COMISION NACIONAL DE RIEGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS

INIA
REMEHUE

# DIAGNOSTICO Y CONSECUENCIAS DEL MAL DRENAJE EN EL SUR DE CHILE

MODULO DEMOSTRATIVO COYHAIQUE, UNDECIMA REGION

PROYECTO: ESTUDIO DE INVESTIGACION Y VALIDACION DE TECNOLOGIA DE DRENAJE EN LAS IX - X - XI REGIONES

OSORNO SEPTIEMBRE 1996

La comisión Nacional de Riego (CNR) y el Centro Regional de Investigación Remehue del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) presentan esta Cartilla Divulgativa Nº 2 correspondiente a una serie de documentos de este tipo, realizados con financiamiento del Proyecto.

"Investigación y Validación de Tecnología de Drenaje en las IX -X - XI Regiones"

Autor:
Leopoldo J. Ortega Corrales
Ingeniero Agrónomo

Colaboradores:
Marta Alfaro Valenzuela
Ingeniero Agrónomo
Juan Carlos Dumont Lataste
Ingeniero Agrónomo Ph. D.

Editor:
Giancarlo Bortolameolli
Ingeniero Agrónomo

Diseño y Diagramación:
Ragapi Producciones

Tiraje:
1.000 Ejemplares

COMISION NACIONAL DE RIEGO

Regando el futuro

COMISION NACIONAL DE RIEGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

INIA REMEHUE

# DIAGNOSTICO Y CONSECUENCIAS DEL MAL DRENAJE EN EL SUR DE CHILE

MODULO DEMOSTRATIVO COYHAIQUE, UNDECIMA REGION

PROYECTO: ESTUDIO DE INVESTIGACION Y VALIDACION DE TECNOLOGIA DE DRENAJE EN LAS IX - X - XI REGIONES

OSORNO SEPTIEMBRE 1996

J. Pablo Schuster

# INDICE


| | |
|---|---|
| DEFINICION DEL PROBLEMA | 1 |
| CLASIFICACION DEL PROBLEMA DE DRENAJE | 2 |
| ESTADOS DE AGUA EN EL SUELO | 3 |
| RECONOCIMIENTO Y DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS DE DRENAJE | 6 |
| CAUSAS DEL PROBLEMA | 8 |
| CONSECUENCIAS DEL MAL DRENAJE | 12 |
| CONSECUENCIAS SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO | 13 |
| CONSECUENCIAS SOBRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO | 15 |
| ACTIVIDAD BIOLOGICA EN SUELOS DE DRENAJE RESTRINGIDO | 18 |
| CONSECUENCIAS SOBRE ASPECTOS DE MANEJO AGRONOMICO | 19 |
| OTRAS CONSECUENCIAS | 22 |
| BIBLIOGRAFIA | 26 |

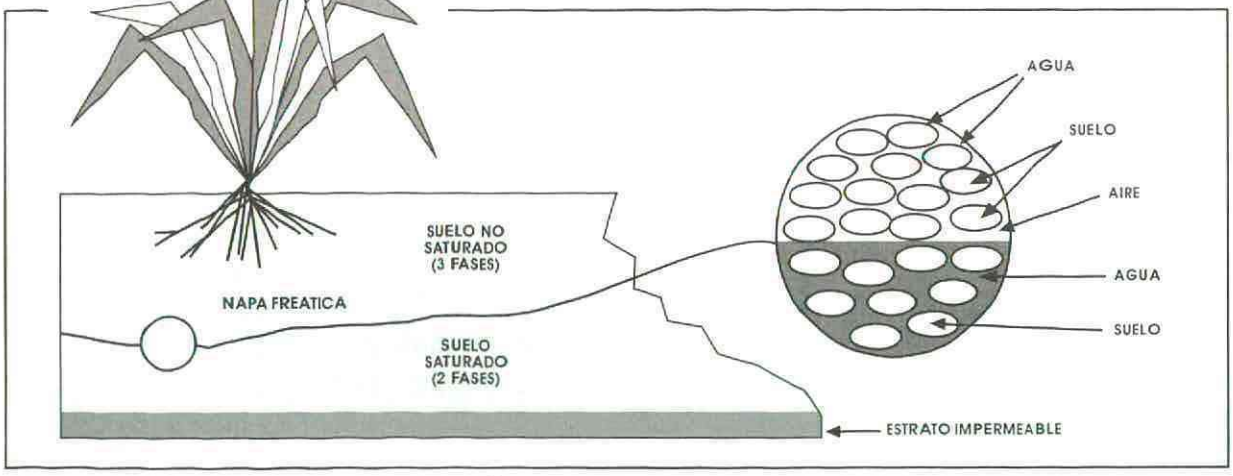
# DIAGNOSTICO Y CONSECUENCIAS DEL MAL DRENAJE EN EL SUR DE CHILE

## DEFINICION DEL PROBLEMA

Para que las semillas germinen, las plantas crezcan, se desarrollen adecuadamente y produzcan altos rendimientos, es necesario que en el suelo coexistan tres fases:

*Una fase sólida, representada por las partículas de suelo.
* Una fase líquida, representada por el agua.
* Y una fase gaseosa, representada por el aire.

Figura 1. Fases existentes en un suelo no saturado y saturado.




Como se indica en la Figura 1, bajo condiciones de mal drenaje o exceso de

agua, el aire presente en el suelo es removido y el espacio libre es ocupado por el agua. En tales condiciones, las plantas son afectadas en sus procesos esenciales, debido a que el oxígeno es indispensable para la respiración de las raíces.

Por lo tanto, la habilitación de suelos con problemas de drenaje, tiene como objetivo fundamental, disminuir el exceso de agua que se puede acumular, tanto en la superficie como en el interior del suelo, con el fin de mantener las condiciones óptimas de aireación y de actividad biológica indispensables para los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo radical.

## CLASIFICACION DEL PROBLEMA DE DRENAJE

Para la acertada selección de los métodos de drenaje a utilizar, es necesario identificar el origen y el tipo de problema de mal drenaje que se está enfrentando. De acuerdo a este criterio, se ha clasificado los problemas de drenaje en dos tipos:

| Superficial | y | Subsuperficial |
|---|---|---|

En drenaje superficial, el problema consiste en la acumulación de agua sobre la superficie del suelo, la cual no es eliminada naturalmente, ya sea por escurrimiento superficial o percolación profunda.

En el caso del drenaje subsuperficial, el problema se produce por un exceso de agua en el interior del suelo, debido a la presencia de una napa freática, permanente o fluctuante, a una profundidad tal que restringe el desarrollo radical. Se llama napa freática a la superficie de agua presente en el suelo y que marca el límite entre el suelo saturado y el suelo no saturado. Generalmente, la napa freática se ubica sobre una estrata impermeable, la cual impide el movimiento vertical del agua, produciendo la napa y la condicion de suelo saturado.

Los problemas de drenaje de la zona sur de Chile, principalmente en la Décima Región, son de tipo superficial.

## ESTADOS DE AGUA EN EL SUELO

Las partículas del suelo que constituyen la fase sólida tienen la propiedad de absorver humedad en su superficie, convirtiéndola en una película que las envuelve. Este fenómeno es debido a fuerzas de adhesión y de cohesión, como se indica en la Figura 2.

La adhesión consiste en la atracción entre moléculas de distinta naturaleza, debida a fuerzas eléctricas. De esta manera, las partículas sólidas retienen enérgicamente una fina película de agua de solamente 3 a 4 moléculas de espesor.

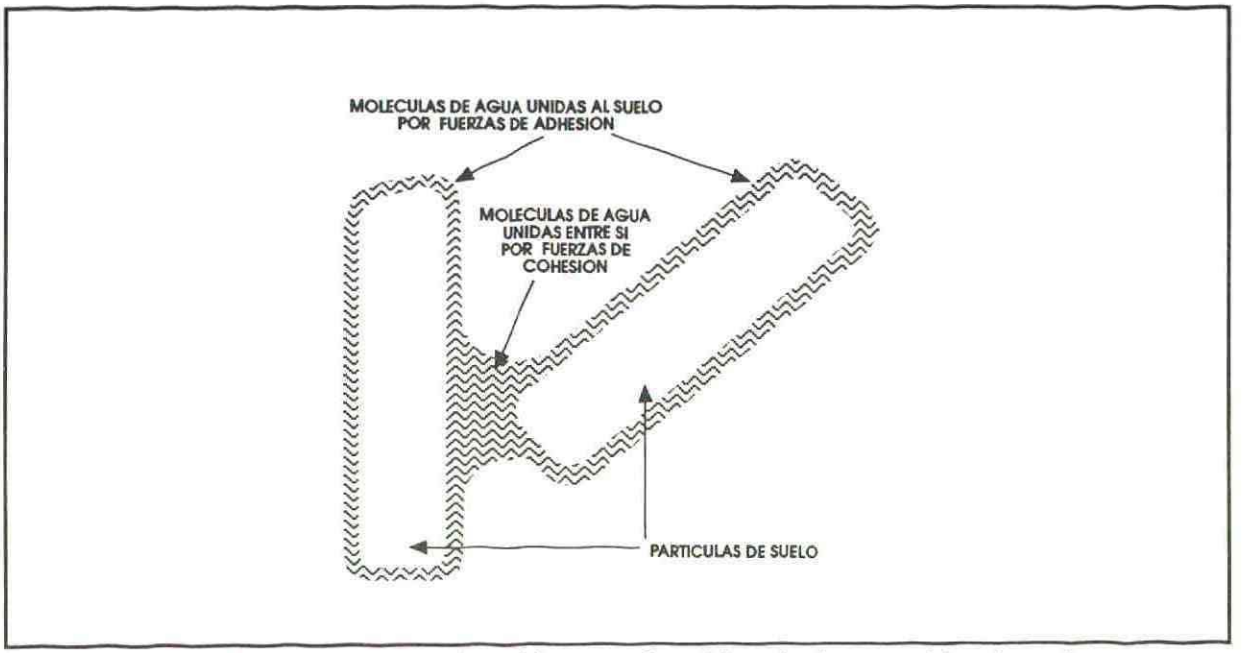



Figura 2. Fuerzas de adhesión y cohesión de las moléculas de agua.
Fuente: Adaptado de Hillel, D. Introduction to Soil Physics. p 70. 1982.

El agua adherida atrae a otras moléculas de agua, mediante el fenómeno de cohesión, que consiste en la atracción entre moléculas de la misma naturaleza.

La cohesión es igualmente debido a fuerzas eléctricas, por el carácter dipolar de las moléculas de agua. De esta manera se forma una segunda capa rodeando las partículas, con un espesor de varios cientos de moléculas, que son retenidas más débilmente que las de la primera capa.

La fuerza con que el agua es retenida por cada poro es función de su diámetro. Los poros pequeños retienen el agua con más fuerza que los grandes.

Veamos ahora los distintos estados de humedad del suelo.

Cuando todos los poros están llenos de agua, se dice que el suelo está saturado. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando a cierta profundidad existe una estrata impermeable, cuando el drenaje es demasiado lento, etc. Si se permite que un suelo saturado drene, el contenido de agua comienza a descender, y los poros que van quedando vacíos, son ocupados por el aire. El agua así eliminada, se denomina agua libre o gravitacional y no es retenida por el suelo.

El drenaje del agua continúa hasta que llega un momento en que el suelo no pierde más agua. En este estado se dice que el suelo está a capacidad de campo (CC) y los poros más pequeños del suelo retienen el agua contra las fuerzas de gravedad y los poros mayores están en buena parte ocupados por el aire. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos, que encuentran en el suelo abundante agua retenida, con una energía que es fácilmente superada por la succión de las raíces, al mismo tiempo que el suelo está suficientemente aireado.

El contenido de agua puede descender por debajo de la capacidad de campo como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas. La capa de agua que rodea las partículas se hace más fina y a medida que el contenido de humedad disminuye, se hace más difícil la absorción de agua por las raíces, hasta que se alcanza un estado denominado punto de marchitez permanente (PMP), que se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible. En este estado el agua es retenida tan fuertemente, que es difícil de extraerla mediante el sistema radicular de la mayoría de los cultivos.

La cantidad de agua comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez es el agua útil (A U ), es decir, la cantidad de agua que puede retener un suelo y que puede ser aprovechada por las plantas.

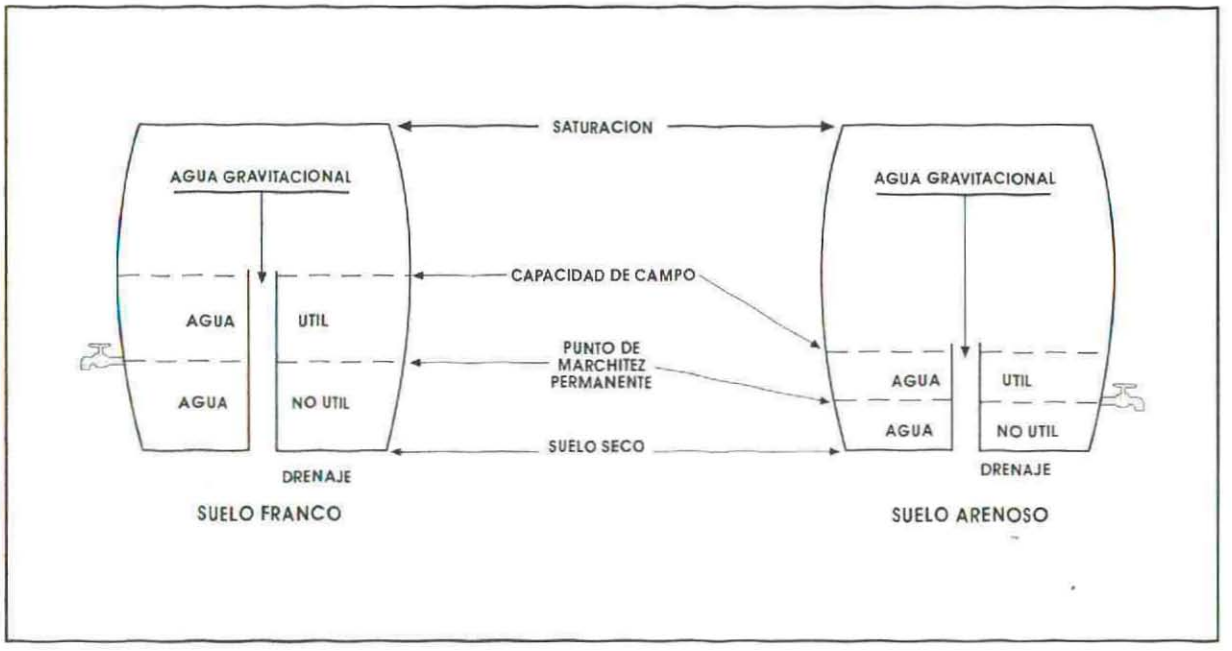



Figura 3. Esquema de los distintos estados de humedad del suelo, para dos texturas diferentes.

## RECONOCIMIENTO Y DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS DE DRENAJE

La experiencia indica que cada problema de mal drenaje, posee características

particulares, que lo hacen único. Es decir, ningún proyecto es idéntico a otro, razón por la cual es imprescindible un reconocimiento y diagnóstico de cada situación.

El reconocimiento de problemas de drenaje tiene como objetivo evaluar las condiciones generales del área y determinar sus problemas existentes o potenciales. Consiste en una inspección del área desde puntos facilmente accesibles, en la época cuando se manifiestan marcadamente los problemas de mal drenaje, y se debe completar esta visita con las opiniones e impresiones de las personas que habitan el lugar.

En el Reconocimiento existen dos etapas:

*Recopilación de antecedentes y
*Reconocimiento de campo

## Recopilación de antecedentes

Se debe reunir toda la información existente sobre el sitio en cuestión, como por ejemplo, fotografías aéreas, mapas, estudios, informes o publicaciones y opiniones de personas conocedoras del tema en el área.

## Reconocimiento de Campo

En este recorrido se recomienda obtener la siguiente información:

*Análisis de las descargas de las aguas, pudiendo ser cauces naturales o zonas más bajas (quebradas).

*Delimitación de áreas de aporte de escorrentías, que pueden ser laderas adyacentes o predios ubicados aguas arriba.

*Delimitación de áreas de saturación e inundación.

*Identificación de limitaciones de suelo.

*Identificación de limitaciones de topografía.

Posteriomente se debe realizar un diagnóstico del problema, el cual debe entregar la siguiente informacion:

*Identificación del origen del problema.

*Identificación de las fuentes de exceso de agua.

*Proposición de posibles soluciones del problema, con sus costos y beneficios estimativos.

*Recomendación de estudios más detallados para un proyecto definitivo (topografía, agrología, hidrología, etc.).

## CAUSAS DEL PROBLEMA

El exceso de agua sobre el suelo o en el interior del mismo, puede ser ocasionado principalmente por la conjunción de uno o más de los siguientes factores:

*Precipitaciones
*Inundaciones
*Riegos
*Suelo
*Topografía y
*Filtraciones.

La alta pluviometría, es la principal fuente de exceso de agua en los suelo del sur de Chile. Las inundaciones son consecuencia de la precipitación, y las limitaciones topográficas y edáficas contribuyen a agravar la acción de las causas anteriores.

## Precipitaciones

Los problemas de mal drenaje, originados por las precipitaciones, se manifiestan fundamentalmente en zonas clasificadas como húmedas. (Por ejemplo: Valdivia 2.000 mm/año, Osorno 1.500 mm/año). En estas zonas, la precipitación excede a la evapotranspiración y en consecuencia, hay períodos de un exceso de humedad en los suelos, durante los cuales éste se encuentra saturado y al ocurrir nuevas lluvias, el agua no puede ser absorbida, provocando el escurrimiento superficial y acumulación de agua en los terrenos ubicados en posición más baja.

## Inundaciones

Las inundaciones causan problemas de drenaje, particularmente en los terrenos adyacentes a los ríos y esteros. Lluvias de alta intensidad en la parte alta de las hoyas hidrográficas crean un aumento considerable en el caudal de los ríos, los cuales, al no ser contenidos en el cauce normal, desbordan provocando problemas de drenaje a lo largo del plano de inundación ( *Vegas* ).

La alta precipitación en sí misma, sin embargo, no es la única causante. El mal mantenimiento del cauce de los ríos y esteros, puede ser en muchas ocasiones el factor determinante en su desbordamiento.

Las inundaciones ocurren principalmente por:

a) Poca capacidad de los cauces, debido a limitaciones de pendiente, o por sedimentación y obstáculos en los mismos.

b) Ocurrencia de lluvias de magnitudes extraordinarias.

c) Acción incontrolada del hombre sobre la hoya hidrográfica del río (deforestación), creando las condiciones propicias para un alto escurrimiento.

d) Obstrucción al drenaje natural de ríos, esteros y quebradas debido a la construcción de obras de ingeniería mal concebidas y/o deficientemente dimensionadas.

## Suelos

Las características de textura, estructura y de estratificación, son determinantes en la formación de problemas de mal drenaje. Los casos más importantes al respecto son los siguientes:

*Suelos estratificados, particularmente aquellos que se encuentran en planos depositacionales de ríos (vegas) o de cenizas volcánicas, presentan estratas que se comportan como impermeables e impiden el movimiento vertical del agua.

*Suelos de texturas finas (arcillosas),y de estructura masiva en la estrata superficial, tienen una baja velocidad de infiltración.

*Ocurrencia de depósitos de limo en la superficie de los suelos, formando costras que impiden la infiltración.

## Topografía

Se distinguen tres casos característicos, en que la topografía es causante del problema de drenaje:

*Topografías muy planas (< 0,5 % de pendiente ), impiden el libre escurrimiento de las aguas y con frecuencia causan acumulación superficial.

*Microrrelieve con depresiones pequeñas y medianas, que impide el movimiento superficial del agua.

*Terrenos con posición relativa baja, afectados por la escorrentía de áreas de cotas superiores. Si estas depresiones no poseen una salida natural del agua, se presentan problemas de drenaje localizados. Estos terrenos reciben el nombre de "hualves".

## Riegos

El uso de prácticas inapropiadas de riego superficial, como riego tendido, riego nocturno, tiempos excesivos y volúmenes incontrolables, provocan pérdidas excesivas por escurrimiento superficial y por percolación profunda.

El primero se acumula en las depresiones del terreno y el segundo contribuye a una rápida elevación de la napa freática.

Este problema no existe en aquellas áreas del sur de Chile donde se realiza riego por aspersión.

## Filtraciones

La red extra e intrapredial de canales de riego, construída casi en su totalidad directamente en tierra, presenta filtraciones laterales de mayor o menor grado, que van a abastecer la napa freática, o afloran a la superficie en sectores de posición mas baja.

Este problema es importante desde la Novena Región hacia el norte, acrecentándose en la medida que los canales de distribución de agua se encuentran en mal estado.

# CONSECUENCIAS DEL MAL DRENAJE

Las consecuencias del mal drenaje pueden ser agrupadas en cuatro aspectos:

*Las que afectan las propiedades físicas del suelo.

*Las que actúan sobre las características químicas del suelo.

*Las que inciden sobre aspectos de biología del suelo.

*Las que inciden sobre aspectos productivos y de manejo agronómico.

La combinación de los aspectos mencionados, dan como resultante la alteración de los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo radicular de las plantas, que provocan una baja en la productividad de las mismas y por ende, pérdidas económicas considerables (Grez, 1989).

# CONSECUENCIAS SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

## Porosidad

La porosidad no es una caracteristica constante del suelo. La presión sobre el suelo con equipos de laboreo, reduce la porosidad. La disminución afecta en mayor grado a la cantidad de poros de drenaje rápido o de aireación, y también a los poros de agua útil.

En la medidad que los suelos disminuyan su porosidad, también disminuye la capacidad de almacenamiento de agua y la infiltración, razón por la cual estos suelos presentan el problema de saturarse más rápidamente.

## Trabajabilidad y capacidad de soporte

La capacidad de soporte del suelo, es definida como el máximo peso que puede soportar un suelo sin disminuir su espacio poroso.

En suelos con exceso de humedad, la capacidad de soporte disminuye, por lo tanto, el mal drenaje puede provocar una disminución del espacio poroso y en casos extremos produce compactación.

Por esta razón, es importante considerar la capacidad de soporte del suelo, en la medida que se utilice maquinaria más potente y de mayor peso para las labores agrícolas.

## Efecto sobre la temperatura del suelo

Se ha observado que suelos con problemas de drenaje tienen temperaturas más bajas que los suelos normales.

Esto se debe a que un suelo húmedo requiere de una mayor cantidad de calor que un suelo seco para subir su temperatura ( un suelo con agua necesita cinco veces más calor que un suelo seco para elevar su temperatura) y además, al efecto de enfriamiento debido a la mayor evaporación desde un suelo mojado.

La menor temperatura del suelo, debido al exceso de humedad, incide negativamente en la emergencia de las siembras de primavera, y en el caso de praderas, retarda el inicio del crecimiento primaveral de las forrajeras.

# CONSECUENCIAS SOBRE LAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

Las restricciones de drenaje en un suelo induce en ellos una disminución del aporte de oxígeno, lo que a su vez incide en el desarrollo de ciertas reacciones en las cuales participan elementos tales como carbono (C), nitrógeno (N), y azúfre (S), entre otros (Grez, 1989).

## Disminución del oxígeno ($O_2$), e incremento del anhídrido carbónico ($CO_2$)

Cuando un suelo sufre una inundación, el espacio poroso ocupado por los gases disminuye, y en sentido estricto, se puede llegar a eliminar totalmente el espacio poroso disponible para el aire.

Una vez que el nivel de oxígeno baja substancialmente, se produce asfixia radicular y proliferan organismos anaeróbicos. Además, en el perfil del suelo se produce un aumento del N, $CO_2$, y de otros gases. El $CO_2$ puede alcanzar valores de hasta un 50 %, pudiendo permanecer por varias semanas en suelos inundados y que se encuentran a bajas temperaturas.

## Descomposición de la materia orgánica

En suelos con buena aireación, los hongos son los primeros en actuar en la descomposición de la materia orgánica. En suelos inundados, las condiciones anaeróbicas que se producen, impiden el desarrollo de los hongos y no ocurre la descomposición de materia orgánica, llegando así a una acumulacion de estos materiales y a la baja presencia de organismos en el suelo.

## Aumento de la acidez

El exceso de humedad aumenta la lixiviación de los cationes existentes en el suelo, como son: calcio, magnesio, potasio y sodio, lo cual se traduce en una disminución del pH.

Por lo tanto, las condiciones de mal drenaje facilitan la acidificación de los suelos.

# Disponibilidad de Azufre

En regiones húmedas, más del 95% del azufre total se encuentra de manera orgánica, lo que implica una escasa disponibilidad para las plantas.

Este azufre orgánico puede transformarse en inorgánico o de fácil absorción, debido a la acción de microorganismos del suelo o por mineralización de la materia orgánica. Estos procesos se encuentran muy limitados en condiciones de mal drenaje, lo que se traduce en una baja disponibilidad de azufre para las plantas.

# Disponibilidad de Fósforo

En condiciones de saturación prolongada del suelo, en un inicio se produce un leve aumento de la concentración de fósforo. No obstante, en la medida que la saturación se acentúa y se prolonga, se conforman minerales de fósforo muy estables y el incremento inicial de fósforo soluble, comienza a desaparecer, pudiendo disminuir la disponibilidad de fósforo por debajo de su valor original.

Por lo tanto, las condiciones del mal drenaje prolongadas, disminuyen la disponibilidad del fósforo en el suelo.

# Disponibilidad de Nitrógeno

Bajo condiciones de restringida aireación y bajas temperaturas, se produce una desaceleración de la descomposición de la materia orgánica, quedando escasos nutrientes disponibles.

Se considera que el nutriente más afectado por la saturación del suelo es el nitrógeno, ya que bajo condiciones anaeróbicas, se desacelera el proceso de mineralización de la materia orgánica, mientras que parte del nitrógeno disponible se inmoviliza.

Además, en condiciones anaeróbicas se producen importantes pérdidas de nitrógeno, debido a que actúan microorganismos que usan el nitrato ($NO_3$) en vez de óxigeno atmósferico como receptor de hidrógenos, reduciendo éste a nitrito, óxido nitroso o nitrógeno gaseoso, el cual escapa desde el suelo por volatilización (Wesseling, 1974).

# ACTIVIDAD BIOLOGICA EN SUELOS DE DRENAJE RESTRINGIDO

En general, los suelos de drenaje restringido, debido a las menores temperaturas y la disminución de la cantidad de oxígeno existente en ellos, presentan menor cantidad de organismos del suelo, tales como lombrices.

No obstante, proliferan otro tipo de microorganismos, siendo éstos muchas veces menos activos y menos eficientes en la descomposición de materia orgánica (Mackay *et al*, 1983).

# CONSECUENCIAS SOBRE ASPECTOS DE MANEJO AGRONOMICO

Los siguientes efectos del mal drenaje, tienen relación con consideraciones de tipo agronómico:

* Daños directos por pisoteo
* Baja utilización del forraje
* Disminución de los días de pastoreo
* Atraso en la preparación de suelos
* Dificultades de manejo

## Daños Directos por Pisoteo

En un suelo con exceso de humedad las pezuñas del animal en pastoreo destruyen no sólo la parte aérea, sino también las raíces de la planta. Así, la recuperación después del pastoreo es lenta y además, se va progresivamente "abriendo" la pradera, con lo que se pierde producción, debido a una menor tasa de crecimiento y a un menor número de macollos por unidad de superficie, ya que las plantas que han sido enterradas por el pisoteo no se recuperan fácilmente.

Cuando se producen estos daños, se requiere considerar la regeneración de estas praderas para mantener su nivel de producción, por lo que se incurre en un aumento de los costos.

## Baja utilización del forraje

Debido al daño y desorden provocado en la estrata herbácea, el animal rechaza las plantas sucias (por baja palatabilidad), perdiéndose así una gran cantidad de forraje. Este efecto se hace acumulativo en los próximos ciclos de pastoreo.

En casos extremos, puede ocurrir que a pesar de existir una cobertura vegetal de buena disponibilidad, no sea posible utilizar este forraje. Esto debido a que el excesivo contenido de humedad del suelo, ocasionaría una destrucción total de la cobertura por efecto del pisoteo, en caso de pastoreo, o por efecto de la maquinaria, en caso de cosecha del forraje.

## Disminución de los días-pastoreo

Para evitar los daños mencionados anteriormente, estos potreros no son utilizados hasta que el suelo está firme, resultando así en una gran pérdida de días pastoreo que son importantes en la época invernal, cuando el forraje es escaso.

## Atraso en la preparación de suelos

En un terreno mal drenado, se debe esperar hasta fines de primavera para iniciar labores de suelo. Esto provoca una deficiente preparación de la cama de semillas y atrasos en las épocas óptimas de siembra.

## Dificultades de manejo generales

Por la menor disponibilidad de forraje y superficie de pastoreo, la carga animal aumenta en otros sectores del predio. Se requiere disponer de forraje suplementario, ya sea en la forma de ensilaje, heno o concentrado; y tambien se recurre a la fertilización nitrogenada de algunas praderas, todo esto con el propósito de suplir el déficit de forraje.

En ocasiones, es necesario recurrir al arriendo de otros terrenos o a la venta de animales para disminuir la carga.

Además, el traslado de animales y el tránsito vehicular se ve seriamente limitado en aquellos potreros que presentan mal drenaje.

## Medidas de mitigación

Aunque la solución definitiva para un potrero

húmedo es el drenaje, hay algunas medidas que ayudan a atenuar los problemas, recomendándose lo siguiente:

*Pastorear con animales pequeños, por ejemplo terneros.

*Pastorear con bajas cargas y por períodos cortos (Ej.: algunas horas durante el día). Cuando los animales recién entran al potrero, el mismo pasto mas largo ayuda a proteger el suelo, sin embargo, en la medida que se termina el forraje el suelo queda más expuesto, aumentando los daños. Esto se ve incrementado si los animales sienten la necesidad de buscar un bebedero, o un reparo. Antes que eso ocurra, los animales deben ser retirados del potrero.

*Aumentar la densidad de la pradera con especies de crecimiento postrado y estimular el macollaje a través de pastoreos intensos durante los períodos en que el suelo está firme.

# OTRAS CONSECUENCIAS

## Mecanización

Uno de los grandes problemas de los suelos con mal drenaje lo constituye la dificultad para la realización de las labores mecanizadas dentro de un predio.

Sus efectos se pueden traducir en:

* Dificultad para la preparación de los suelos

* Deficiente preparación de los suelos
* Dificultad para realizar labores culturales
* Dificultad para la cosecha
* No se puede programar bien la siembra
* Pérdida de tiempo en las labores
* Daños a la maquinaria

## Problemas Sanitarios

La acumulación de agua en la superficie del suelo puede crear problemas sanitarios de diversa índole:

*Fitosanitarios, como enfermedades fungosas, plagas y malezas.
*Sanidad animal, por podopatologías, hongos y parásitos intestinales.
*Sanidad humana, por afecciones broncopulmonares y ataque de mosquitos.

## Daño a infraestructura

Las construcciones rurales son muy afectadas por problemas graves de drenaje superficial. Inundaciones prolongadas pueden afectar casas, edificios, galpones, obras de riego, caminos, etc.

Como resumen, en las Figuras 4 y 5 se ilustran esquemáticamente los efectos del mal drenaje en el interior y sobre la superficie del suelo, respectivamente.

Figura 4. Efectos del mal drenaje en el interior del suelo.

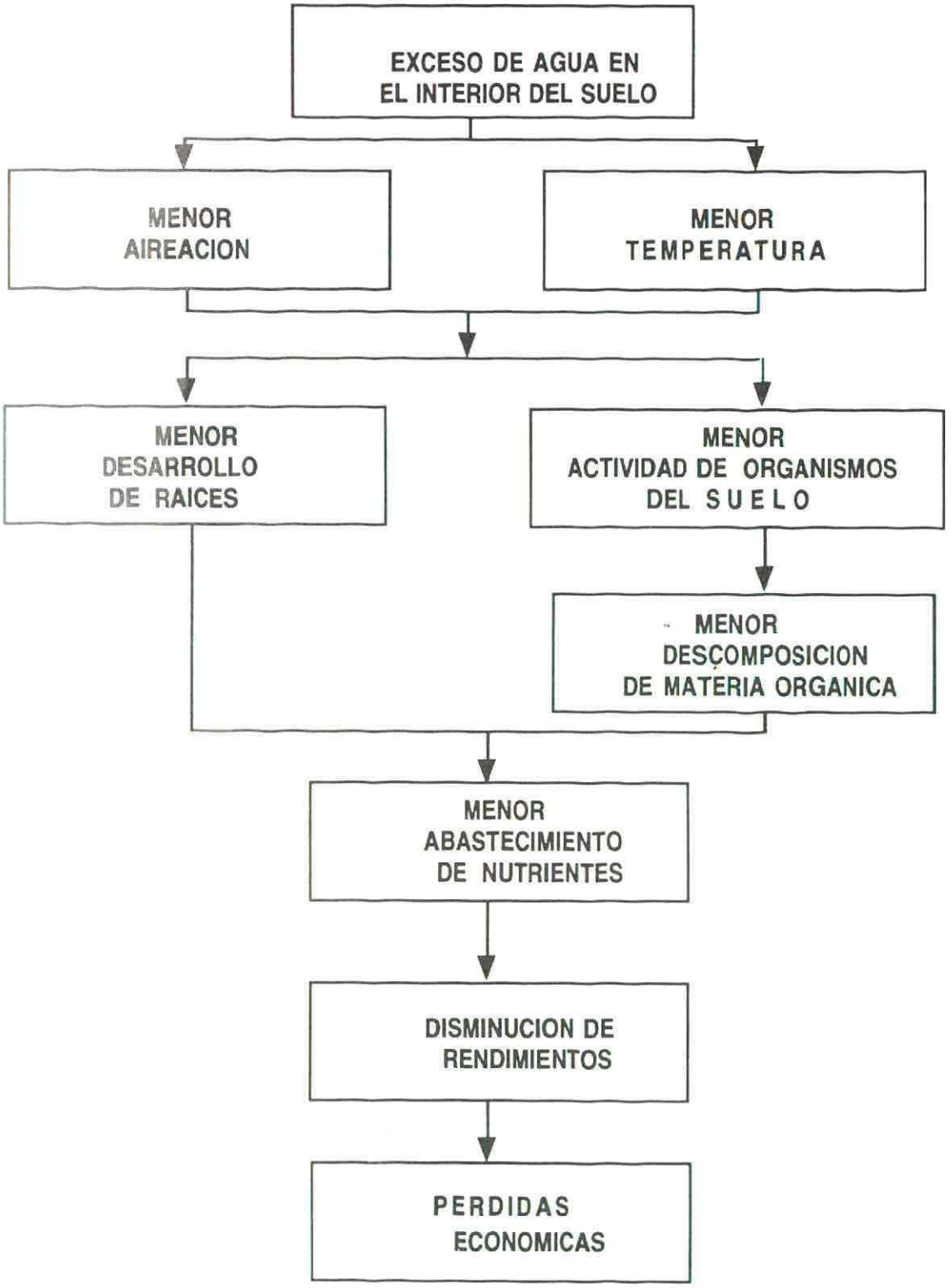
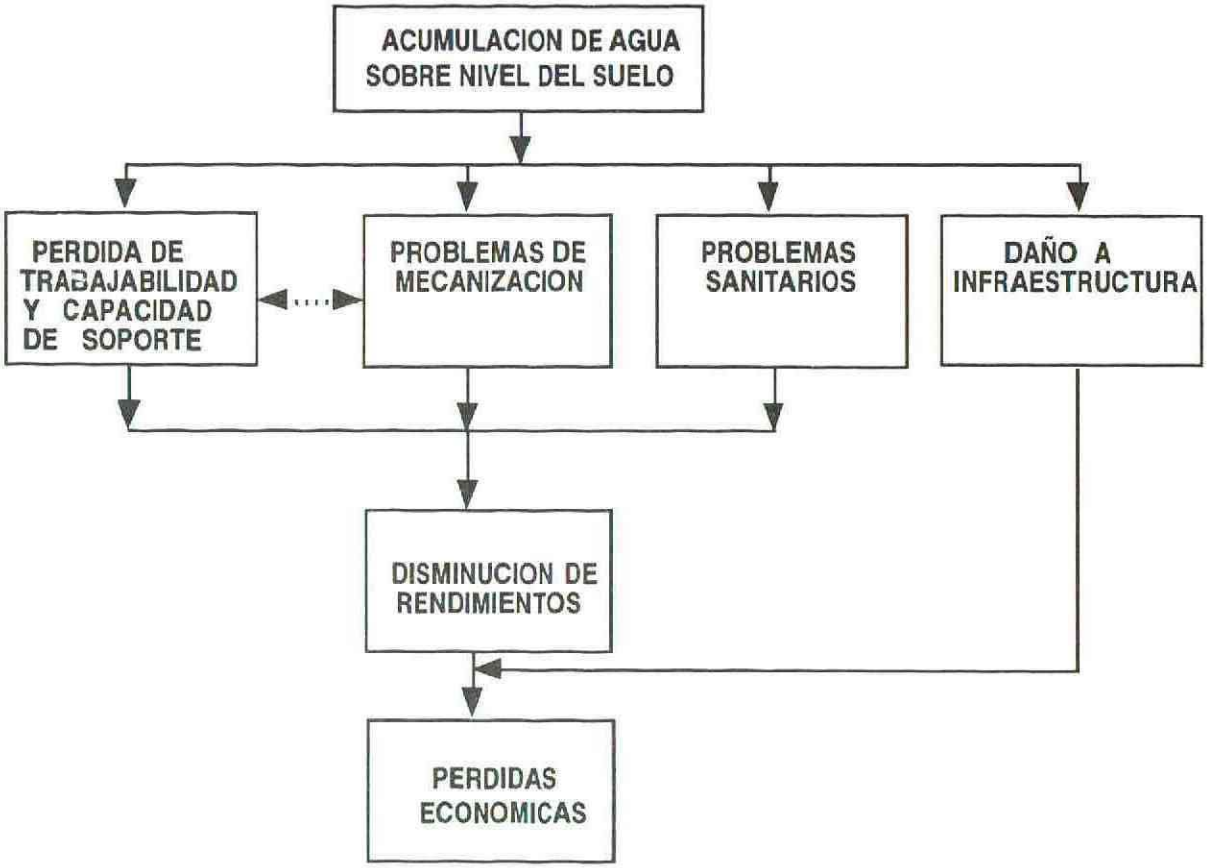


Figura 5. Efecto de la acumulación superficial de agua en el suelo.



# BIBLIOGRAFIA


BARBER, S. 1979.
Soil Nutrient Bioavailability. A Mechanistic Approach. Willey and Sons(Ed). p: 329.

BENAVIDES, C. Y CASANOVA, M. 1989.
Dinámica de Nutrientes y su Disponibilidad en los Suelos de Drenaje Restringido.
En :Los Suelos de Drenaje Restringido. Alcayaga et al (ed). Boletín Nº 9 de la Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo. p: 123-160.

ELLIES, A. Y MAC DONALD, R. 1989.
Las Propiedades Físico- Mecánicas en los Suelos que Afectan su Drenaje. En: Los Suelos de Drenaje Restringido. Alcayaga et al (ed.). Boletín Nº 9 de la Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo. p: 47-64.

GREZ, R. 1989.
Procesos Físico- Químicos en Suelos de Drenaje Restringido. En: Los Suelos de Drenaje Restringido. Alcayaga et al (ed.). Boletín Nº 9 de la Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo. pp: 65-122.

MACKAY, A. ; SPRINGETT, J.; SYERS, J. And GREGG, P.1983.
Origen of the Effect of Earthworms on the Availability of Phosphorus in a Phosphate Rock. Soil Biol. Biochem. 15 (1) : 63-73.

ORTEGA C.,LEOPOLDO. 1993.
Técnicas de drenaje para el Sur de Chile. En: Estación Experimental Carillanca (INIA). Curso Internacional de Riego y Drenaje.Serie Carillanca Nº 34. Temuco, Chile. p: 173-206.

PIZARRO.FERNANDO.1978.
Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Editora Agrícola Española S.A. Madrid, España. p: 521.

PONNAMPERUMA, F. 1984.
Effects on flooding on soils. In: Flooding and Plant Growth. Physiological Ecology. Academic Press, Inc.N.Y. pp: 9-45.

ROJAS, C. Y ALVARADO, R. 1972.
Fertilización Nitrogenada y Fosfatada en Arroz en la Región Centro Sur de Chile. Efecto Sobre los Rendimientos en Grano. Agricultura Técnica (Chile) 42 : 15-21.

ROJAS, RAFAEL. 1984.
Drenaje Superficial en Tierras Agrícolas. Serie Riego y Drenaje. CIDIAT. Venezuela. p: 96.

SALGADO S., LUIS. 1991.
Drenaje en Frutales. Departamento de Ingeniería - Agrícola. Universidad de Concepción. Boletín de Extensión Nº 49. Chillán, Chile. p: 39.

SCHEFFER,F. Y SCHACHTSCHABEL,P.1982
Lerbuch der Bodenkunde,II Auflage. p:442. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

STEVENSON, F. 1982.
Organic Forms of Soil Nitrogen. In : Nitrogen in Agricultural Soils. Stevenson,F. (Ed.). Agronomy 22: 67-122.

WESSELING, J. 1974.
Crop Growth and Wet soils. In: I. Van Schilfgaarde (ed.). Drainage for Agriculture. American Society of Agronomy. Nº 17. Madison, Wisconssin, U.S.A. p: 7-32.