	50 cm Di = 2,1	Sin ramificaciones importantes			Corte abrupto a los 50 cm	0,0260
6	Corta formación periférica	110	6	4,6	40 cm Di = 4,1	Sin ramificaciones importantes			Corte abrupto a los 40 cm	0,0125
7	Corta formación periférica con A° = 220	Oblicua en A° = 125	4	3,2	80 cm Di = 2,4	0,8/16	0,7/50	1,6/52	Corte abrupto a los 80 cm	0,0100
8	Corta formación periférica con A° = 220	Oblicua en A° = 160	30	4,2	45 cm Di = 4,2	0,7/26	2,1/32		Corte abrupto a los 45 cm	0,0000
9	Periferia con A° = 80	Oblicua en A° = 180	20	3,7	60 cm Di = 2,5				Corte abrupto a los 60 cm	0,0200
10	Corta formación periférica con A° = 220	Oblicua en A° = 185	39	3,3	42 cm Di = 2,7	0,7/7	0,7/41		Corte abrupto a los 42	0,0143
11	Corta formación periférica con A° = 260	Oblicua en A° = 220	0	2,9	41 cm Di = 2,1				Se dividen en 2 raíces a los 45 cm	0,0195
12	Corta formación periférica con A° = 260	225	4	2,3	32 cm Di = 2,0	Sin ramificaciones importantes			Corte abrupto a los 32 cm	0,0094
13	Periferia	265	23	4,3	55 cm Di = 3,6	Sin ramificaciones importantes			Se dividen en 2 raíces a los 55 cm	0,0127
14	Periferia	285	5	1,4	50 cm Di = 1,1				Corte abrupto a los 50 cm	0,0060
15	Periferia	305	13	3,5	45 cm Di = 3,1	0,9/12	1,1/28		se divide en 2 a los 45 cm	0,0089
16	Periferia	310	14	2,2	68 cm Di = 1,9				Corte abrupto a los 68 cm	0,0044
17	Periferia	345	15	3,7	42 cm Di = 3,6	Sin ramificaciones importantes			Corte abrupto a los 42 cm	0,0024
18	Centro	325	12	1,5	53 cm Di = 0,8				Corte abrupto a los 53 cm	0,0132
19	Centro	270	0	2,7	52 cm Di = 0,9	0,5/43	0,6/45		Se divide en varias raíces	0,0346
20	Centro	310	21	2,5	74 cm Di = 1,8	0,7/50	1,1/68		Corte abrupto a los 74 cm	0,0095
21	Corta formación céntrica	310	50	2,5	15 cm Di = 2,2	Sin ramificaciones importantes			Se divide en 2 raíces a los 15 cm	0,0200
22	Corta formación céntrica	95	90	3,5	20 cm Di = 3,0	Sin ramificaciones importantes			Se divide en varias raíces	0,0250
23	Corta formación céntrica	150	45	1,8	50 cm Di = 1,3	Sin ramificaciones importantes			Se divide en 3 raíces a los 50 cm	0,0100
24	Corta formación céntrica	190	45	4,8	20 cm Di = 4,5	Corte abrupto a los 20 cm			Corte abrupto a los 20 cm	0,0100

1) Longitud que alcanza la raíz antes de sufrir un corte o de dividirse en ramificaciones, y el diámetro con el que cuenta en esta ubicación.

2) Las raíces laterales con un diámetro de 1/3 o más de la raíz sobre la cual se insertan se señalan con naranja, y las que tienen un diámetro de 1/4 con amarillo.

3) (D1-D2)/dist. Es un parámetro para dar la idea de lo pronunciada que es la disminución del diámetro de las raíces en la medida que se alejan del punto de inserción.

Promedio 0.0128

Cuadro N° 9: Descripción del sistema radical del árbol B, estudiado por el método de arrancado y posterior lavado

Número de raíz	Lugar de inserción	Angulo Horizontal	Angulo Vertical	Diámetro en la inserción (D1)	Distancia en el extremo y diámetro (D2)	2) Diámetro en cm de las Ramificaciones y distancia de aparición		Comentarios	3) (D1-D2)/dist
1	Periferia	0	43	5 cm	50 cm d = 4,2 cm	1,6/38	1,5/50	Corte abrupto a los 65 cm	0,0160
2	Periferia	30	37	1,5 cm	23 cm Di = 1,2 cm	Sin ramificaciones importantes		Se divide en 2 raíces de 0,9 a los 23 cm	0,0130
3	Periferia	55	28	3,4 cm	90 cm Di = 1,5 cm	2,1/38	1,2/42 1,1/51 1,2/51	Corte a los 90 cm	0,0053
4	Periferia	110	25	3,4 cm	50 cm Di = 1,4 cm	0,8/8	0,6/17 0,7/17 1,1/25	Se dividen en 2 a los 54 cm	0,0400
5	Periferia	115	0	2,8 cm	44 cm Di = 1,4 cm	0,8/12	1,0/16 1,0/23	Se divide en 2 a los 44 cm	0,0318
6	Periferia	125	0	2,6 cm	23 cm Di = 1,9 cm	1,1/12	0,7/15	Corte abrupto a los 23 cm	0,0304
7	Periferia	165	26	5,8 cm	80 cm Di = 2,7 cm	2,2/17	1,6/31 1,2/31	Se divide en 2 a los 80 cm a los 32 cm se divide en 2 de 1,3 cm	0,0317
8	Periferia	218	26	2,2 cm	32 cm Di = 1,9 cm	1,1/20	0,6/26		0,0094
9	Corta formación periférica	225	12	1,7 cm	30 cm Di = 1,5 cm	Sin ramificaciones importantes		Se divide en 2 a los 44 cm	0,0067
10	Inserción = a N° 9	230	27	2,8 cm	60 cm Di = 2,2 cm	1,4/24		Se divide en 4 a los 60 cm	0,0100
11	Periferia	245	18	4,3 cm	50 cm Di = 4,0 cm	Sin ramificaciones importantes		Se divide a los 50 cm en 2	0,0060
12	Inserción = a N° 9	270	25	2,5 cm	55 cm Di = 1,5 cm	1,8/32	0,8/50 0,5/52 1,0/55	Se divide en 3 a los 55 cm	0,0182
13	Periferia	280	45	4,5 cm	32 cm Di = 3,4 cm	1,1/6	2,2/21 2,0/24 1,3/24	Se divide en 2 de 1,9 cm y una de 3,0 cm a los 32 cm	0,0344
14	Periferia	310	0	2 cm	40 cm Di = 2,0 cm	0,8/13		Se divide en 2 de 1,4 cm a los 40 cm	0,0000
15	Periferia	335	0	2,1 cm	40 cm Di = 1,8 cm	0,6/21	1,5/35	Se divide en 2 de 1,5 cm a los 40 cm	0,0075
16	Medio	210	90	2,8 cm	37 cm Di = 1,5 cm	0,7/17	1,0/16	Se divide en 2 de 1,1 cm a los 37 cm	0,0351
17	Medio	220	21	2 cm	70 cm Di = 1,6 cm	Sin ramificaciones importantes		Se divide en 3 a los 70 cm	0,0057
18	Corta formación media	160	35	2,5 cm	17 cm Di = 2,3 cm	Sin ramificaciones importantes		Se divide en 5 a los 17 cm	0,0118
19	Inserción = a N° 18	190	85	2,7 cm	40 cm Di = 1,2 cm	0,5	0,5 0,4 0,4 0,5	Donde se insertan 5 raíces cambia de dirección	0,0375
20	Medio	260	30	2,2 cm	65 cm Di = 1,5 cm	1,0/17		Se divide en 3 a los 65 cm	0,0108
21	Centro	285	85	2,5 cm	50 cm Di = 2,2 cm	Sin ramificaciones importantes		Se divide en 2 a los 50 cm	0,0060
22	Centro	330	45	1,8 cm	50 cm Di = 1,0 cm	Sin ramificaciones importantes		Corte abrupto a los 50 cm	0,0160
								Promedio	0,0182

- 1) Longitud que alcanza la raíz antes de sufrir un corte o de dividirse en ramificaciones, y el diámetro con el que cuenta en esta ubicación.
- 2) Las raíces laterales con un diámetro de 1/3 o más de la raíz sobre la cual se insertan se señalan con naranja, y las que tienen un diámetro de 1/4 con amarillo.
- 3) (D1-D2)/dist. Es un parámetro para dar la idea de lo pronunciada que es la disminución del diámetro de las raíces en la medida que se alejan del punto de inserción.