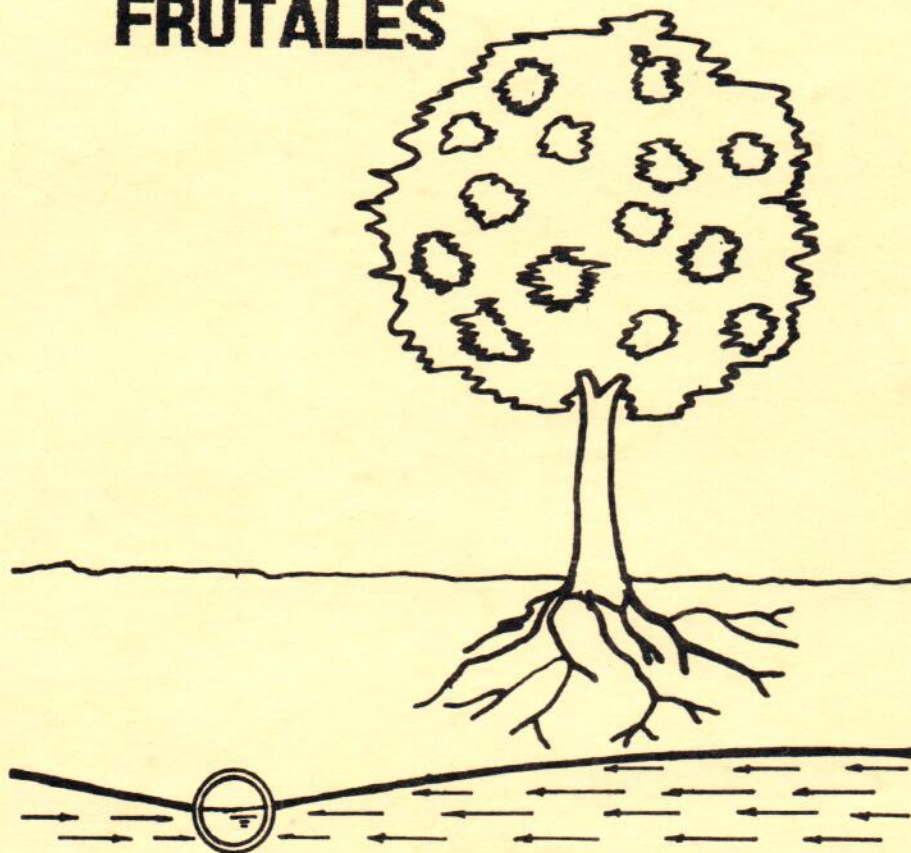




UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
DIRECCION DE EXTENSION

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES

DRENAJE EN
FRUTALES



Autor:
Luis Salgado S.
Ing. Agrónomo Ph.D.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA
Boletín de Extensión N° 49 Septiembre 1991

Chillán

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA
CHILLAN

DRENAJE EN FRUTALES

Luis G. Salgado S.
Ing. Agrónomo, Ph.D.

Chillán, septiembre de 1991.

C O N T E N I D O

1. Introducción	2
2. Origen del problema	3
2.1. Recarga	3
2.2. Suelos y Topografía	6
3. Consecuencias del mal drenaje	11
3.1. Efecto sobre las propiedades físicas del suelo	15
3.2. Efecto sobre las propiedades químicas del suelo	24
3.3. Efecto sobre la producción de frutales	30
4. Sistemas de drenaje en frutales	34
4.1. Sistemas de drenaje superficial	36
4.2. Sistemas de drenaje sub-superficial	36
5. Bibliografía	38

PROLOGO

En los últimos años la agricultura chilena ha manifestado una clara tendencia al incremento de las plantaciones de frutales mayores y menores, motivado fundamentalmente por el significativo aumento de la rentabilidad que este tipo de explotación representa en comparación a los cultivos tradicionales.

Esta atractiva circunstancia ha significado que algunos empresarios hayan cambiado su tipo de explotación sin tener en consideración los nuevos requerimientos de humedad, profundidad radicular, aireación y suelo que tienen estos frutales. Esta falta de previsión y/o información ha significado eventualmente el total fracaso de la explotación al cabo de pocos años.

En este boletín se hace una exhaustiva revisión de las consecuencias que el mal drenaje alcanza para los frutales y se sugieren algunas formas de solución. Un complemento a este documento es el Boletín N° 47, en el cual se incluyen las técnicas de drenaje.

1. INTRODUCCION

La producción de frutales o de cualquier otro cultivo en condiciones económicamente rentables, requiere de la existencia de un ambiente edáfico adecuado en la zona de exploración radicular. Dicho ambiente depende del régimen térmico e hídrico imperante, así como de su aireación y del nivel de salinidad y fertilidad.

En la naturaleza, el régimen de reposición natural de agua al suelo no siempre se ajusta a las necesidades de los cultivos. En consecuencia, es necesario recurrir al control de la humedad en forma tal de asegurar a éstos el ambiente adecuado para su crecimiento y desarrollo ya sea reponiendo agua mediante el riego o evacuando los excesos mediante un sistema de drenaje especialmente diseñado para tal efecto.

Por tanto, la habilitación de suelos con drenaje restringido tiene como objetivo fundamental eliminar el exceso de agua que se puede acumular, tanto en la superficie como en el interior del mismo, con el fin de mantener las condiciones óptimas de aireación y actividad biológica indispensables para cumplir los procesos fisiológicos relativos al crecimiento radicular.

Asimismo, es objetivo del drenaje la remoción de las sales del suelo y la mantención de un balance salino. Por esto no sólo se entiende la lixiviación de sales que originalmente contiene el suelo y/o el agua de riego, sino también la disminución del nivel freático a profundidades tales que impidan que éstas alcancen hasta la superficie del suelo como producto del ascenso capilar.

2. ORIGEN DEL PROBLEMA

Los problemas de drenaje tienen su origen en diversas causas, entre las que destacan: la recarga, el suelo y la topografía. En los párrafos siguientes se analizan separada y brevemente cada uno de ellos.

2.1. Recarga

La recarga, coeficiente de drenaje o exceso de agua que crea el problema de drenaje, tiene a su vez varios orígenes: lluvia,

riego, filtraciones, inundaciones, etc. Estas causales pueden presentarse individualmente o como una combinación de dos o más de ellas, situación que obliga a conocer exactamente cuál es el origen y cantidad de la recarga, para poder hacer un adecuado dimensionamiento del sistema de drenaje.

En zonas "húmedas", donde la precipitación excede la evapotranspiración, es lógico esperar que se produzcan excesos de agua. Bajo tales condiciones y en presencia de una topografía desfavorable y baja capacidad de transmisión de agua de los estratos superiores del suelo, es posible que tales problemas sean aun más críticos. Si tales excesos se presentan durante el período vegetativo de los cultivos, resultan serias limitaciones al crecimiento, desarrollo y producción.

En relación a la lluvia como principal o único componente de la recarga, es indispensable conocer la cantidad total de agua en diversos períodos de tiempo (días) y la frecuencia de ocurrencia o período de retorno (años) de los mismos. El primer concepto está en estrecha relación con la tolerancia de los cultivos (que en el caso de los frutales es del orden de 24 a 48 horas) y el segundo concepto dice relación con el riesgo que estamos dispuestos a frontar al decidir los criterios de drenaje o variables a usar en el diseño del sistema.

Para determinar la recarga por lluvia, es necesario contar con un registro diario de precipitaciones, por un período lo más largo posible, de preferencia en el mismo lugar donde se va a efectuar el proyecto. A dicha serie de tiempo se le puede aplicar un análisis probabilístico de valores extremos (distribución Gumbel), obteniéndose una información como la que se indica en el cuadro 1 (Salgado, 1989).

En zonas "áridas", donde la evapotranspiración excede la precipitación, no es frecuente que se presenten problemas de drenaje generados en forma natural. Sin embargo, puesto que en tales condiciones difícilmente es posible mantener una agricultura económicamente rentable, son los excesos de riego los que en estas circunstancias pueden crear un problema de drenaje. Estos efectos se ven considerablemente influenciados por los métodos de riego utilizados. Si la eficiencia de aplicación del agua de riego disminuye, y las pérdidas por percolación aumentan es posible esperar una elevación de la

napa freàtica del suelo a niveles que pueden limitar el desarrollo radicular.

A modo de ejemplo puede señalarse que en un estudio realizado por Valenzuela y Peña (1966) en el Departamento de Chillàn, se encontrò que las pèrdidas por percolaciòn profunda son del orden del 20% del total de agua aplicada en cada riego. Un resumen de estos resultados se muestra en el cuadro 2.

Que las pèrdidas por percolaciòn profunda sean del orden del 20 % significa que en un riego de 1000 m³/Ha., 200 m³/Ha. (20 mm) se pierden por dicho concepto. Ahora bien, estos 20 mm. pueden llegar eventualmente hasta una napa ya existente y elevar su nivel en 1.0 a 1.3 m. dependiendo de la porosidad drenable del suelo. Si no existe un adecuado sistema de drenaje natural o artificial, la napa podria alcanzar niveles que a la larga pueda hacer absolutamente improductivo un terreno. Al respecto, por ejemplo Carruthers (1985) menciona que en el Bajo Indo (Pakistàn) antes de 1923, en que se introdujo el riego, la napa se encontraba a mäs de 4 m. de profundidad; 50 años mäs tarde, en el 75% de los sitios, lo està a menos de 2 metros.

Si la recarga proviene de aguas externas al àrea de mal drenaje, tales como: pèrdidas por filtraciòn en cauces naturales y/o canales que cruzan el àrea afectada; percolaciòn de regadìos ubicados en zonas o àreas mäs elevadas topogràficamente; flujos subterràneos provenientes de zonas vecinas situadas a una cota igual o superior; existencia de agua artesianas en el subsuelo y exceso de aguas superficiales e infiltraciòn provenientes de lagos, embalses y cauces naturales y canales situados fuera del àrea afectada, serà tambièn absolutamente necesario proceder a la determinaciòn de su origen y cuantificaciòn, para poder hacer posteriormente un adecuado dimensionamiento del sistema.

Por lo general, este no es un problema fàcil de solucionar. Para el caso de estimar las filtraciones desde rìos esteros o canales, es posible recurrir a alguna de las tècnicas mencionadas en la literatura (Jara, J., E. Villaruel y A. Valenzuela, 1988; Grassi, C.J., 1981). Para determinar los flujos subterràneos es indispensable confeccionar una red de pozos de observaciòn, hacer mediciones periòdicas, confeccionar planos de equipotenciales y determinar gradientes y conductividad hidràulica del suelo. Mediante aplicaciòn de la

Cuadro 1. Altura - frecuencia - duración de lluvias en Chillán, según método de probabilidades extremas de Gumbel (1)

Mes	Probabil.	Período retorno (años)	Lluvia máxima en x días (mm)		
	%		1	2	3
Enero	20	5	20.59	21.7	22.5
	14	7	24.3	25.6	26.5
	10	10	28.1	29.6	30.6
Marzo	20	5	23.0	25.3	25.3
	14	7	27.2	30.0	30.0
	10	10	31.5	34.8	34.8
Mayo	20	5	75.6	98.9	112.5
	14	7	85.6	111.5	126.2
	10	10	95.8	124.4	140.3
Julio	20	5	64.8	91.5	110.6
	14	7	72.3	102.2	124.2
	10	10	80.1	113.3	138.1
Sept.	20	5	41.0	60.5	69.2
	14	7	46.1	68.7	78.7
	10	10	51.4	77.1	88.6
Nov.	20	5	33.2	42.3	49.3
	14	7	38.3	49.5	57.8
	10	10	43.5	56.9	66.5

(1) Datos diarios de 21 años. Estación Agrometeorológica FACAFA. Chillán. (Ref. : Salgado, 1989.)

Cuadro 2. Eficiencia de aplicación en cultivos escardados y praderas artificiales en el Departamento de Chillán, (Valenzuela y Peña) 1966.

Cultivo	Pérdidas (%)		Eficiencia Aplicación
	Percolación Profunda	Escurrimiento Superficial	
Praderas	18.3	62.2	19.5
Escardados	23.0	49.3	27.7
Promedio	21.1	55.6	23.3

ecuación de Darcy, es posible determinar la cantidad de agua que fluye en una determinada dirección. Si existen aportes artesianos será necesario disponer de una red de piezómetros y determinar el aporte de agua ascendente a partir de los gradientes hidráulicos obtenidos.

Finalmente, a modo de resumen, puede decirse que la determinación de la recarga, sea ésta por lluvia, excesos de riego o cualquier otra causa, debe hacerse con datos provenientes directamente del lugar afectado, por cuanto es una variable que incide directamente sobre el espaciamiento de los drenes y depende de una serie de factores locales. Una excepción a ésta regla podría constituir la lluvia por cuanto es necesario trabajar con registros históricos que sólo están disponibles en lugares donde hay estaciones pluviométricas. Por lo general, entonces, será necesario hacer interpolaciones o extrapolaciones para adaptar los datos a la latitud deseada.

De lo anterior se desprende que, además del conocimiento cabal de las características meteorológicas del lugar en cuestión, es indispensable tener un exacto conocimiento del suelo (origen, geomorfología, características hidrodinámicas, físicas, etc.) para poder determinar la recarga. En las páginas siguientes se hace una revisión de la incidencia del suelo en un diseño de drenaje.

2.2. Suelos y topografía

Desde el punto de vista del suelo, las restricciones al drenaje natural pueden tener variadas causales. Entre las más usuales se cuentan horizontes o estratas lentamente o muy lentamente permeables; estratas u horizontes cementadas por materiales de origen diverso; condiciones climáticas; posiciones topográficas desfavorables, etc. Muchas veces se produce una convergencia de estos efectos limitantes, de modo que los problemas de drenaje alcanzan una magnitud excluyente en relación al uso o manejo de los suelos para cultivos e incluso para praderas.

El buen o mal drenaje de un suelo es la resultante de factores externos e internos del suelo. Entre los primeros se cuentan la pendiente, que influye sobre el escurrimiento superficial; entre los segundos, la permeabilidad y el material que se

encuentra bajo el suelo. La condición del suelo en sí misma es importante para asignarlo a una determinada clase de drenaje, sin olvidar, sin embargo, la influencia local y global del clima sobre las relaciones del drenaje. Por ejemplo, en un clima húmedo de precipitaciones casi continuas pueden encontrarse suelos imperfectamente drenados o pobremente drenados en pendientes fuertes; ej. Chiloè.

En base a observaciones e inferencias usadas para obtener las clases de escurrimiento superficial, la permeabilidad del suelo y el drenaje interno, se obtienen las "clases relativas de drenaje" del suelo. Estas clases de drenaje se basan en aquellas características morfológicas que se afectan por diferentes grados de aireación dentro del perfil del suelo y se ajustan a la Taxonomía de suelos al relacionar rasgos morfológicos con humedad.

2.2.1. Clases de drenaje

La Asociación de Especialistas en Agrología del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Chile, en conjunto con la Sociedad Chilena de Ciencia del Suelo (1986) definieron las siguientes clases de drenaje, tomando como base el Manual de Reconocimiento de Suelos de U.S.A. (Alcayaga, 1989). Estas son:

a. Muy pobremente drenados

El nivel freático permanece en o cerca de la superficie la mayor parte del tiempo. Las evidencias de campo en estos suelos son la presencia de un nivel freático por encima de los 45 cm, un horizonte orgánico, o bien condiciones específicas de color, moteados, contenido de arcilla, concreciones, etc. Suelos en esta clase de drenaje, debido a un nivel freático fluctuante, pueden tener colores oxidados más que colores reducidos debido al oxígeno disuelto en el agua. El drenaje artificial es un prerrequisito mínimo para el crecimiento de cultivos en forma económica. Corrientemente el pastoreo es posible por lo menos en forma estacional y pueden obtenerse cosechas de heno en los años más secos.

b. Pobremente drenados

El suelo permanece húmedo la mayor parte del tiempo con un nivel freático que estacionalmente se encuentra cerca de la superficie por intervalos prolongados. Las evidencias de terreno para la clase de drenaje pobre están dadas por un nivel freático que se presenta entre 45 y 90 cm de profundidad, colores muy específicos que se encuentran más próximos a la superficie (por encima de los 50 cm. de profundidad) y una pronunciada acumulación de sales solubles en el agua o cerca de la superficie en áreas salinas. Los suelos no presentan horizontes superficiales turbosos. El drenaje es necesario para el crecimiento de cultivos importantes; el pastoreo es posible la mayor parte del tiempo y el heno puede cosecharse usualmente.

c. Imperfectamente drenado

El suelo está húmedo por periodos significativos pero no por todo el tiempo. Esto se debe corrientemente a la presencia de un horizonte lentamente permeable o a un nivel freático alto. Evidencias de terreno de esta clase de drenaje son la presencia de un nivel freático a una profundidad de 90 a 150 cm., colores como los antes mencionados pero a una profundidad de 45 a 90 cm. Corrientemente horizontes "A" gruesos y oscuros relacionados con un abundante crecimiento radicular y una tasa de descomposición más lenta debido a la humedad. Pronunciada acumulación de sales solubles dentro de los 90 cm. El drenaje artificial es necesario para el crecimiento de los cultivos de mayor arraigamiento y de muchos otros que son sensibles a una aireación pobre. El drenaje puede ser necesario para mantener un balance salino favorable.

d. Moderadamente bien drenado

El perfil está mojado por una pequeña pero significativa parte del tiempo debido a un horizonte lentamente permeable en o inmediatamente por debajo del solum; un nivel freático relativamente alto o intermitente, corrientemente por debajo de los 150 cm; adiciones de agua superficiales por efecto de escurrimiento desde las partes más altas de la pendiente o una combinación de estas condiciones. Esta clase es difícil de establecer en climas muy secos o si las lluvias de

invierno ocurren cuando las temperaturas son lo suficientemente bajas como para impedir el crecimiento. La evidencia de terreno también incluye horizontes A algo más gruesos y oscuros en relación a los suelos bien drenados - cuando tienen vegetación de pastos - moteados débiles en la parte baja del horizonte B o dentro de los primeros 90 cm o ambos. El drenaje artificial es necesario para algunos cultivos de arraigamiento profundo y de algunos otros que son particularmente sensibles a periodos cortos de pobre aireación.

e. Suelos bien drenados

El agua es removida del suelo pero no en forma rápida: los suelos son de textura medias pero pueden ser de texturas finas en climas áridos. Los suelos están libres de moteados en la zona de arraigamiento de las plantas. Bajo las condiciones naturales de drenaje, la aireación del suelo no es un problema en los suelos bien drenados.

f. Drenaje alterado

Otra condición del suelo que merece una consideración particular se produce algunas veces al efectuarse el mapeo de los suelos en base a características de drenaje encontradas en el pedón de acuerdo a las definiciones antes mencionadas. Existen ocasiones en que pueden haberse producido cambios sin que ello se refleje en un cambio correspondiente de la morfología del suelo. Tales modificaciones se deben a una habilitación de suelos, como ser drenaje artificial o riego, pero también puede deberse a un proceso natural, como una profundización del curso de un estero, el relleno de depresiones o la humedad debida a aguas de escurrimiento profundo de canales de drenaje o riego. Las condiciones de drenaje alterado deben ser consideradas en tanto afecten las potencialidades de la producción de cultivos. Un caso notable se ha producido bajo la Presa de Colbùn, donde los suelos eran bien drenados y por efecto de las filtraciones producidas por debajo del muro han aparecido condiciones de drenaje variadas: muy pobre, pobre, imperfecto, moderadamente bueno, etc. dependiendo de la distancia que se encuentran de las filtraciones antes mencionadas.

En las definiciones anteriores se ha hecho mención al concepto de "nivel freático" para establecer las diferentes clases de drenaje. Se entiende por nivel freático la altura que alcanza el agua dentro de un pozo una vez que éste ha alcanzado su equilibrio. Este nivel freático establece una separación entre la zona saturada (bajo) y la no saturada (sobre). Sin embargo, por efecto del ascenso capilar, sobre el nivel freático es posible encontrar una capa de suelo con los espacios porosos llenos de agua. Esta capa se conoce como "estado saturado" o "franja capilar". En relación al "estado saturado", se conocen las siguientes clases de profundidad:

- a. El suelo está saturado a una profundidad de 150 cm o más.
- b. El suelo está saturado a partir de los 100 cm. hacia abajo.
- c. El suelo está saturado a partir de los 50 cm. hacia abajo.
- d. El suelo está saturado a partir de los 25 cm. hacia abajo.
- e. El suelo está saturado por encima de 25 cm.

Además de la profundidad es importante conocer la duración del estado saturado. En relación a ella se definen:

- a. Saturado 1/12 del año (1 mes por año).
- b. Saturado 1/12 a 1/4 del año (1-3 meses por año).
- c. Saturado 1/4 a 1/2 del año (3-6 meses por año).
- d. Saturado más de 1/2 del año (> 6 meses por año).

2.2.2. Distribución de los suelos con drenaje restringido

Según Alcayaga (1989), la distribución de los suelos que muestran algún tipo de drenaje restringido se encuentran de norte a sur del país, dentro de la zona central.

Al considerar el Llano longitudinal (depresión central) se observa que los problemas se incrementan de oriente a poniente

y se hacen predominantes al occidente de la carretera panamericana (ruta 5) desde el valle del río Aconcagua al valle del río Cautín.

Al sur del río Cautín, los problemas de drenaje restringido se encuentran asociados a las planicies fluvioglaciales del Llano Longitudinal y en general, se observa que los suelos más planos y más delgados presentan los mayores problemas de humedad. En el caso de las terrazas aluviales, los problemas de los suelos se ven acentuados por las inundaciones de temporada que afectan a una parte importante de los terrenos (vegas).

En el cuadro 3 se entregan algunos datos presentados por Alcayaga (1989) extraídos de diversos estudios de suelos. Los correspondientes al valle del Elqui, Región Metropolitana (Maipo), Colchagua, y Ñuble son trabajos semidetallados y detallados, el resto son trabajos generalizados con leyendas detalladas, aunque sectores de Osorno incluyen trabajos detallados.

Al partir de tales cifras, se concluye que en el Valle Central el 50% de los suelos están imperfectamente drenados, el 35% son suelos imperfecta a pobremente drenados y sólo 15% corresponde a suelos moderadamente bien drenados. Concluye además que, de la tierra arable, entre un 30% a 40% presentan problemas de drenaje restringido, siendo Colchagua una excepción con más del 63%.

3. CONSECUENCIAS DEL MAL DRENAJE

El mal drenaje de un suelo, además de producir daño a los cultivos mismos, produce efectos dañinos a las características físicas y químicas del suelo, los cuales se reflejan en el cultivo a través de daños directos a la planta y/o en la producción y productividad. Puesto que estos efectos perjudiciales del mal drenaje son valiosos para cualquier cultivo y no sólo para los frutales, en los párrafos siguientes se hace una revisión general de ellos.

Cuadro 3. Distribución de los suelos de drenaje restringido en la zona Central de Chile. (Alcayaga, 1989).

Provincia	Mod. Bien	Imperfect. Dren.	Imperfect. Pobre	Total Drenaje ant.	Total arable	Superficie recorrida
Valle del río Elquí						
A (ha)	278,4	1.2111,6	549,0	2.039,0	33.596,0	59.522,4
B (%)	13,7	59,4	26,9	100,0		
C (%)	0,8	3,6	11,6	6,0	100,0	
Región Metropolitana						
A (ha)	25.415,0	41.663,2	29.163,6	96.241,6	288.724,8	
B (%)	26,4	43,3	30,3	100,0		
C (%)	8,8	14,5	10,1	33,3	100,0	
Colchagua						
A (ha)	5.198,8	57.189,2	39.738,0	102.126,0	160.339,6	548.545,2
B (%)	5,1	56,0	38,9	100,0		
C (%)	3,2	35,7	24,8	63,7	100,0	
Ñuble						
A (ha)	23.368	69.049,7	43.251,8	135.669,5	339.424,2	448.643
B (%)	17,2	50,9	31,9	100,0		
C (%)	6,7	20,3	12,7	40,0	100,0	
O'Higgins						
A (ha)	31.836	42.575		74.411	164.696	164.696
B (%)	42,8	57,2		100,0		
C (%)	19,3	25,9		45,2	100,0	

continuación cuadro 3.

Provincia	Mod. Bien	Imperfect. Dren.	Imperfect. Pobre	Total Drenaje ant.	Total arable	Superficie recorrida
Curicó						
A (ha.)	406	7.275	7.591	15.272	52.930	74.930
B (%)	2,7	47,6	49,7	100,0		
C (%)	0,8	13,8	14,4	29,0	100,0	
Linares						
A (ha.)	24.985	74.606	51.862	151.453	216.030	216.030
B (%)	16,5	49,3	34,2	100,0		
C (%)	11,5	34,5	24,1	70,1	100,0	
Bío-Bío y Concepción Interior						
A (ha.)	1.813	48.460	10.381	60.654	244.000	400.618
B (%)	3,0	80,0	17,0	100,0		
C (%)	0,7	19,9	4,3	24,9	100,0	
Malleco						
A (ha.)	5.229		175	5.404	205.574	266.389
B (%)	96,8		3,2	100		
C (%)	2,5		0,1	2,6	100	
Valdivia						
A (ha.)	15.702	62.480	13.721	91.903	273.983	1.215.120
B (%)	17,1	68,0	14,9	100,0		
C (%)	5,7	22,8	5,0	33,5	100,0	

continuación cuadro 3.

Provincia	Mod. Bien	Imperfect. Dren.	Imperfect. Pobre	Total Drenaje ant.	Total arable	Superficie recorrida
Osorno						
A (ha.)	5.289	53.809	nd	59.098	136.113	
B (%)	9,0	91,0	nd	100,0		
C (%)	3,9	39,5	nd	43,4	100,0	

A (ha.) = Superficie total determinada

B (%) = Porcentaje del total con problemas de drenaje

C (%) = Porcentaje del total arable

3.1. Efecto sobre las propiedades físicas del suelo

Entre otras, se afectan las siguientes características:

3.1.1. Aireación del suelo

Para la respiración y otras actividades metabólicas las raíces requieren oxígeno; ellas absorben agua y nutrientes disueltos desde el suelo y producen, dióxido de carbono, el cual se intercambia con el oxígeno de la atmósfera. Este proceso de aireación, el cual tiene lugar por difusión y transporte de masas, requiere que en el suelo existan espacios porosos abiertos. Para que las raíces estén bien desarrolladas, se requiere que agua, nutrientes y aire estén disponibles simultáneamente.

En el suelo podemos distinguir poros capilares y no capilares. Los poros capilares, que son pequeños, son importantes para el almacenamiento de agua para las plantas. Los poros no capilares los cuales son grandes y fácilmente vaciables, bajo condiciones de buen drenaje funcionan como canales para el intercambio de gases (Figura 1).

Para iniciar la germinación, las semillas absorben agua y esto a su vez inicia el posterior desarrollo de la plántula. Por lo general, el agua que se encuentra inmediatamente alrededor de la semilla se agota y el crecimiento de la raíz permite explorar un mayor volumen de suelo en busca de agua. Si durante este proceso, las raíces alcanzan una zona saturada, de reducida aireación, su crecimiento se detiene. Daubenmire citado por Oosterbaan (1988), describe el desarrollo radicular bajo condiciones reducidas como:

- a. Raíces son más cortas, el sistema radicular ocupa menos espacio y es más superficial y algunas veces las raíces se extienden hacia la superficie.
- b. Raíces son menos numerosas, el sistema radicular menos complejo y generalmente se detiene la formación de pelos radicales.
- c. Eventualmente se estimula el desarrollo de raíces adventicias.

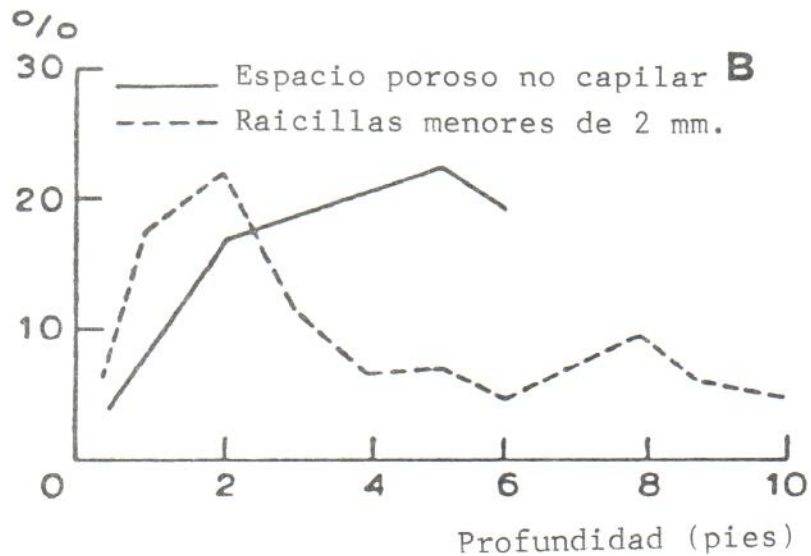
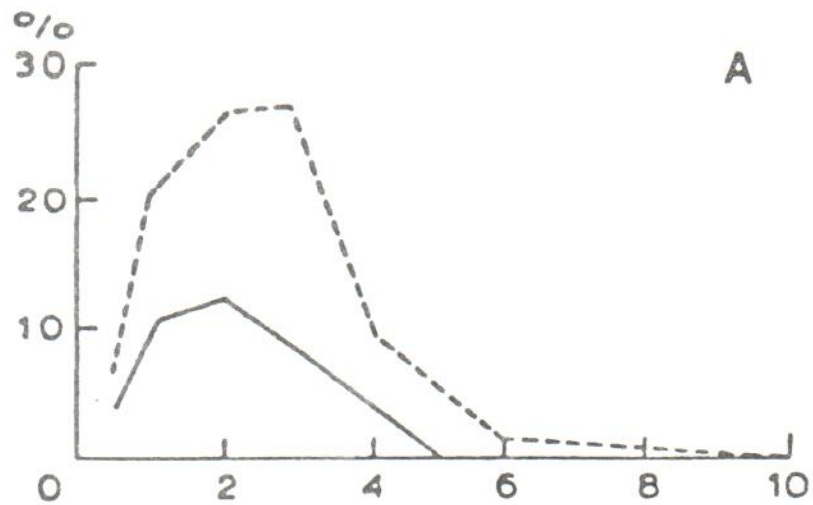


FIGURA 1. Distribución de raicillas en el perfil del Suelo. A: Suelo poco favorable, raíces confinadas en la superficie. B: Suelo favorable, aireación profunda, mejor distribución de raíces (Oosterbaan, 1988)

- d. La respiración de las raíces cambia de aeróbica a anaeróbica con la consecuente acumulación de subproductos tóxicos y una menor eliminación de energía a partir de la misma cantidad de carbohidratos.
- e. Se reduce la tasa de transpiración y consecuentemente la de absorción de agua y nutrientes.

Como consecuencia de estas condiciones adversas del suelo, también se afectan otras partes de la planta tales como:

- a. Los brotes de las hojas se reducen y las hojas se decoloran.
- b. Los procesos reproductivos son retrasados y reprimidos; flores o frutos jóvenes pueden caer prematuramente.

Una buena aireación y condiciones de humedad a través de gran parte del suelo estimula el crecimiento y desarrollo del radicular sistema en todas direcciones. En suelos bien drenados, el sistema radicular profundo puede incluso extraer agua desde el "estado saturado" (franja capilar). Plantas que desarrollan un sistema radicular superficial debido a un exceso de agua en sus estados iniciales del desarrollo puede sufrir un déficit de agua en estados posteriores, aún cuando la napa no esté muy profunda.

Según Van de Goor (1972) la profundidad media que pueden alcanzar las raíces de algunos cultivos en un suelo bien drenado son aproximadamente las que se indican en el cuadro siguiente.

Cuadro 4. Profundidad media de penetración radicular de algunos cultivos, en un suelo bien drenado. (Van de Goor, 1872).

Cultivos	Profundidad (cm)
Cultivos de bulbo, cebollas, lechugas, praderas, espinaca, porotos.	30 - 60
Frutillas, papas, zanahorias.	60
Calabaza , zapallo.	60 - 90
Coco, palma datilera.	60 - 120
Algodón, habas.	120
Maíz, remolacha azucarera, melones, alfalfa, sorgo.	150 - 180
Caña de azúcar, frutales deciduos, cítricos.	150 - 210

Otra forma de evaluar el comportamiento de la planta bajo condiciones de aireación inadecuada es mediante el concepto denominado "tasa de difusión de oxígeno" (TDO). En general las raíces de muchas plantas no crecen con valores de TDO iguales o inferiores a 20×10^{-8} gr/cm². Para germinación y emergencia de la semilla se requiere a lo menos TDO entre 40 y 80 gr/cm². La figura 2, indica claramente el efecto de la profundidad del nivel freático sobre la tasa de difusión de oxígeno.

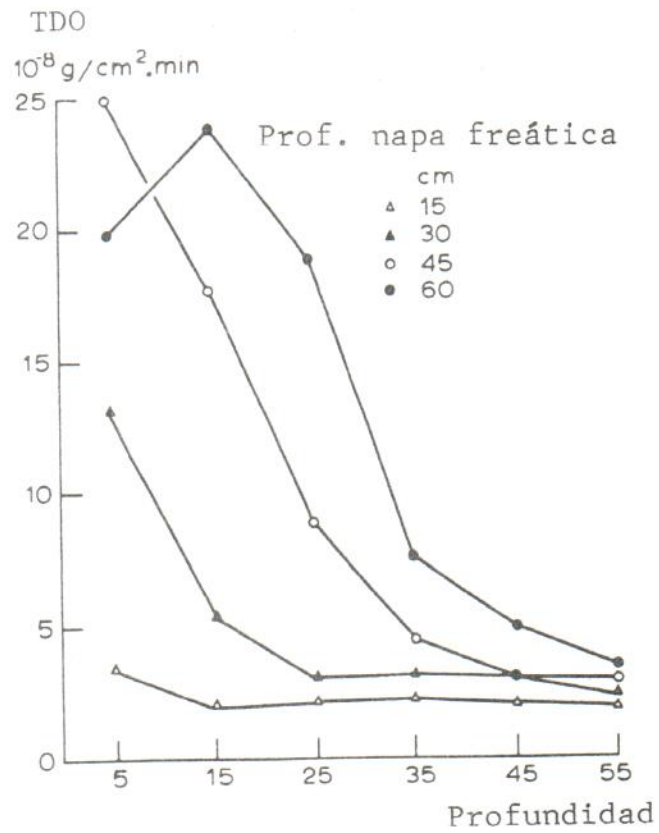


Figura 2. Relación entre la Tasa de Difusión de Oxígeno (TDO) y la profundidad del suelo a diferentes profundidades de la napa freática (Wesseling, 1974).

3.1.2. Temperatura del suelo

La reducción del contenido de agua y el aumento del aire en el suelo como consecuencia del drenaje resulta en una disminución del calor específico del mismo. En general, el agua requiere cinco veces más calor que el suelo seco para elevar su temperatura. Consecuentemente, suelos con aproximadamente 50% de humedad requieren 2.5 veces más calor que un suelo seco para calentarse. Además, el efecto de enfriamiento debido a la mayor evaporación desde un suelo mojado impide que la temperatura aumente. En primavera, en climas templados, ambos efectos causan un retraso en el crecimiento. En general, puede decirse que cuando un suelo es drenado, el clima del suelo superficial cambia favorablemente lo cual permite siembras o plantaciones más tempranas en regiones con inviernos fríos.

La temperatura del suelo incide directamente sobre el crecimiento de la planta por su efecto en factores tales como disponibilidad de nutrientes, relaciones de humedad y absorción de agua. Bajas temperaturas del suelo desaceleran la descomposición de la materia orgánica de modo tal que sólo escasos nutrientes quedan disponibles.

El período durante el cual la influencia del drenaje sobre la temperatura del suelo es más importante corresponde a aquellos cuando ocurre un exceso de precipitación sobre la evapotranspiración. En climas húmedos esto sucede normalmente en otoño e invierno. La figura 3, (Feddes, 1971) muestra la variación de la temperatura como función de la profundidad del nivel freático, la textura del suelo.

A partir de ellas es posible observar que con la napa freática a 45 cm de profundidad, prácticamente no hay diferencia de temperaturas a 10 cm bajo la superficie del suelo entre un suelo arcilloso y otro franco arenoso. Cuando la napa está a 1.65 m la temperatura sube casi 1°C. A 3 cm de profundidad, al bajar la capa de 45 cm a 1.65 m, en un suelo franco arenoso, la temperatura asciende 2 a 3 °C, pero sólo 0.5 a 1.0°C en un suelo arcilloso. Disminuir la napa en el suelo franco arenoso fue más efectivo que en la arcilla por cuanto se produjo una mayor pérdida de agua (menor retención).

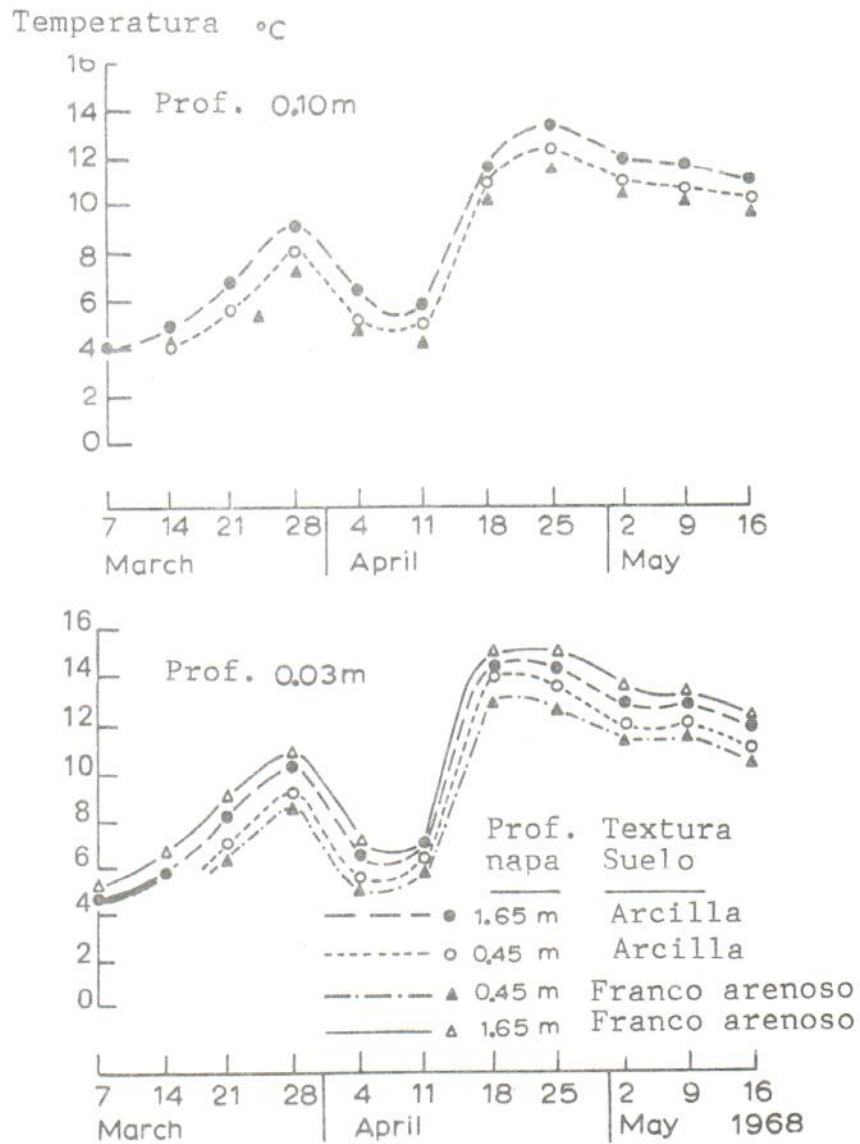


Figura 3. Variación de la temperatura a diferentes profundidades del suelo como función de la textura y la profundidad de la napa (Feddes, 1971).

3.1.3. Trabajabilidad y capacidad de soporte del suelo

Con un drenaje adecuado, el contenido de humedad de las estratas superficiales del suelo, en promedio, no es superior a capacidad de campo. Esto es importante por cuanto existe un rango de humedad relativamente estrecho, que es el mas apto para las labores de preparaci3n de suelo, y que por lo general es inferior a capacidad de campo. Por lo tanto, debe evitarse realizar labores del suelo inmediatamente despu3s de una lluvia, a menos que se disponga de un excelente sistema de drenaje natural o artificial.

Oosterbaan (1988), se1ala que en la literatura se encuentran trabajos que demuestran que laborar suelos arcillosos con un exceso de humedad resulta en una destrucci3n de los agregados, dispersi3n de las particulas y, eventualmente, un encharcamiento. En casos extremos esto puede resultar en una compactaci3n del suelo. Como resultado de esto y/o formaci3n de costras superficiales, se disminuye la infiltraci3n y la conductividad hidr1ulica del suelo y por lo tanto los sistemas de drenaje superficial no funcionar1n adecuadamente.

En praderas naturales o artificiales, la capacidad de soporte del suelo y la resistencia al encharcamiento debido al pisoteo de los animales, asi como la vida 1til de la pradera misma, se ven considerablemente beneficiados con un adecuado sistema de drenaje.

Como resultado de la fuerte mecanizaci3n agr1cola e intensificaci3n de la agricultura, la necesidad de conocer el n1mero de d1as disponibles para ejecutar operaciones mecanizadas est1 recibiendo especial atenci3n. Hetz (1988), en un estudio realizado en Nuble central encontr3 que, en general, en condiciones naturales existe un alto n1mero de d1as disponibles para trabajar en terreno; sin embargo, la disponibilidad es inferior que en precordillera. Esta diferencia se debe a las caracter1sticas f1sicas propias de los suelos. Tales resultados se muestran en la figura 4. Podemos afirmar categoricamente que mediante el drenaje artificial es posible aumentar el n1mero de d1as disponibles, de modo tal que las labores de preparaci3n de suelo, siembra y cosecha pueden estar libre de riesgos. Resultados similares se presentan en la figura 5.

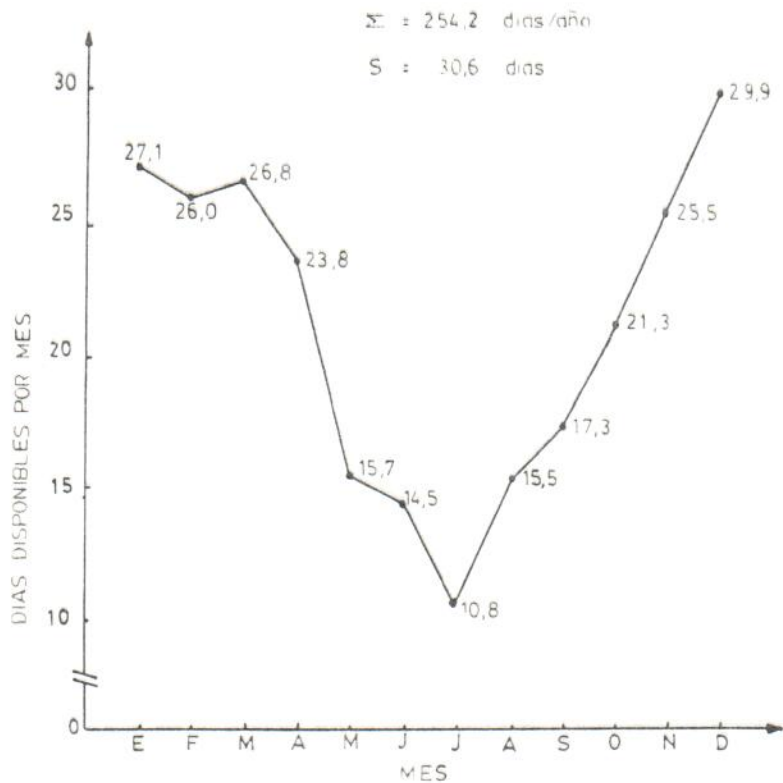
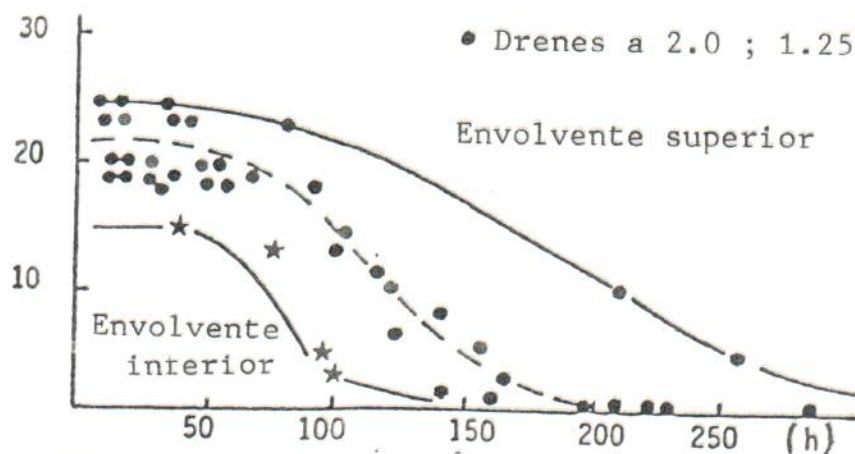


Figura 4. Días apropiados para trabajar en terreno con equipo agrícola en Ñuble Central. Promedio 1982-1987 (Hetz, 1988).

Días trabajables
(15 mar- 15 abril)

★ Drenes a 75 cm. prof.

● Drenes a 2.0 ; 1.25 o 1.5 m. prof.



Tiempo para 0.5 m. de disminución de la napa en el punto medio entre drenes.

Figura 5. Días apropiados para trabajar en terreno como función de la disminución de la napa en varios suelos y sistemas de drenaje (Oosterbaan, 1988)

Al comparar el efecto de distintos tipos de drenaje Fousey and Schwab (1969) encontraron que el contenido superficial de humedad de un suelo arcilloso en primavera fue 4-5-% mayor con drenaje superficial que con drenaje subsuperficial. Esto significò una demora de 17 días en la fecha de plantaciòn.

La naturaleza probabilística de la relaciòn entre la profundidad de la capa y el contenido de humedad del suelo se muestran en la figura 6. De acuerdo a ella, queda claro que èste disminuye, en la medida que aumenta la profundidad de la napa.

3.2. Efecto sobre las Propiedades Químicas del Suelo

A continuaciòn se analizan brevemente dos de las propiedades químicas de un suelo que se ven sensiblemente afectadas por un drenaje deficiente.

3.2.1. Abastecimiento de nutrientes

Como ya se indicò anteriormente, varios procesos activados por bacterias, hongos y otros micro organismos dependen de una buena aireaciòn del suelo. La fijaciòn de nitrògeno y la nitrificaciòn por microorganismos pueden mencionarse como dos de los principales procesos aeròbicos que ejercen una importante influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas y frutales. Cuanto mas profundo puedan penetrar las raices, mayor cantidad de nutrientes estàn disponibles para ser absorbidos. La ventaja del drenaje entonces y la consecuente mayor profundidad radicular es aùn mayor cuando los nutrientes han sido desplazados hacia profundidades mayores. Esta relaciòn entre la absorciòn de distintos nutrientes (N,P,K,Ca, y Mg) y su dependencia de la profundidad de la napa freática, se ilustra en la figura 7 (Minessy et al ,1971), para dos variedades de cítricos en Egipto.

Como se aprecia en la figura, uno de los elementos que tal vez es el màs sensible a las condiciones de aireaciòn es el nitrògeno (N). Bajo condiciones aeròbicas la descomposiciòn de la materia orgànica se desacelera, mientras que parte del nitrògeno disponible se inmoviliza. Ademàs, serias pèrdidas resultan de la descomposiciòn del Nitrato (NO₃) por microorganismos los cuales usan NO₃ en vez de oxígeno

C.H.S, % vol.

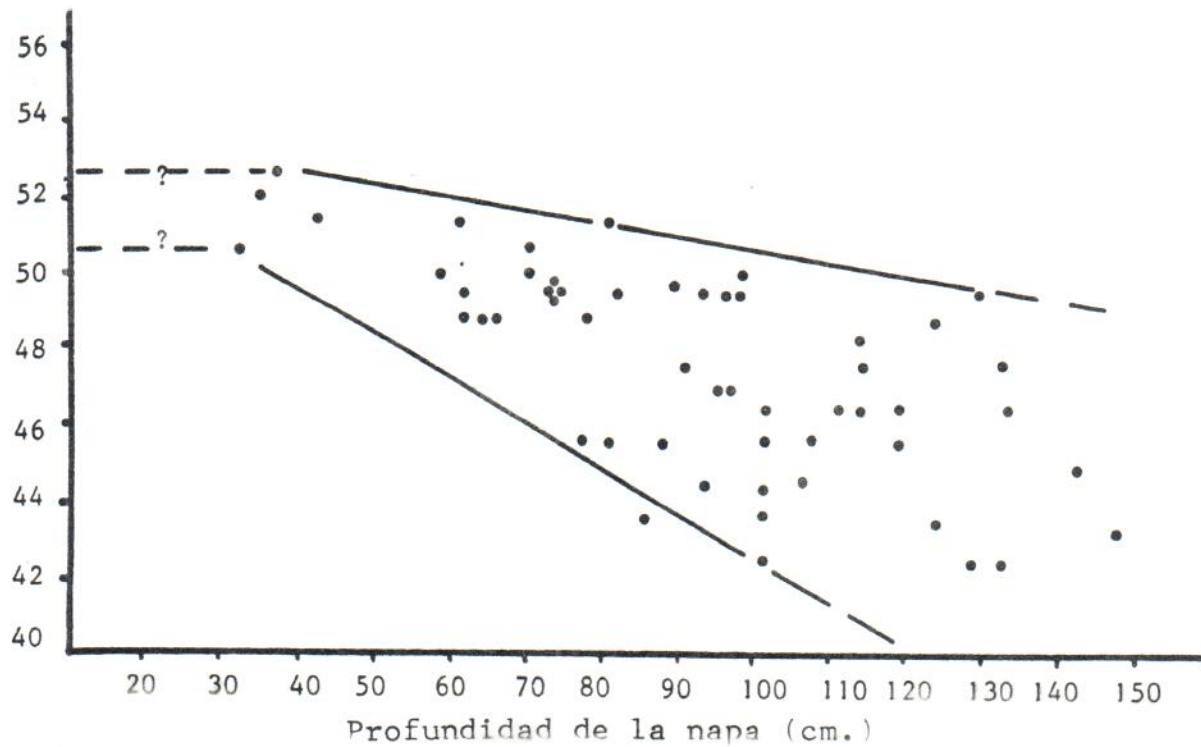
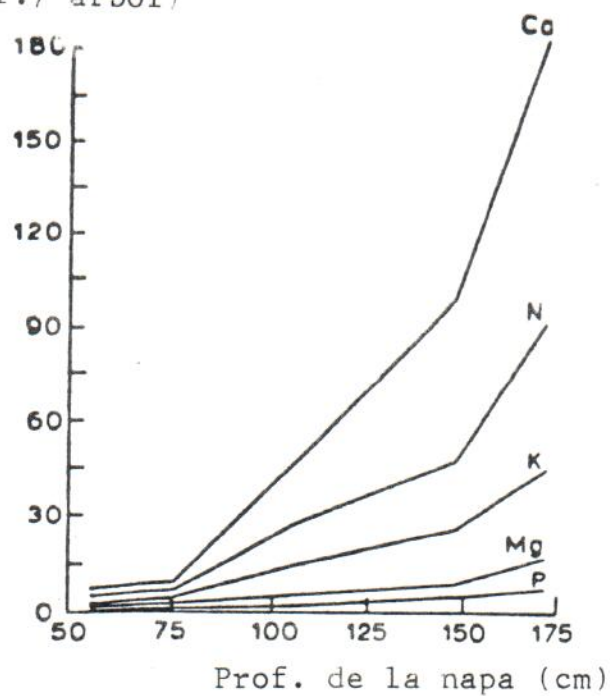


Figura 6. Relaciones entre Contenido de Humedad del Suelo (CHS, % volúmen) a 15 cm. de profundidad y profundidad de la napa freática en un suelo franco limoso en Carolina del Sur, U.S.A. (Oosterbaan, 1988).

Absorption
(gr./ árbol)



Absorción
(gr./árbol)

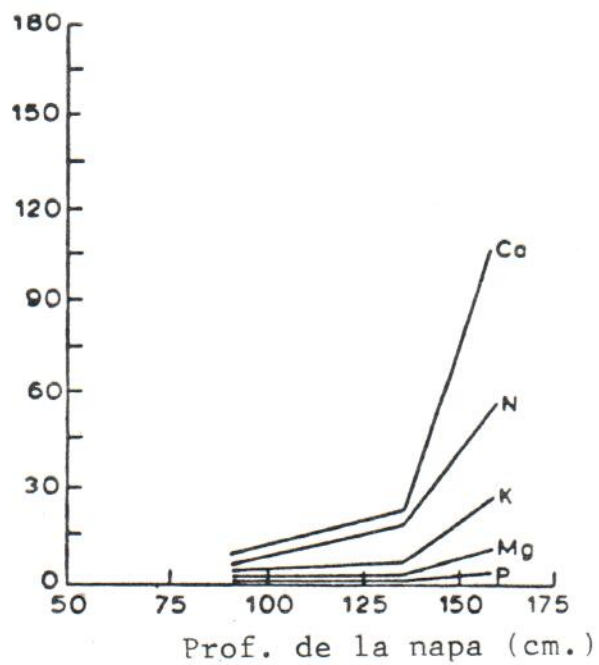


Figura 7. Efecto de la profundidad de la napa en la absorción de algunos nutrientes, a través de hojas nuevas de naranjo Washington (A) y mandarina Balady (B). (Minessy et al., 1971).

atmosférico como aceptor de hidrógenos, reduciendo éste a nitrito, óxido nítrico o nitrógeno gas el cual escapa desde el suelo por difusión (Wesseling, 1974).

Con respecto a la influencia de la profundidad de la napa sobre la disponibilidad de nitrógeno, Van Hoorn (1958) indica que con altos niveles freáticos las plantas adquieren por lo general un color amarillento, indicativo de un déficit de nitrógeno. Por otra parte, la figura 8 (Oosterbaan, 1980) muestra como la combinación de un drenaje adecuado y aplicaciones cada vez mayores de nitrógeno al suelo pueden provocar un marcado aumento en los rendimientos de maíz.

En contraste con la abundante información existente acerca del efecto de la profundidad de la napa freática sobre la disponibilidad de nitrógeno y del efecto de la aplicación de diversas formas de fertilizante nitrogenado bajo diversas condiciones de drenaje en cultivos tales como trigo, maíz, remolacha, no existe suficiente información acerca de lo que sucede en plantaciones de frutales mayores o menores. Esto demuestra la necesidad de realizar investigaciones locales a la mayor brevedad posible para prevenir o paliar actuales efectos que se estén manifestando.

3.2.2. Salinidad del Suelo

La salinidad del Suelo se refiere a la presencia de altas concentraciones de sales solubles en el agua almacenada en la zona radicular de los cultivos. Aunque éste no es un problema particularmente importante en la VIII Región, es necesario revisar algunos de sus efectos y su relación con drenaje por cuanto en Chile existen considerables áreas plantadas con frutales en suelos que tienen problemas de salinidad, en particular al norte de Santiago.

Estas altas concentraciones de sales de suelo, a través de la alta presión osmótica que generan, afecta el crecimiento de las plantas ya que restringe la absorción de agua por las raíces, aún cuando ésta se encuentre en cantidad suficiente como para no crear estrés. Asimismo, la salinidad puede también afectar el crecimiento de las plantas porque las altas concentraciones de sales en la solución del suelo interfieren con una balanceada absorción de iones nutricionales esenciales. Todas

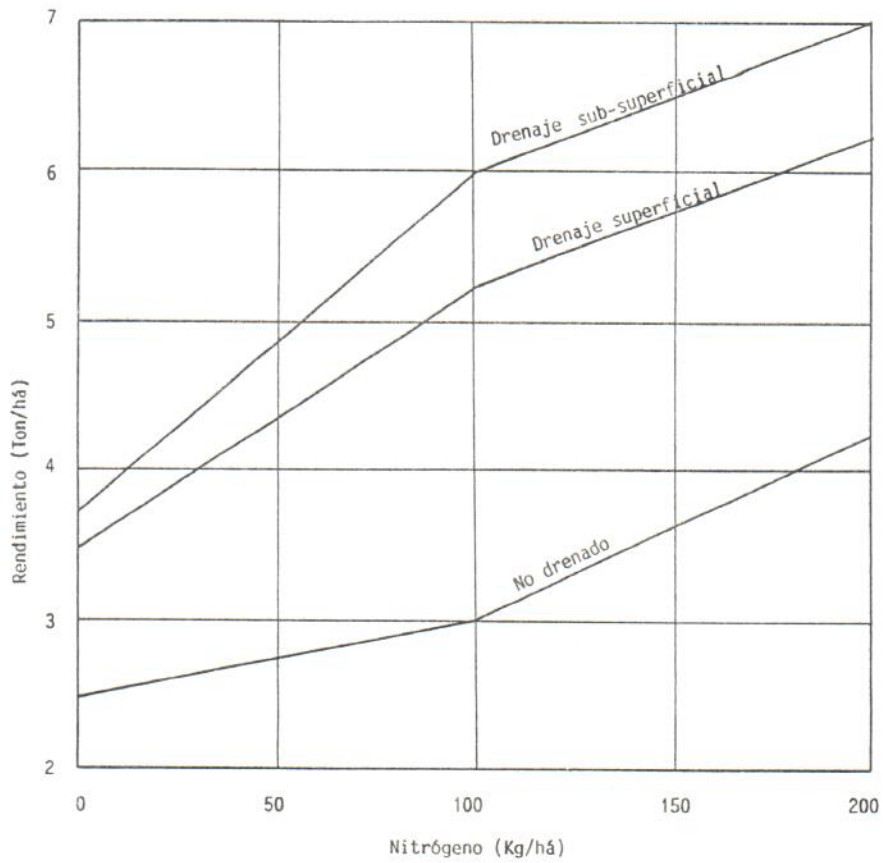


Figura 8. Aumento del rendimiento en maíz, promedio de 3 años (U.S.A.), como función del tipo y drenaje y aumentos sucesivos de fertilización nitrogenada (Oosterbaan, 1980).

las plantas están sujetas a esta influencia, pero la sensibilidad a las altas presiones osmóticas varía ampliamente de una especie a otra.

Según Oosterbaan (1988), los principales efectos de la salinidad sobre el crecimiento de las plantas y producción son:

- a. Germinación escasa y lenta e insuficiente de las semillas.
- b. Sequía fisiológica, marchitez y secado de plantas.
- c. Crecimiento retardado, hojas pequeñas, ramas y tallos cortos.
- d. Hojas de color azul verdoso.
- e. Retardamiento del florecimiento, pocas flores, esterilidad y semillas pequeñas.
- f. Crecimiento de plantas tolerantes a las sales o plantas halòfitas.
- g. Como resultado de todas estos factores desfavorables, bajos rendimientos de semillas y otras partes de la planta.

El Cuadro siguiente presenta la tolerancia de algunos frutales al exceso de sales, expresado como la conductividad eléctrica (CE $\times 10^{-3}$ mmhos/cm) al cual los rendimientos disminuyen alrededor del 10%.

Cuadro 5. Tolerancia de algunos frutales al exceso de sales (Wesseling, 1974).

Frutales	CE x 10 ⁻³ (mmhos/cm)
Palma datilera	8
Vid	4
Tóronja	3.5
Naranja	3
Limonero	2.5
Manzano, peral, damasco, ciruelo	2.5
Almendro, durazno	2.5
Boisenberry	2.5
Palto	2
Frambuesa, frutilla	1.5

Del cuadro anterior se desprende entonces que la mayoría de los frutales son altamente sensibles a los excesos de sales en la solución del suelo y por tanto para proveerles las condiciones adecuadas de salinidad, es necesario realizar obras de drenaje que permitan eliminar las sales excedentes. Esto significa que el sistema debe diseñarse para una capacidad que contemple la eliminación de la recarga además de los requerimientos de lavado.

3.3. Efecto sobre la producción de frutales

Como se indicó anteriormente, la literatura es relativamente escasa en cuanto a señalar el efecto que tiene el mal drenaje

sobre la producción de árboles frutales. Sin embargo, es posible afirmar que el sistema relativamente inflexible de crecimiento radicular de los árboles, con raíces activas desarrollándose a relativamente gran profundidad, parece ser fácilmente afectado por la presencia de una napa no necesariamente muy profunda. Sin embargo, la susceptibilidad de un árbol frutal a un drenaje pobre dependerá además de su edad y la estación climática. Así por ejemplo, en las raíces de un manzano sufrirán un daño mayor en verano que en invierno debido a que en este último periodo el árbol se encuentra en latencia e inactivo.

Van't Woudt and Hagan (1957) Señalan que el nogal requiere una napa a no menos de 2.5 -3.0 m de profundidad. Penman, mencionado por Oosterbaan, (1988) observó que los cítricos permanecen saludables y fructíferas sólo por 8 a 10 años cuando la napa se encuentra a 1.2 m de la superficie. Más allá de esa edad requieren profundidades mayores de la napa. Esto se ilustra gráficamente en las figuras 9 y 10 obtenida a partir de un trabajo realizado por Minessy et al (1971) en la parte norte de la República Árabe Unida.

En general, la extensión y profundidad de las raíces aumenta con la profundidad de la napa. Rendimientos adecuados son obtenibles sólo desde árboles que crecen en terrenos con napas a profundidades mayores de 1 m. El más alto rendimiento (41 kg de fruto por árbol) se obtuvo en suelos con la napa más profunda. Según Oosterbaan (1988), lo mismo encontró Visser en Holanda en ciruelos.

Las plantaciones de frutales en suelos con alto contenido de materia orgánica, pueden sufrir severos daños cuando tales suelos son drenados y ocurre subsidencia. Por otro lado, si el árbol crece bajo condiciones de nivel freático alto, tiende a desarrollar un sistema radicular muy superficial, tipo platiforme, que no le provee la sustentación necesaria.

Además del efecto de la disminución de los rendimientos, es necesario señalar que la presencia de un nivel freático alto puede eventualmente crear las condiciones más adecuadas para el desarrollo de algunas enfermedades. En un trabajo realizado por Matherson and Mircetich (1985) en un tipo de nogal del norte de California, U.S.A., encontraron que la plántula sufría

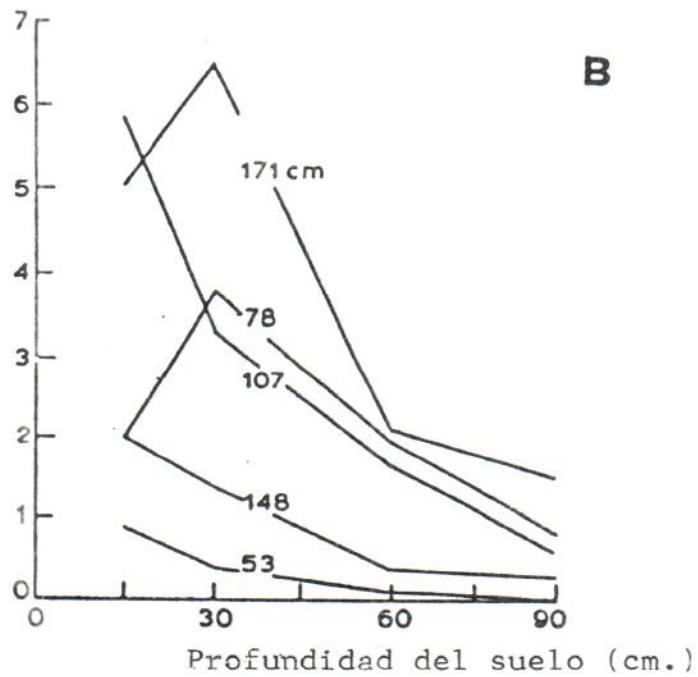
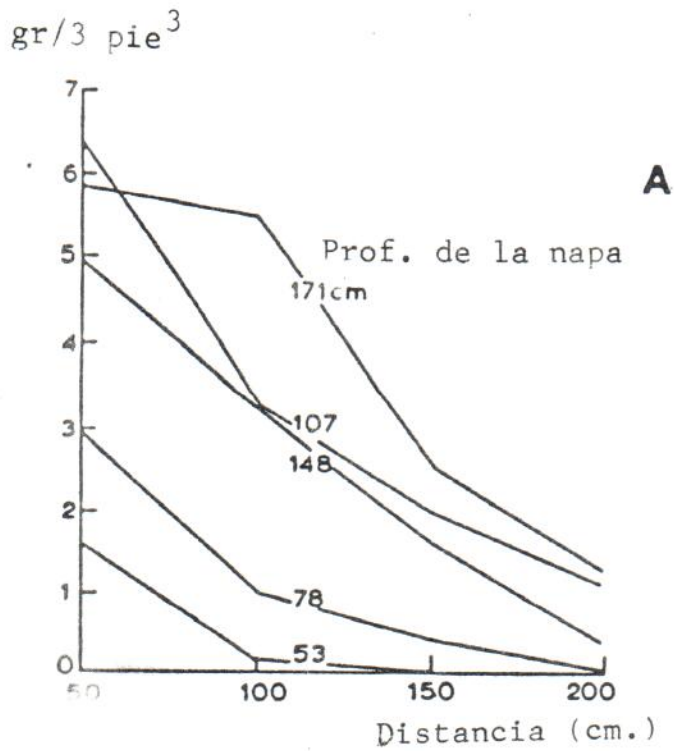


Figura 9. Cantidad de raíces como función de la profundidad de la napa freática y la distancia desde el árbol (A) y la profundidad (B) en naranjo Washington (Minessy et al., 1971).

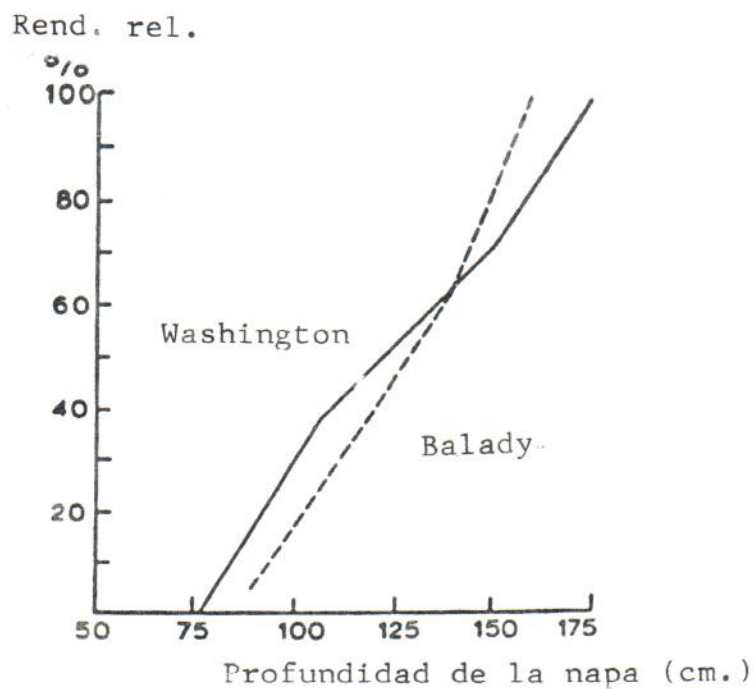


Figura 10. Efecto de la profundidad de la napa freática en el rendimiento de cítricos (Minessy et al, 1971).

severos daños en las raíces y corona causada por *Phytophthora cryptogea* y *P. citrophthora* en la medida que aumentaba de 6 a 48 horas el tiempo de inundación. Lo mismo obtuvieron Wilco y Mircetich (1985) en otro trabajo similar con frutillas.

4. SISTEMAS DE DRENAJES EN FRUTALES

El diseño de un sistema de drenaje para un huerto frutal no difiere considerablemente de aquel que se haga para cualquier otro cultivo, teniendo habida consideración de las características y requerimiento propios del cultivo que en definitiva determinan el diseño más aconsejable.

De acuerdo a lo indicado hasta este momento, según Oosterbaan (1988) en diseño de drenaje es posible distinguir cuatro tipos de variables (figura 11).

- a. Variables ingenieriles. Representan las diferentes posibles magnitudes y cantidades de los diversos componentes técnicos y materiales del sistema (ej: profundidad, espaciamiento, dimensiones de los drenes). Estas variables están sujetas a ciertas limitantes y restricciones las cuales determinan diferentes opciones. Las opciones seleccionadas determinan a su vez el plan de drenaje.
- b. Variables ambientales. Representan las condiciones naturales o artificiales bajo las cuales el sistema de drenaje debe funcionar. Variables ambientales típicas son: riego, lluvia, conductividad hidráulica del suelo, etc. Varían en forma espacial y temporal. Un determinado valor seleccionado como variable de diseño se llama parámetro.
- c. Variable objeto. Representa las posibles diferentes clases de drenaje que pueden considerarse. La variable objeto más usada es la producción del cultivo. Sin embargo, otras variables como días disponibles para las labores agrícolas mecanizadas, eliminación de cierto tipo de vegetación, u otros, pueden ser empleada.
- d. Variables criterio. Estas variables pueden estar relacionadas con las variables objeto. Ej.: profundidad de la napa freática. Esta variable puede ser optimizada, lo cual significa que puede tener un valor óptimo el cual rinde los máximos beneficios. Para tal efecto es necesario disponer de funciones de producción.

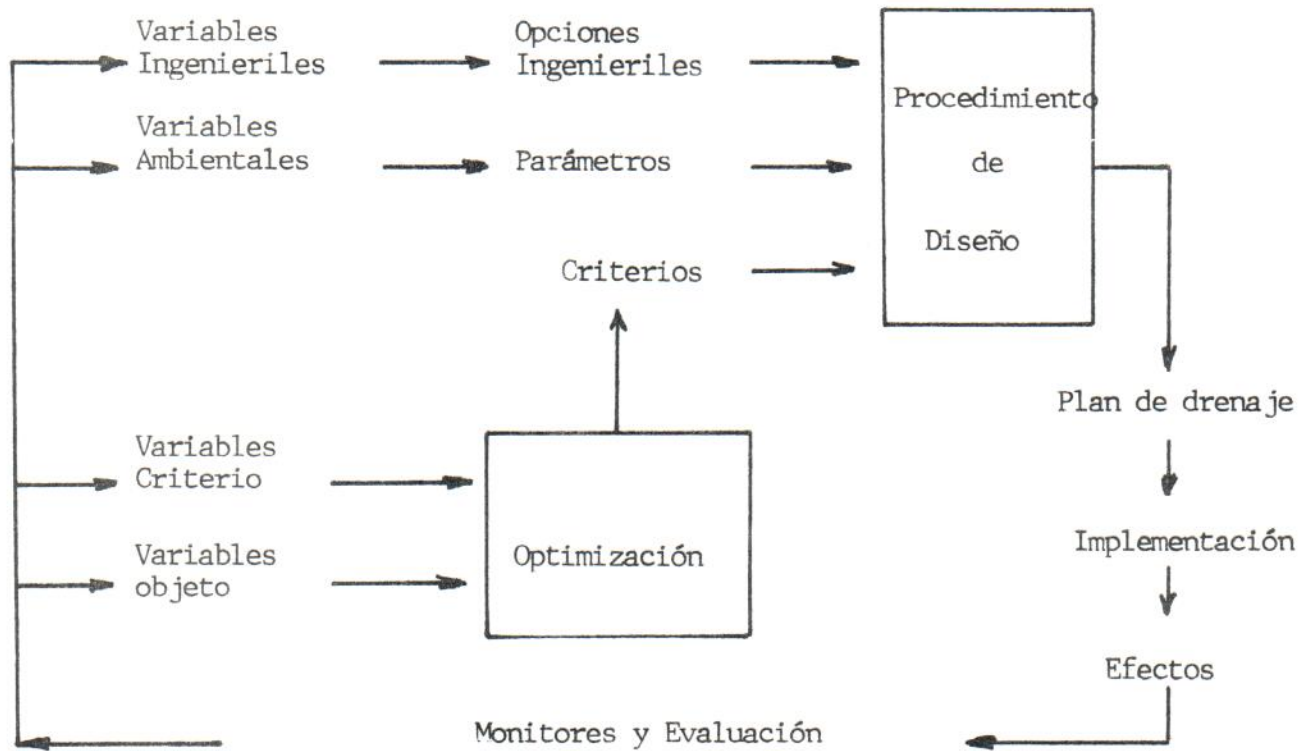


Figura 11. Rol del criterio en la optimización, diseño y evaluación de un sistema de drenaje (Oosterbaan, 1980).

Definidas (o al menos seleccionados) las variables e identificado el origen del problema a través de las investigaciones de terreno respectivas (Salgado, 1989), es posible seleccionar, en primer lugar, el sistema de drenaje a ampliar. Estos sistemas pueden ser (Salgado, 1986) :

4.1. Sistemas de Drenaje Superficial

Se entiende por drenaje superficial, la remoción de los excesos de agua que se acumulan sobre la superficie del suelo. Dependiendo de la fuente de exceso de agua, los tipos de drenaje superficial que más se puedan adaptar a frutales son :

4.1.1. Control de inundaciones

- a. Tranques de detención
- b. Diques de contención
- c. Rectificación de cauces

4.1.2. Control de escurrimiento

- a. Drenes interceptores
- b. Diques de contención

4.1.3. Drenaje superficial local

- a. Drenaje suelos planos
 - Drenes al azar
 - Drenes paralelos
- b. Drenaje de suelos con pendiente
 - Zanjas transversales a la pendiente
 - Terrazas

4.2. Sistema de drenaje sub-superficial

Se entiende por drenaje subsuperficial la remoción de los excesos de agua que se acumulan en el interior del suelo y que no pueden ser eliminados en forma natural debido a algún tipo de restricción que ofrece el suelo a la percolación profunda. Para remover artificialmente estos excedentes es necesario

construir una red de drenaje en la cual es posible distinguir los siguientes componentes:

- a. Drenes laterales (o de campo). Son los drenes encargados de drenar el suelo propiamente tal. Estos pueden disponerse en diversas formas (paralelo, espina de pescado, etc.) y hacia su diseño y disposición en terreno está destinada la determinación de las variables ingenieriles, ambientales, objeto y de criterio a que se hizo mención anteriormente.

Su función consiste básicamente en mantener el nivel freático constante, o a lo menos bajo una cierta profundidad previamente establecida, en función de los requerimientos del árbol.

- b. Drenes colectores. Como su nombre lo indica, estos drenes son los encargados de coleccionar el agua de drenaje proveniente de los laterales y transportarla fuera del área problema. Además de esta función de transporte también realizan una función de drenaje, aún cuando no es éste su objetivo ni el diseño obedece a tal requerimiento.

- c. Dren principal. Son aquellos que reciben el aporte de todos los colectores de un área determinada. Por lo general el dren principal es un río o estero cercano al lugar donde se realiza el diseño. En muchos casos, sin embargo, será necesario construir uno especialmente para tal objeto.

Los drenes laterales pueden ser zanjas abiertas o tuberías enterradas. Consideraciones de tipo ingenieril (estabilidad del suelo, profundidad, etc.), disponibilidad de maquinaria, mano de obra o materiales y de tipo económico pueden indicar la conveniencia de uno u otro tipo.

En atención a que el diseño de sistemas de drenaje es un aspecto que escapa a los objetivos de este curso, se invita a los interesados a leer algunas referencias más específicas tales como : Salgado, 1989 y Wesseling, 1977.

BIBLIOGRAFIA

- Alcayaga C., Sergio. 1989. Origen, distribución y caracterización de los suelos de drenaje restringido. Boletín Nº 9 de la Sociedad Chilena de Ciencias del Suelo (En prensa).
- Carruthers, Ian. 1985. Cómo cuidar la inversión en riego: el factor drenaje. *Ceres* 18(4): 15 - 21.
- Fausey, N.R. and G.O. Schwab. 1969. Soil moisture content, tilth and soybean response with surface and subsurface drainage. *Agronomy Journal* 61 : 554 - 557.
- Feddes, R.A. 1971. Water, heat and crop growth. Mededelingen Landbouwschool, Wageningen, The Netherland.
- Grassi, C.J. 1981. Manual de drenaje agrícola. CIDIAT, Serie Riego, y Drenaje RD - 10. Mérida, Venezuela.
- Hetz H., Edmundo. 1988. Tiempo disponible para ejecutar operaciones agrícolas mecanizadas en Ñuble Central. 1982 1987. *Agro-Ciencia* 4(1): 59 - 65.
- Jara R., Jorge; Villarroel E. y Valenzuela A. 1988. Analisis matemático de la eficiencia de conducción en canales. *Agro.Ciencia* 4 (2): 153-157.
- Matherson, M.E. and S.M. Mircetich. 1985. Pathogenicity and relative virulence of *Phytophthora* spp. from Walnut and other plants to rootstocks of english walnut trees. *Phytopathology* 75(9): 977 - 981.
- Minessy F.A.; M.A. Barakat and E.M. El - Azab. 1971. Effect of some soil properties on root and top growth and mineral content of Washington navel orange and Balady mandarin. *Plant and Soil* 34 (1): 1-15.
- Oosterbaan, R.J. 1980. The study of effect of drainage on agriculture. In : Land Reclamation and Water Management, ILRI, Wageningen, Holland. Publication 27. pp. 160-170.
- Oosterbaan, R.J. 1988. Drainage for agriculture. 27 th International Course on Land Drainage, Wageningen, The Netherland.

- Oostebaán, R.J. 1988b. Agricultural criteria for subsurface drainage : A Systems analysis. Agricultural Water Management 14(1-4): 79-90.
- Salgado, S., L. 1986. Drenaje. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Agrícola, Chillán. Boletín de Extensión Nº 10. 42p.
- Salgado S., L. 1989. Habilidad de Suelos con drenaje restringido. Boletín Nº 9 de la Sociedad Chilena de Ciencia del Suelo (En prensa).
- Valenzuela A., A. y Peña. 1966. Eficiencia de utilización del agua de riego en el Departamento de Chillán. Escuela de Agronomía. Estación Experimental. Boletín Técnico 9 5.
- Van de Goor, G.A. W. 1972. Plant growth in relation to drainage. In: Drainage Principles and Applications. ILRI, Publication 16, Wageningen, The Netherland.
- Van Hoorn, J.W. 1958. Results of a groundwater level experimental field with arable crops on clay soils. Netherland Journal of Agriculture 6:1 - 10.
- Wesseling. J. 1974. Crop growth and wet soils. In: I. Van Schilfgaarde (Ed.) Drainage for Agriculture. American Society of Agronomy Nº 17, Madison, Wisconsin, U.S.A. pp. 7-32.
- Wesseling, J. 1977. Subsurface flow into drains. In: Drainage Principles and Applications, ILRI, Publication 16, Wageningen, The Netherland.
- Wilcox, W.F. and S.M. Mircetich. 1985. Effects of flooding duration on the development of phytophthora root and crown roots of cherry. Phytopatology 75(12): 14511-1455.
- Woudt D. Van't and R.M. Hagan. 1957. Crop response to excessively high soil moisture levels. In: Luthin, I.N. (ED.) Drainage of agricultural lands. American Society of Agronomy Nº 7 pp. 514 - 578.

