

**EFFECTO DE DOS SISTEMAS DE RIEGO PRESURIZADO, GOTEO Y  
MICROCHORRO, SOBRE EL LAVADO DE SALES, CRECIMIENTO  
VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO DEL PALTO (*Persea americana* Mill) cv.  
HASS, EN LA ZONA DE MALLARAUCO**

**MARIA JOSE RONCAGLIOLO ISLA**

**QUILLOTA CHILE**

**2001**

# ÍNDICE DE MATERIAS

## 1. INTRODUCCIÓN

## 2. REVISIÓN BIBLOGRÁFICA

- 2.1. Fisiología del palto (*Persea americana* Mill.)
  - 2.1.1. Sistema radicular
  - 2.1.2. Sistema vegetativo
  - 2.1.3. Sistema reproductivo
- 2.2. Susceptibilidad del palto a condiciones salinas
  - 2.2.1. Efectos fisiológicos y productivos de la toxicidad por sales en paltos
  - 2.2.2. Mecanismo de tolerancia a la salinidad en paltos
    - 2.2.2.1. Valoración de la tolerancia a la salinidad en términos productivos
  - 2.2.3. Calidad del agua para el cultivo del palto
- 2.3. Salinidad
  - 2.3.1. Origen de las sales y salinización de los suelos
  - 2.3.2. Aspectos químicos de la acumulación de sales
    - 2.3.2.1. Conceptos básicos sobre la salinidad de los suelos
    - 2.3.2.2. Evaluación de la salinidad en el suelo
      - 2,3.2.2.1. Utilización de sondas de succión
    - 2.3.2.3. Efecto, de la lluvias en la salinidad
  - 2.3.3. Caracterización de los suelos afectados por sales
  - 2.3.4. Efectos de la salinidad en los cultivos
    - 2.3.4.1. Efecto osmótico
    - 2.3.4.2. Efecto tóxico de algunos iones
    - 2.3.4.3. Efecto del sodio intercambiable en la permeabilidad del suelo
    - 23.4.4 Efectos nutricionales
  - 2.3.5. Calidad del agua de riego
    - 2.3.5.1. Conceptos de calidad de agua de riego
    - 2.3.5.2. Clasificación de las aguas de riego
- 2.4. Manejo y recuperación de suelos salinos y sódicos
  - 2.4.1. Sistemas de riego

### **3. MATERIALES Y MÉTODO**

- 3.1 Ubicación del ensayo
- 3.2 Definición del área del proyecto
  - 3.2.1. Parámetros agroclimáticos
  - 3.2.2. Recurso agua
  - 3.2.3. Recurso suelo
- 3.3. Material vegetal
- 3.4. Descripción del ensayo
  - 3.4.1. Tratamientos realizados
  - 3.4.2 Manejo del riego en el ensayo
- 3.5. Variables analizadas
  - 3.5.1. Salinidad del suelo
    - 3.5.1.1. Conductividad eléctrica
    - 3.5.1.2. Cloruro
    - 3.5.1.3. Sodio
    - 3.5.1.4. Sulfatos
  - 3.5.2. Crecimiento vegetativo
    - 3.5.2.1. Intensidad de daño por sales en hojas
    - 3.5.2.2. Contenido de sales en las hojas
    - 3.5.2.3. Incremento en el perímetro de tronco
    - 3.5.2.4. Tasa de crecimiento de ramillas
  - 3.5.3. Crecimiento reproductivo
    - 3.5.3.1 Retención de frutos
- 3.6. Análisis estadístico

### **4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

- 4.1. Efecto del sistema de riego sobre la CE de la solución del suelo
- 4.2. Efecto del sistema de riego sobre el contenido de cloruros de la solución del suelo
- 4.3. Efecto del sistema de riego sobre el contenido de sodio de la solución del suelo
- 4.4. Efecto del sistema de riego sobre el contenido de sulfatos de la solución del suelo
- 4.5. Evaluación del daño foliar causado por sales
- 4.6. Evaluación del contenido de cloruro y sodio foliar
- 4.7. Efecto del sistema de riego sobre el incremento en el perímetro de tronco
- 4.8. Efecto del sistema de riego sobre la retención de frutos
- 4.9. Efecto del sistema de riego sobre el crecimiento del brote de primavera

### **5. CONCLUSIONES**

### **6. RESUMEN**

### **7. LITERATURA CITADA**

## 1. INTRODUCCIÓN

En Chile, la producción de paltos (*Persea americana* Mill.) ha mostrado un fuerte desarrollo en los últimos años, impulsado por diferentes factores que hacen de este cultivo un negocio muy atractivo, debido a su alta rentabilidad, como consecuencia de los buenos retornos a nivel de productor tanto por exportaciones como por venta a mercado nacional, bajos costos de producción comparado a otros cultivos, facilidad de manejo y gestión de producción, además de la posibilidad del uso de suelos marginales.

A principios de la década del 1990, el área destinada al cultivo del palto abarcaba alrededor de 7.665 ha, lo que revela una expansión del orden de un 120 % en relación a las casi 17.000 ha plantadas al año 1997. En los próximos años, según estimaciones del Comité de Paltas de FEDEFRUTA, el área destinada a paltos se seguirá incrementando, proyectándose para el año 2005 un total de 24.550 ha, de las cuales cerca del 73 % correspondería al cultivar Hass, lo que implicará un ritmo de plantación anual del orden de un 4% (ORELLA, 1999).

Chile ocupó el tercer lugar en el mundo como productor de paltas, después de México y USA, con una producción de 106.731 toneladas para la temporada 1998/1999, de las cuales 81.731 toneladas correspondieron al cv Hass (ORELLA, 1999). Para la temporada 1999/2000, la producción nacional de paltas Hass fue de 40.506 toneladas, de las cuales un 62,7 % se destinó al mercado externo; es decir, sobre los 25 millones de kilos (COMITÉ DE PALTAS, 2000), cifra que durante la temporada 2000/2001 superó las 52 mil toneladas (COMITÉ DE PALTAS, 2001).

El factor más importante y determinante en la producción de paltos, tanto en calidad como en rendimientos, es el clima, y dentro de este, lo primero a considerar es la temperatura, destacándose la sensibilidad del cultivo a las temperaturas bajas como la

necesidad de rangos específicos de temperatura diurna y nocturna durante la floración, razón por la cual existe una alta concentración geográfica de las plantaciones, en que prácticamente el 60% de los huertos se ubican en la V Región, y un 24% en el Área Metropolitana (MAGDAHL, 1998). Sin embargo, en zonas como Mollerauco, que climáticamente se adapta a los requerimientos del cultivo, el factor de calidad de agua para el riego juega un papel detrimental, aportando al suelo una cantidad importante de sales que afectan la producción del palto, considerada una especie sensible a la salinidad tanto a nivel de suelo como del agua, siendo uno de los iones de mayor importancia los cloruros. Cuando se registra este tipo de problema, surge la necesidad de realizar lavados con agua; sin embargo, cuando el agua contiene un elevado contenido de sal, es necesario aplicar fracciones de agua mayor a la requerida por el cultivo en cada riego de manera de evitar acumulación de sales a nivel del sistema radicular.

Diversos estudios realizados en distintos frutales y hortalizas han demostrado que el sistema de riego por goteo es aquel sistema en que se tienen mejores resultados en el lavado de sales. Por otro lado, el sistema radicular de palto es superficial, encontrándose el 50 % de sus raíces dentro de los primeros 30 cm, por lo que el sistema más adecuado para el riego es aquel que moje superficialmente al menos el 70 % de la superficie proyectada por la canopia, es así como tradicionalmente se ha usado la microaspersión para entregar el aporte hídrico, no obstante, bajo condiciones de salinidad como ocurre en la zona de Mollerauco, sería necesario en forma prioritaria contar con un sistema eficiente en el lavado de sales de manera que el árbol se desarrolle y produzca en forma óptima.

Considerando estos antecedentes, el objetivo general de este ensayo es evaluar el efecto de dos sistemas de riego presurizado, microchorro y doble línea de goteros, sobre el lavado de sales en profundidad y sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo del cultivo del palto cv Hass.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Fisiología del palto (*Persea americana* Mill.):

#### 2.1.1. Sistema radicular

La absorción de agua y minerales, a menudo, se supone que ocurre exclusivamente por la parte más joven del sistema radicular; es decir, ápices y pelos radiculares. Sin embargo, SILVA y RODRÍGUEZ (1995) comentan que la absorción por las raíces blancas y leñosas es similar considerando la superficie, pero más alta tomando en cuenta el volumen en raíces blancas.

El sistema radicular del palto está en estrecho balance con el crecimiento vegetativo del árbol. Durante el invierno, cuando la temperatura del suelo cae por debajo de los 18°C, el crecimiento de las raíces se reduce. Por otra parte, luego de cada brotación sigue un período de aumento en el crecimiento radicular llegándose a determinar que existen dos épocas de alta actividad de crecimiento (WHDDLEY, CHAPMAN y SARANAH, 1988).

La naturaleza del terreno juega el papel de determinar el crecimiento de las raíces, las cuales, a igualdad de otros factores, son más abundantes, más extendidas y más profundas en suelos arenosos y sueltos que en suelos con abundancia de partículas finas. En estudios realizados por SALAZAR y CORTEZ (1986), en distintas texturas de suelo, se encontró una mejor distribución de raíces de palto tanto horizontalmente como verticalmente en suelos de texturas arenosas comparado con suelos de textura arcillosa. En ambos suelos, se encontró, además, que la mayoría de las raíces finas estaban localizadas entre los 0 y 60 cm de profundidad. Según GARDIAZÁBAL (1998a), en suelos de textura media a pesada, aproximadamente el 50% de las raíces

están en los primeros 30 cm del suelo, un 30 a un 40 % entre los 30 y 60 cm del suelo, y más abajo sólo de 10 a un 20 %.

UGARTE (1996), en un estudio realizado con respecto a la densidad de raíces absorbentes en un suelo franco arcilloso, bajo diferentes sistemas de riego, microaspersión y goteo, concluye que entre los 25-75 cm de profundidad y entre 130-150 cm laterales desde el tronco se encuentra la mayor densidad de raíces. Además, encontró crecimiento de raíces bajo los 75 cm de profundidad, tanto en riego por goteo como por microaspersión. Generalmente, este último tipo de raíces se trata de raíces de soporte (GARDIAZÁBAL, 1998 a).

Según WHILEY (1990b) y GREGORIOU (1980), el sistema radicular del palto es relativamente ineficiente en la absorción de agua, ya que presenta una estructura radicular superficial, extensamente suberizada, con una baja frecuencia de pelos radicales, generalmente ubicado entre los 15-30 cm de profundidad, caracterizándose su crecimiento por ramificaciones que van tomando posiciones laterales. Según GREGORIOU (1980), este sistema de ramificaciones desarrolla gran abundancia de raicillas, siendo estas de color blanco cuando se encuentran en actividad.

SHALHEVET *et al.* (1981) citado por BOZZOLO (1993), establecieron que en suelos de texturas finas, los paltos absorben el 99% del agua dentro de los primeros 60 cm, debido a esta mayor absorción superficial producto de la mayor distribución superficial de las raíces absorbentes, incluso por debajo de la cubierta de hojas. KURTZ, GUEL y KLEIN (1991), citados por CARDEMIL (1999), proponen que el sistema de riego usado debiera cubrir entre el 50 y 70 % de la superficie de proyección de la canopia, situación que caracteriza a un sistema de microaspersión (OLALLA *et al.*, 1992). Sin embargo, estos últimos autores plantean que en paltos, pareciera no existir diferencias productivas utilizando un riego que tenga un área de mojamiento por sobre el 20 %.

HERNÁNDEZ (1991) indica que existiendo un sistema de riego tecnificado el mayor número de raíces se localiza en la zona de mayor disponibilidad de agua, encontrando el 80% de la población de raíces distribuidas dentro de los 30 primeros centímetros de profundidad, con un sistema de riego por microaspersión en un suelo de textura franco arcillosa. VILLABLANCA (1994) agrega que un sistema de riego por goteo favorecería la concentración de las raíces dentro del bulbo de mojado, estimulando el crecimiento radical tanto en superficie como en profundidad y desde el tronco hasta la entre hilera, ya que permite una buena aireación, a diferencia del microaspersor que solo lo incrementa en superficie.

TORO (1995) señala que bajo riego por goteo se desarrollan una mayor cantidad de raíces que en igual condición en microaspersión, lo cual aumentaría la absorción de agua y nutrientes.

El palto es marcadamente sensible a los efectos de la humedad del suelo, debido a su sistema radicular superficial, es así como un estrés determinado por altos contenidos de humedad a los 30 ó 60 cm de profundidad provoca eventuales problemas en el metabolismo radical limitando su crecimiento y el transporte activo de elementos minerales, de tal manera que existiría una menor producción de citoquininas y por ende, un menor transporte hacia la parte aérea, ocurriendo un desbalance con los niveles de ácido abscísico que promovería el cierre estomatal y con ello el movimiento de agua a través del árbol (DEVLÍN, 1980).

### 2.1.2. Sistema vegetativo

Los árboles son de tamaño variable existiendo cultivares de tamaño grande, mediano, angostas y altas. Los árboles mantienen en su vida un gran crecimiento vegetativo (GARDIAZÁBAL y ROSEMBERG, 1991).

Análisis con microscopía electrónica de hojas de palto realizadas por SCHOLEFIELD, SEDGLEY y ALEXANDER (1985), revelaron características morfológicas y anatómicas para la conservación del agua. Las hojas maduras tienen una capa de cera epicuticular sobre la superficie adaxial que le permiten disminuir la transpiración. Los estomas están localizados sólo en la superficie abaxial, los cuales también están cubiertos con depósitos de cera.

Dos períodos claros de crecimiento vegetativo existen entre floración y maduración de fruto. Tanto en la brotación de primavera como en la de verano-otoño la yema que cubre el ápice de la rama se abre y se alarga, formando primero hojas que parecen brácteas y después hojas normales (CALÁBRESE, 1992).

El crecimiento de primavera en árboles de palto viene predominantemente de yemas vegetativas terminales de panículas indeterminadas; es decir, panículas florales que continúan su crecimiento con un brote vegetativo terminal, contrario a lo que ocurre en las llamadas panículas o brotes ciegos en que se producen solo flores y no existe un crecimiento foliar posterior (GARDIAZÁBAL, 2000).\*

Las hojas que van en la base del crecimiento de primavera, es decir, hojas del crecimiento de verano-otoño anterior, son hojas que van a caer aproximadamente en el mes de enero, y, por lo tanto, hasta esa época esas hojas están aportando fotosintatos a la planta y las hojas nuevas del crecimiento de primavera se mantienen dentro de los primeros 42 días parásitas, incapaces de exportar fotosintatos (GARDIAZÁBAL, 2000)\*.

---

\* GARDIAZÁBAL. F. Ing. Agr. 2000. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

### 2.1.3. Sistema reproductivo

Los paltos florecen al finalizar el invierno o a principios de primavera, en su mayoría a partir de la yema ubicada al final del último brote vegetativo. El palto produce dos tipos de inflorescencia: determinada, en que el meristemo del eje primario forma una flor terminal, e indeterminada, en las que se forma una yema en el ápice del eje primario y que continúa el crecimiento del brote. Con pocas excepciones, el tipo de inflorescencia indeterminada es la que se produce en mayor abundancia. En cada brote, las inflorescencias son producidas por las yemas apicales y axilares. Las inflorescencias indeterminadas, en su mayoría, son producidas por las yemas apicales y las determinadas por las yemas axilares (SALAZAR-GARCÍA, 2000).

Las flores del palto presentan un ciclo dual de comportamiento, conocido como sincronía dicogámica protoginea. Cuando una flor abre por primera vez, el estigma está receptivo y las anteras todavía no presentan dehiscencia (liberación de polen). Por lo tanto, la flor es funcionalmente femenina. Después de permanecer abierta por varias horas; la flor cierra, pero reabre al día siguiente; esta vez, el estigma está seco y no receptivo y es cuando las anteras están maduras y liberan el polen. La flor ahora es funcionalmente masculina. Además de lo anterior, el palto posee dos tipos sexuales. Todas las flores de árboles Tipo A presentan su estado femenino una mañana y reabren como masculinas la tarde del día siguiente. Por otra parte, las flores de árboles de Tipo B abren primero como femeninas en la tarde y reabren como masculinas a la mañana siguiente (SALAZAR-GARCÍA, 2000). Los cultivares Gwen, Hass y Pinkerton son ejemplos del Tipo A; por otra parte, Bacon, Fuerte y Zutano son ejemplos del Tipo B.

Los cultivares de palto producen miles de inflorescencias, cada una con más de 100 flores, de tal manera que el número total de flores por árbol puede estar en los millones (SEDGLEY y ALEXANDER, 1983). Sin embargo, tan solo uno o dos

frutos por cada inflorescencia podrían alcanzar la madurez. Se estima que la cuaja del palto es del 0,02 % al 0,1 % (BERGH, 1967).

La cuaja inicial de fruto en el palto es relativamente alta, pero la abscisión de frutos al inicio y durante su desarrollo es un aspecto importante a considerar, es así como GARDIAZÁBAL (2000)\*, define dos caídas importantes de fruta, la primera de ellas y más importante en cuanto al número de frutos, es aquella que se produce al término de la floración, debido a una competencia con el crecimiento vegetativo, el cual se desarrolla en el momento en que las flores de las inflorescencias indeterminadas están cuajando o producto a caídas de flores que fueron polinizadas, pero no fecundadas; esta caída puede prolongarse hasta el mes de enero. La segunda caída (aproximadamente en marzo - abril) corresponde a fruta que es incapaz de sostenerse muchas veces por falta de agua y por competencia de fotosintatos.

El éxito de la formación de frutos durante los primeros 60 días posteriores a la floración, depende de la disponibilidad de los fotosintatos almacenados, de la fotosíntesis del momento (brotes de hojas maduras en verano) y del tiempo de transición de *sink* a fuente de los brotes durante la primavera, que es necesaria para el desarrollo secundario de los frutos (VILLABLANCA, 1994)

## 2.2. Susceptibilidad del palto a condiciones salinas:

El palto es una de las especies más sensibles a la salinidad (BENAVIDES, 1996; AYERS y WESTCOT, 1987; BINGHAM, FENN y OERTLI, 1968). Su sistema de adaptación a la salinidad consiste básicamente en el mecanismo de adsorción de sales, lo cual en un principio facilitaría el ajuste osmótico de la planta, pero dado que los

---

\* GARDIAZÁBAL, F. Ing. Agr. 2000. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

mecanismos de compartimentalización (formación de vacuolas) en estas especies están mal desarrollados, se originan problemas de toxicidad por iones y desequilibrios nutricionales (LÁUCHI y EPSTEIN, 1984).

La salinidad es un factor muy importante de considerar, ya que se ha demostrado que suelos con una conductividad eléctrica mayor a los 2 mmhos/cm podrían provocar dentro de un 10 % de pérdida en la cosecha (GARDIAZÁBAL, 1998a; AYERS y WESTCOT, 1987).

Uno de los principales iones que causa problemas en los paltos es el cloruro, y se ha visto que dependiendo de la raza del palto existe distinta sensibilidad. La raza mexicana tolera hasta 140 ppm (4 meq/l) de cloruro en el extracto de saturación del suelo (ALARCÓN, 1999); sin embargo, GARDIAZÁBAL (1998a); AYERS y WESTCOT (1987) plantean como límite 177 ppm (5 meq/l) y GALÁN (1990) señala como límite un valor de 213 ppm (6 meq/l). La raza guatemalteca tolera, según AYERS y WESTCOT (1987), concentraciones cercanas a las 213 ppm (6 meq/l) de cloruro y de acuerdo a lo planteado por GALÁN (1990), concentraciones de 370 ppm (10,5 meq/l) de cloruros en la pasta saturada de suelo. Con respecto a la tolerancia de la raza antillana, GARDIAZÁBAL (1998a) y AYERS y WESTCOT (1987) señalan una concentración de 283 ppm (8 meq/l) de cloruros en el extracto de saturación del suelo como nivel de tolerancia.

Se ha demostrado que las plantas de paltos expuestas a medios salinizados, exhiben una rápida absorción de cloruro, el cual se acumula en raíces, tallos y hojas; sin embargo, se ha visto que al aumentar las concentraciones de cloruros del sustrato, las concentraciones a nivel de raíces se mantienen prácticamente constantes, a diferencia de lo que sucede en tallos y por sobre todo en hojas maduras (más que en tejidos nuevos) las que incrementan su contenido en función de la concentración de cloruro del sustrato y del tiempo (BENAVIDES, 1996; DOWNTON, 1978 y ALLISON,

BROWN y HAYWARD, 1954). Se ha demostrado que bastan de 2-3 meses con altas concentraciones de cloruros para que las concentraciones foliares de cloruros alcancen una concentración suficientes para inducir síntomas visuales definidos como necrosis tanto en el ápice como en los bordes de la hoja (BENAVIDES, 1996). KADMAN (1964) agrega que existe una alta correlación entre en contenido de cloruro en las hojas y el daño foliar (quemadura); además, a través de análisis foliares demuestra que el contenido de cloruro en las hojas es significativamente mayor en el otoño de cada año, razón por la cual la aparición e intensidad de daños foliares es mayor en la época otoñal, cuando la planta se encuentra en menor actividad.

La cinética de acumulación foliar de cloruro presenta un ritmo característico. Al respecto, BINGHAM, FENN y OERTLI (1968), observó que la tasa de acumulación en las hojas, inicialmente rápida, aumenta con incrementos decrecientes hasta que la concentración foliar alcanza un valor característico (*plateau*), que es proporcional a la concentración de cloruro en el sustrato; si eventualmente aumenta la concentración de cloruro en el sustrato, se inicia un nuevo período de acumulación con un valor de *plateau* mayor que el anterior. Al respecto, WALKER y DOUGLAS (1983) relacionan de forma más o menos lineal la acumulación de cloruro en las hojas con la concentración externa de sal.

JONES y EMBLETON (1978) citado por MENDOZA (2000), señalan como nivel foliar crítico de cloruro para el palto un 0,25% con respecto al peso seco de la hoja. Estudios realizados por AYERS, ALDRICH y COONY (1951) muestran que los síntomas de quemaduras en hojas de paltos se presentan cuando la concentración de cloruros es de 0,5 a 0,9 % del peso seco, al respecto CALABRESE (1992) indica que el resecaimiento apical comienza ya a manifestarse con concentraciones de 0,4 % de cloruro referidas al total de materia seca.

El palto es considerado como un cultivo sensible al Sodio, tolerando concentraciones bajo los 3,5 meq/l en el suelo y valores de porcentaje de Sodio intercambiable (P.S.I.) menores a 15 (AYERS y WESTCOT, 1987).

El Sodio, a diferencia del ion cloruro, no se mueve rápidamente desde las raíces hacia las hojas, sino que es acumulado en las raíces donde alcanza valores críticos antes de entrar al cultivar injertado (CALABRESE, 1992 y KADMAN, 1964). Dada esta situación, ALLISON, BROWN y HAYWARD (1954) consideran que el exceso de Sodio en el suelo puede no reflejarse en el contenido de Sodio de los tejidos foliares.

Utilizando plantas de palto de razas mexicanas, guatemaltecas y antillana sometidas a riego con agua salina (330 ppm de  $\text{Na}^+$ ), KADMAN (1964) observó un gradiente decreciente de concentraciones de  $\text{Na}^+$  desde las raíces, brotes y hojas, existiendo una relación del contenido de  $\text{Na}^+$  en raíces/hojas de 3-4:1 para la mayoría de los cultivares estudiados, a excepción de Northrop, raza mexicana, en que la relación raíces/hojas es de 1:2, con lo que sugiere la existencia de algún tipo de barrera a nivel de raíces, la que es alterada cuando las raíces están dañadas permitiendo el movimiento de Sodio desde las raíces a los brotes, como sucede con plantas de raza mexicana (Northrop).

La entrada de Sodio a un cultivar de palto injertado sobre patrón de raza mexicana o mexicana x guatemalteca está asociada con el incremento en la succulencia (incremento peso fresco/peso seco) de los tejidos de los brotes y hojas; según DAWNTON (1978), posiblemente, esta es una respuesta adaptativa que permite la dilución de los iones acumulados.

Las lesiones causadas por exceso de Sodio pueden ser enmascaradas por los daños simultáneos debidos a cloruro, sin embargo, AYERS, ALDRICH y COONY (1951) en un estudio realizado con soluciones nutritivas observaron quemaduras de las hojas

atribuidas al Sodio cuando éstas contenían 0,5 % de Sodio por peso seco, valor que coincide con lo planteado por CALABRESE (1992).

MASS (1984) definen al palto como un cultivo sensible al Boro, considerando valores dentro del rango 0,5 - 0,75 ppm como concentraciones máximas en el extracto de saturación para no tener pérdidas de rendimientos o reducción en el crecimiento.

En relación al contenido de Potasio y Nitrógeno en las hojas, ensayos realizados por DOWNTON (1978), muestran que a niveles altos de salinidad, variedades de palto injertadas sobre patrón de raza mexicana o mexicana x guatemalteco incrementan el contenido de ambos minerales con respecto al peso seco de la hoja, sin embargo, si se expresa en relación al contenido de agua de la célula, las concentraciones permanecen constantes a medida que aumenta la salinidad. Es probable que hojas estresadas por sales acumulen mayores cantidades de Potasio y Nitrógeno de manera de compensar la dilución por efecto de la mayor succulencia de los tejidos.

#### 2.2.1. Efectos fisiológicos y productivos de la toxicidad por sales en paltos

En condiciones de estrés por cloruros, la primera consecuencia de los daños foliares es la pérdida de capacidad fotosintética, por necrosamiento y caída prematura de hojas maduras junto con una disminución del calibre de la fruta. Si los daños son severos, se puede ver una reducción de la capacidad de producción de fruta (BENAVIDES, 1996). MOYA *et al.* (2000) señalan que esta pérdida de capacidad fotosintética está dada por una menor fotosíntesis neta y un menor contenido de clorofila.

Ensayos efectuados por BAR, APELBAUM y GOREN (1998) en cítricos, utilizando un inhibidor de la actividad del etileno, Tiosulfato de plata (STS), muestran que el

STS evita la abscisión de hojas inducidas por los cloruros, no afectando, sin embargo, en la necrosis de las hojas, de esta manera sugieren que el etileno es el responsable de la abscisión de hojas y los síntomas de quemadura de hojas son atribuidos en parte a los cloruros y/o a la acumulación de putrescina.

COOPER (1951) en un estudio realizado con plantas de palto en vivero, indica que los primeros síntomas detectados en plántulas sometidas a un exceso de sal, es una necrosis típica en las hojas con una distribución simétrica, que puede proceder después de una ligera clorosis intervenal (SAAVEDRA y ALCALDE, 1987), la cual es atribuida principalmente a los cloruros. Al analizar hojas de árboles de palto en condiciones de campo, AYERS, ALDRICH y COONY (1951) atribuyen la necrosis también a un efecto del  $\text{Na}^+$  y al igual que SAAVEDRA y ALCALDE (1987); BINGHAM, FENN y OERTLI (1968); BINGHAM y FENN (1966), caracterizan la necrosis causada por  $\text{Cl}^-$  como una necrosis que se inicia en el ápice avanza hacia los márgenes y cubre paulatinamente la zona intervenal. Estos últimos autores agregan que cuando el daño se agudiza, se observan manchas necróticas entre las nervaduras que no presentan un patrón simétrico y en situaciones en que la concentración salina en el sustrato es muy alta, las hojas jóvenes manifiestan clorosis antes que se observe necrosis.

SAAVEDRA y ALCALDE (1987) estudiaron la influencia de la salinidad y sintomatología foliar en árboles de palto cv Hass sobre patrón de raza mexicana aplicando distintas concentraciones de  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{NaCl}_2$ , encontrando daños evidentes en hojas solo por cloruros. Estos mismos autores señalan que la presencia de hojas nuevas e incremento en la longitud del tallo se relaciona con la abscisión de hojas adultas necrosadas por efecto de una expulsión masiva de sales, situación también observada por BAR *et al.* (1997) en un ensayo con dos portainjertos de palto, uno tolerante a la salinidad y otro sensible a la salinidad, en donde la

abscisión foliar del portainjerto tolerante es acompañado con una alta velocidad de crecimiento de un nuevo crecimiento vegetativo. SAAVEDRA y ALCALDE (1987) agregan, además, que la abscisión ocurre más rápido en aquellas plantas que recibieron  $MgCl_2$ , debido a que el  $Mg^{2+}$  y  $Cl^-$  pueden inducir la producción de etileno que acelera el proceso de abscisión y consideran la disminución del ángulo que forman las hojas con relación al tallo como una forma de adaptación morfológica ante un "stress salino", permitiéndole a la planta reducir notablemente su metabolismo, debido a la baja cantidad de tejido foliar que recibe radiación.

BAR *et al.* (1996) concluyen que los síntomas causados por altos contenidos de  $Cl^-$  en árboles de cítricos (Cleopatra y Troyer) están asociados con altos niveles de putrescina y bajos de espermina en las hojas. Cuando la diferencia entre los niveles de las poliaminas crece, los efectos detrimentales del  $Cl^-$  aumentan, atribuyéndole a la putrescina un posible rol en la aparición de síntomas tóxicos en plantas sometidas a riego con aguas de alto contenido de cloruro; por otro lado, también se le atribuye un rol de protección de la espermina. BAR, APELEAUM y COREN (1998) agregan que el incremento de cloruro en la solución del suelo, incrementa el contenido de ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), incrementándose la velocidad de síntesis de etileno, el daño en hojas y, disminuyendo el crecimiento; además, BAR *et al.* (1996) sugieren una posible estimulación de la síntesis de etileno por cloruros provocada por bloqueo de la síntesis de espermina y por la acumulación de putrescina en las hojas de plantas estresadas.

En un experimento realizado en palto cv Hass utilizando cuatro niveles de salinidad en el agua de riego, se comprobó que a medida que aumenta la salinidad, el incremento en el área transversal de tronco disminuye (MICKELBART y LU ARPAIA, 1995; OSTER y ARPAIA, 1992). Igual situación fue observada por DAWNTON (1978) en el diámetro de brotes de paltos cv Fuerte injertados sobre

patrón de raza mexicana tratados con niveles crecientes de *NaCl*. El crecimiento vegetativo decrece cuando se incrementa el contenido de cloruro en las hojas y tallo; sin embargo, no existe esta correlación entre el contenido de Sodio del tallo y el crecimiento (OSTER *et al.* 1985).

En un ensayo realizado en vid variedad Moscatel Rosada sobre dos portainjertos, Harmony y Freedom, muestran que a medida que se incrementa la concentración salina en el agua de riego, ocurre una disminución en la longitud del tallo de la variedad injertada (MUÑOZ y CHAPARRO, 1997) que podría ser explicada a través del efecto tóxico de los iones que se acumularían en las células del tallo (GREENWAY y MUNNS, 1980).

La floración del palto se ve afectada por la concentración de sales en la solución del suelo como también por el portainjerto, es así como DOWNTON (1978) señala que la floración del cultivar Fuerte injertado sobre patrón de raza mexicana se incrementa con la salinidad hasta valores de 10 mM de NaCl; sin embargo, se ve fuertemente inhibida con concentraciones de 20 mM. Agrega; además, que existe una progresiva estimulación de la floración del cultivar Fuerte sobre patrón Zutano a medida que se incrementa la concentración de NaCl al igual que Fuerte sobre patrón guatemalteco, sin embargo, el número de flores que se obtienen en esta combinación cultivar/patrón es similar a niveles de 10 mM de NaCl y 20 mM de NaCl aumentando con niveles mayores de salinidad.

Estudios experimentales realizados por BINGHAM, FENN y OERTLI (1968) con relación a la producción de Hass bajo condiciones de altas concentraciones de cloruros del sustrato, análisis foliar y nivel de síntomas foliar se muestran en el Cuadro 1.

**CUADRO 1. Toxicidad por cloruros y producción en cv. Hass.**

<b>Concentración sustratos (meq Cl/l)</b>	<b>Concentración foliar %Cl</b>	<b>Daño foliar</b>	<b>Producción paltas Kg/árbol</b>
0	0.01	Ninguno	30
5	0.20	Ninguno	13
10	0.48	Ligero	16
15	0.80	Definido	14
20	1.51	Severo	7

El primer órgano que se afecta por el exceso de sales es la raíz, alterándose la absorción de nutrientes y el crecimiento radicular; la reducción en el crecimiento de las raíces bajo condiciones de salinidad ha sido descrito por KALAJI y PEETKIEWICZ (1993), lo que se contrapone con lo observado por MUÑOZ y CHAPARRO (1997) en plantas de vid, donde el crecimiento radicular no se ve afectado, lo que indicaría una respuesta de tolerancia que podría estar relacionada con una capacidad de incluir iones que serían traspasados a la parte aérea en forma controlada.

El estudio de la ultraestructura de células centrales de cofias en plantas de vid bajo condiciones de riego con aguas salinas, muestra una disminución en tamaño de estas y aumento en el número de vacuolas en comparación con plantas bajo condiciones normales, además de un mayor número de mitocondrias (MUÑOZ y CHAPARRO, 1997).

## 2.2.2. Mecanismo de tolerancia a la salinidad en paltos

CALIANDRO, CANTORE y MUSACCHI (2000) divide a las plantas superiores en dos grupos en relación al mecanismo de adaptación a la salinidad, plantas que impiden el ingreso de los iones presentes en la solución del suelo al interior de sus tejidos o sitios más activos (yemas y hojas en expansión) definidas como "excluyentes de iones" y plantas que acumulan los iones al interior de la misma planta o en órganos especiales llamadas "incluyentes de iones".

Las plantas para enfrentar la salinidad presentan principalmente dos mecanismos, el primero de ellos es la producción de solutos compatibles de manera de disminuir internamente su potencial osmótico (osmorregulación) ya sea con sales minerales inorgánicas absorbidas desde la solución del suelo y compuestos orgánicos solubles producidos por la propia planta, pudiendo ser azúcares, alcoholes, compuestos de azufre ternario y compuestos de amonio cuaternario como la prolina y glicina (FLAGELLA, *et al.* 1999), lo que fue comprobado por BAÑULS y PRIMO-MILLO (1992) en cítricos, donde encontraron una alta correlación entre el potencial osmótico y la concentración de prolina en las hojas como consecuencia de concentraciones crecientes de NaCl en la solución del suelo.

Una importante característica del ajuste osmótico de las halófilas es el de acumular las sales dentro de las células de las hojas en vacuolas, manteniendo de esta manera una baja concentración salina en el citoplasma de modo de no interferir con la actividad de las enzimas y en el metabolismo, mientras que el ajuste osmótico dentro del citoplasma lo efectúan por medio de la producción de solutos compatibles con la actividad enzimática (LAÜCHI y EPSTEIN, 1984).

Muchas glicófitas responden a las bajas concentraciones salinas disminuyendo la velocidad del transporte de sodio y/o cloruro desde las raíces a los brotes,

generalmente gran parte de estas glicófitas no poseen un buen ajuste osmótico vía síntesis de solutos orgánicos, sufriendo una disminución del turgor celular. Las glicófitas sensibles a la salinidad, tiene un control inadecuado sobre la absorción de iones cuando están sometidas en un medio salino, generándose una alta concentración al interior de la célula, debido a que este tipo de plantas no tiene desarrollado un mecanismo de compartimentalización; el incremento del contenido de iones en el citoplasma podría provocar daños a nivel de enzimas y organelos, como también a nivel de membrana celular (LAÜCHI y EPSTEIN, 1984).

El segundo mecanismo es la regulación del transporte iónico, a nivel de los canales transportadores de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , y el transporte activo (es decir, con gasto de energía) de  $\text{Na}^+$  desde el citoplasma al medio externo en contra el gradiente electroquímico (FLAGELLA *et al.*, 1999).

Ensayos realizados por KADMAN (1963) en paltos, concluyen que el principal mecanismo de tolerancia es la disminución de la absorción y transporte de cloruro desde el sustrato hacia las hojas; sin embargo, agrega que existen algunas variedades como Gl 7 (raza mexicana) que tiene la capacidad de tolerar altas concentraciones de cloruros en las hojas sin manifestar síntomas de toxicidad, siendo este un segundo mecanismo de tolerancia de algunos cv de palto.

SAAVEDRA y ALCALDE (1987) comentan que los mecanismos usados por las plantas de palto, expulsión masiva de sales a través de la abscisión foliar, pueden deberse a que no cuentan con la información genética para resolver inmediatamente problemas de *stress* salino. Ambos autores observaron a nivel microscópico que plantas sujetas a tratamientos salinos no presentaban ningún grado de adaptación anatómica foliar, sino que mostraban efectos letales sobre algunas células, específicamente células del parénquima en empalizada.

### 2.2.2.1. Valoración de la tolerancia a la salinidad en términos productivos

MAAS y HOFFMAN (1977), a partir de datos reales, han encontrado que entre la salinidad del suelo y la producción de los cultivos existe una relación lineal, la cual puede ser expresada de la siguiente forma (PIZARRO, 1996 y FLAGELLA *et al*, 1999):

$$P = 100 - b (CE_e - a) \leq 100$$

donde:

P = producción del cultivo en % respecto al máximo

CE<sub>e</sub> = salinidad del suelo expresada como conductividad eléctrica del extracto de saturación y medida en mmhos/cm.

a = valor de CE que representa el nivel máximo de salinidad tolerado sin producirse pérdidas en la producción.

b = valor que representa la reducción en la producción por el incremento unitario en la salinidad.

Según MAAS y HOFFMAN (1977), los valores correspondientes al palto son:

		Valores de CE <sub>e</sub> (mmhos/cm) para una P(%) de:				
a	b	100	90	75	50	0
1.3	20.8	1.3	1.8	2.5	3.7	6.0

### 2.2.3. Calidad del agua para el cultivo del palto

El palto es una de las especies más susceptibles al exceso de sales presentes en el agua de riego. GARDIAZÁBAL (1998a) señala valores referenciales de los distintos elementos que pueden ser peligrosos en el agua de riego, indicando el valor máximo de tolerancia del cultivo al cual no se registran problemas: Conductividad eléctrica menor a 0.75 mmhos /cm, Cloruros menor a 2.8 meq/l (100 ppm) y contenido de boro menor a 0.2 meq/l.

### 2.3. Salinidad:

#### 2.3.1. Origen de las sales y salinización de los suelos

Los suelos salinos se encuentran principalmente en zonas de clima árido a semiárido. En estas zonas, debido a la baja precipitación, el lavado es de naturaleza local y las sales solubles no pueden ser transportadas muy lejos. Eso no ocurre solamente porque hay menos precipitación adecuada para lavar y transportar sales, sino también a consecuencia de la elevada evaporación característica de clima árido, que tiende a concentrar las sales en los suelos y en el agua superficial (CALIANDRO, CANTORE y MUSACCHI, 2000; RUIZ, 1984; ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954). A nivel mundial, cerca del 23 % de la superficie cultivada es considerada salina y un 37 % sódica (CALIANDRO, CANTORE y MUSACCHI, 2000). En Chile, la zona potencialmente sujeta a problemas de salinidad es aquella ubicada desde la VI Región al Norte. Hacia el Sur, las posibilidades disminuyen ostensiblemente, debido a la mayor precipitación, y al menor contenido de sales en las aguas de riego (RAZETO, 1999). En la Figura 1, se puede observar las áreas salinizadas a nivel mundial (PERNIOLA y TARANTINO, s.f.).

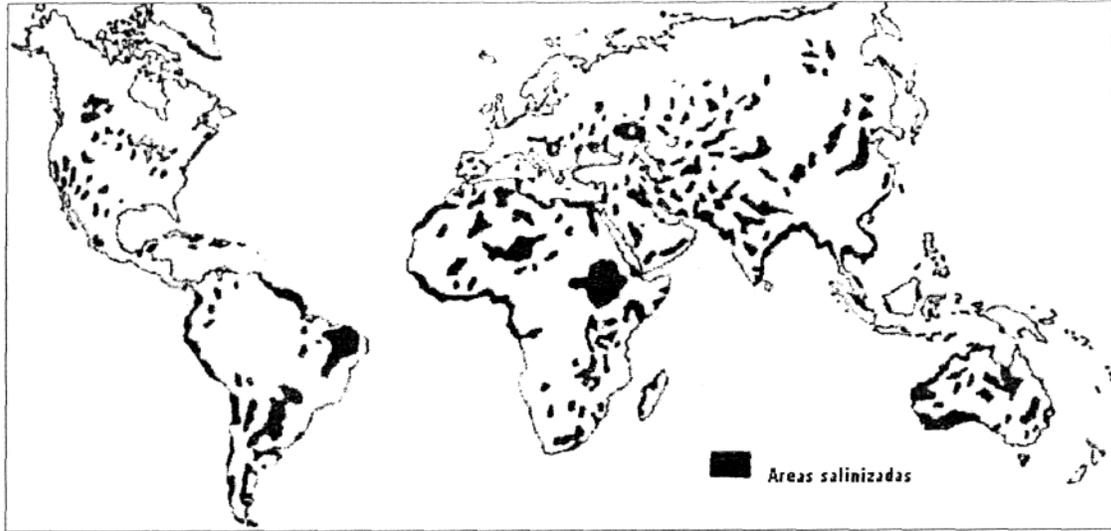


FIGURA 1. Áreas salinizadas a nivel mundial.

La salinidad es un problema que puede ser inherente al suelo mismo desde su formación, por la descomposición de las rocas o actividad volcánica, siendo la vía de salinización de un porcentaje muy bajo de los suelos salinos (RAZETO, 1999). La salinización "primaria", así llamada por PERNIOLA y TARANTINO (s.f), es un fenómeno natural que se manifiesta cuando las sales que se forman durante la podogénesis no son lixiviadas y donde las precipitaciones son escasas y/o elevadas pérdidas por evaporación y transpiración.

También se puede originar por agua salina suspendida en el viento en suelos vecinos al mar, por inundación directa de suelos con agua marina o por evaporación de lagos o depósitos de agua en el continente. Sin embargo, común es la salinización de los suelos a través de su utilización agrícola, especialmente cuando no se adoptan precauciones en tal sentido (RAZETO, 1999).

Las aguas de riego son consideradas el principal factor de acarreo de sales lo que junto con un drenaje restringido contribuyen a la salinización de los suelos, que puede llevar consigo la presencia de una capa freática poco profunda que, como consecuencia de la ascensión por capilaridad de las sales a los horizontes superiores, provocaría salinización definida como secundaria por los autores PERNIOLA y TARANTINO (s.f); CALIANDRO, CANTORE y MUSACCHI, (2000). Generalmente; el agua que se utiliza para suplir las necesidades hídricas del cultivo contiene sales en solución, que cada vez que se efectúa un riego se incorporan al suelo en cantidades variables de acuerdo a la cantidad de sales disueltas Como al volumen de agua aplicado, significando un aumento paulatino de sales que se acumulan en el suelo, ya que el agua aportada se evapora o es utilizada por las plantas, mientras que las sales persisten (RAZETO, 1999; CARRASCO, 1991, ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954). MARTÍNEZ (1987) y MENDOZA (2000) a través de un cálculo teórico muestran el aporte de sales producto de la utilización de aguas de alto contenido salino del río Copiapó y de un pozo de la IV

Región, asumiendo un aporte de agua de 10.000 m<sup>3</sup>/ha/año y una C.E de 2,0 mmhos/cm para el primer caso, y de 1,7 mmhos/cm para el segundo, las toneladas de sal incorporadas al perfil del suelo anualmente son de aproximadamente 12,5 Ton y 6,9 Ton, respectivamente; otros estudios realizados por FIEROTTI, DAZZI y TUSSA (1999) muestran relaciones semejantes a las descritas anteriormente.

Se estima que 10 millones de hectáreas de suelo cultivado son abandonadas anualmente a causa de los efectos adversos de la salinización y alcalinización secundaria producto del riego con aguas salinas, y las áreas salinizadas a causa del riego aumentan con un ritmo de 2 millones de hectáreas al año (CALIANDRO, CANTORE y MUSACCHI, 2000).

VOGEL (1985), en un estudio realizado sobre la composición química de las aguas de riego chilenas, identifica grandes fluctuaciones en los contenidos de sales entre una cuenca hidrográfica y otra, destacándose la gran variabilidad del magnesio, cloruros y sulfates que existe dependiendo de condiciones locales como clima y composición mineral específicamente en aquellos en que existe un alto contenido de minerales sulfatados (yeso).

HEREDIA (1999) señala que los problemas de salinidad en frutales irán en aumento, debido a la utilización de aguas residuales procedentes de núcleos urbanos con altos contenidos de sodio y boro por el uso de detergentes domésticos; SAAVEDRA y ALCALDE (1987) agregan como una de las causas de la salinidad, el uso indiscriminado de fertilizantes con cloro y estiércol con alto contenido salino.

### 2.3.2. Aspectos químicos de la acumulación de sales 2.3.2.1.

#### Conceptos básicos sobre la salinidad de los suelos

El suelo está compuesto esencialmente de cuatro fracciones: mineral, orgánica, acuosa y gaseosa. En la arcilla y en la materia orgánica del suelo es donde se lleva a cabo la principal actividad química del suelo; la arcilla, por su parte, está formada de pequeñas partículas llamadas coloides, las cuales constan de placas cargadas negativamente las que son capaces de atraer iones cargados positivamente como  $H^+$  y cationes metálicos de los cuales los más importantes son  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$  y  $Na^+$ , encontrándose en menor cantidad  $NH_4^+$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$  y  $Al^{+3}$  siendo este último ion abundante en suelos ácidos (PIZARRO, 1996).

Los cationes pueden encontrarse en el suelo en tres formas distintas, como cationes insolubles o precipitados, como cationes solubles en agua y como cationes intercambiables adsorbidos. Entre estos dos últimos existe un constante intercambio, el cual hace mantener el suelo en un equilibrio dinámico. A este fenómeno se le llama *reacción de intercambio catiónico* (HONORATO, 1993).

Debido a que el *complejo de cambio*, nombre que reciben los coloides del suelo, adsorben a los cationes con una cierta energía la que aumenta proporcionalmente a medida que se incrementa la valencia, y a igual valencia cuanto menor es el radio de hidratación, los cationes adsorbidos con más energía tienden a desplazar a los otros que pasan a la solución del suelo y, por lo tanto, pueden ser eliminados mediante lavados. De esta manera, PIZARRO (1996) y HONORATO (1993) definen al proceso de intercambio catiónico como un proceso reversible existiendo algunas excepciones con aquellos cationes de elevada valencia o cationes polivalentes que son retenidos por la materia orgánica.

La cantidad máxima de cationes por unidad de masa que un suelo puede adsorber se llama *capacidad de intercambio catiónico (CIC)* y se mide en meq/100 gr de suelo. En el estudio de los suelos salinos, es de mucha importancia el porcentaje que el  $\text{Na}^+$  representa respecto a los demás cationes adsorbidos; este porcentaje, expresando las cantidades en meq, se denomina *porcentaje de sodio intercambiable (PSI)* (PIZARRO, 1996; ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954).

Un índice útil para estimar la presencia de una condición sódica o para predecir un proceso de sodificación es la *Relación de adsorción de sodio (RAS)*, definida por la expresión (SADZAWKA, 1999):

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

donde todas las concentraciones están expresadas en meq/l. Sin embargo, actualmente, se considera que el índice más adecuado para definir el riesgo de sodicidad es el  $RAS^\circ$ , definido por Suárez en 1981 (PIZARRO, 1996), según la expresión:

$$RAS^\circ = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^\circ + Mg^{+2}}{2}}}$$

en donde  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{+2}$  tienen el mismo significado y unidades que en la fórmula anterior y  $\text{Ca}^\circ$  es la concentración corregida de  $\text{Ca}^{+2}$ , expresada también en meq/l, que depende de la salinidad del agua de riego y de los factores que afectan a la dilución o precipitación del  $\text{Ca}^{+2}$ ; es decir, el contenido de  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua del suelo y la relación, en el agua de riego, entre el contenido de bicarbonatos y de  $\text{Ca}^+$  ( $\text{CO}_3\text{H}/\text{Ca}$ ), en meq/l.

El PSI de los suelos es aproximadamente igual al RAS del extracto de saturación para valores bajo 40, en la mayoría de los suelos de importancia agrícola (SADZAWKA, 1999).

Las sales comunes en los suelos de regiones áridas varían tanto en tipo como en cantidad. En la mayoría de los casos son combinaciones de sólo tres cationes, Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), con dos aniones, cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ). Con excepción del yeso,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , las combinaciones de estos iones son fácilmente solubles en agua, por lo cual se pueden mover fácilmente a través del suelo (CARRASCO, 1991); dentro de estas sales se destacan, como componente típico de suelos salinos, el *sulfato de magnesio*, altamente soluble y, por lo tanto, considerada como una de las más perjudiciales, *sulfato sódico*, cuya solubilidad varía con la temperatura y su toxicidad es considerada menor que la del sulfato magnésico, *cloruro de sodio*, considerada una de las sales más frecuente en suelos salinos, altamente tóxica para las plantas y su solubilidad no es afectada por la temperatura y el *cloruro magnésico*, altamente soluble por lo que es muy perjudicial para las plantas (PIZARRO, 1996; LOVELLI, PERNIOLA y PETRIZZI, s.f). El Cuadro 2 presenta la toxicidad para las plantas y la solubilidad de las principales sales presentes en los suelos salinos.

Las sales más nocivas son aquellas que tienen una elevada solubilidad, ya que dan lugar a soluciones salinas muy concentradas; en cambio, las poco solubles precipitan antes de alcanzar los niveles perjudiciales (PIZARRO, 1996).

CUADRO 2. Principales sales solubles presentes en los suelos salinos.

Tipo de sal	Presencia en suelos salinos	Toxicidad para las plantas
Cloruro de Sodio	común	+++
Cloruro de Magnesio	común	++++
Cloruro de Calcio	rara	++
Cloruro de Potasio	baja	+
Sulfato de Sodio	común	++
Sulfato de Magnesio	común	++++
Sulfato de Potasio	baja	+
Carbonato de Sodio	suelos sódicos	+++++
Bicarbonato de Sodio	suelos sódicos	++++

Fuente: SADZAWKA (1999).

Otros dos tipos de iones son el carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) y bicarbonato ( $\text{HCC}_3^-$ ) los que están presentes en el suelo en función de su pH, de esta manera sólo podrán presentarse contenidos apreciables de carbonates a pH sobre 9,5 (ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954). El ion bicarbonato rara vez se encuentra en grandes cantidades, ya que tiende a convertirse espontáneamente en carbonato con liberación de agua y Anhídrido Carbónico. Si en la solución del suelo el Calcio y el Magnesio están ausentes, el carbonato formado de la reacción anterior tiende a acumularse como ion soluble; por el contrario, si existen cantidades del ion Calcio y Magnesio, estos precipitarán como Carbonato de Calcio y magnesio los que son muy poco solubles, ocasionando un predominio de Sodio en la solución.

En caso que las cantidades de Calcio y Magnesio sean mínimas, la cantidad de carbonato soluble en la solución del suelo será importante, ya que estará en solución con Sodio, siendo el Carbonato de Sodio bastante soluble (CARRASCO, 1991).

El pH del suelo es un valor que expresa la actividad del ion hidrógenos en la solución del suelo y es una indicación de la reacción del suelo. El pH de un suelo depende de varios factores como la concentración de anhídrido carbónico disuelto, la composición de cationes intercambiables, la naturaleza de los materiales de intercambio iónico, la composición y concentración de las sales solubles y la ausencia o presencia de yeso y carbonates alcalino térreos (carbonates de calcio y magnesio) (SADZAWKA, 1999) y principalmente por la presencia de carbonates o bicarbonatos sódicos (HEREDIA, 1999). Al respecto, GUROVICH (1990) señala que en aquellos suelos donde no hay acumulaciones de bicarbonatos y carbonatos de calcio, el pH del suelo se mantiene estable.

#### 2.3.2.2. Evaluación de la salinidad en el suelo

Una forma simple de expresar la salinidad de una solución es por medio de su conductividad eléctrica. Una solución conduce la electricidad tanto mayor sea su concentración de sales, es así como habitualmente se ha usado esta propiedad para medir la salinidad en términos de conductividad eléctrica, cuya unidad de medida es milimhos/cm (mmhos/cm) (PIZARRO, 1996 y HONORATO, 1993) y su equivalencia en el Sistema Internacional de Unidades es decisiemens/metro (dS/m) (SADZAWKA, 1999). Otra forma de representar la salinidad de un suelo es en gramos/litro, siendo este un valor que se obtiene de la multiplicación de la conductividad eléctrica expresada en mmhos/cm por un coeficiente de 0,64 (HEREDIA, 1999 y PIZARRO, 1996).

En términos prácticos, para medir la salinidad del suelo existen varios procedimientos siendo el más utilizado aquel que se mide en una pasta de suelo saturado (MASS, 1984; ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954); sin embargo, la salinidad así medida no es la real de la solución del suelo, SADZAWKA (1999) considera el valor de la conductividad eléctrica del extracto de la pasta saturada aproximadamente la

mitad de la conductividad de la solución del suelo a capacidad de campo y casi la cuarta parte de la conductividad que tendría la solución del suelo en el punto de marchitez permanente.

Esto coincide con lo expresado por PIZARRO (1996), quien propone que al momento de estudiar los efectos de la salinidad del suelo sobre los cultivos, debería medirse la conductividad eléctrica real de la solución del suelo, que es la que va a estar en contacto con las raíces de las plantas, ya que estas absorben el agua del suelo comprendida entre capacidad de campo y punto de marchitez. Por otra parte, las sales no son absorbidas permaneciendo en la solución, por tanto, será más salina cuanto más próximo esté el punto de marchitez. Con esto se deduce que la salinidad del suelo o de la solución, es variable con la humedad.

MENDOZA (2000) plantea otras deficiencias del método de medición de la C.E. mediante el estudio analítico del extracto saturado, como es la necesidad de extracciones periódicas de muestras que permitan tener una información actualizada, además de la subjetividad del método, ya que existe una influencia de la preparación de la muestra (molido, tamizado, vacío aplicado, tiempo de extracción, etc.) sobre la concentración final de sales.

#### 2.3.2.2.1. Utilización de sondas de succión

MENDOZA (2000)\* ; FAINSTEIN (1997); PIZARRO (1996) e IRROMETER (s.f.) plantean la ventaja de la utilización de sondas de succión también llamados extractómetros o lisímetros de succión para medir la salinidad real del suelo, ya que el aparato succiona la misma solución del suelo que las raíces. Estos instrumentos tienen una punta de cerámica porosa, semejante a la de un tensiómetro, conectada a

\* MENDOZA. H. Ing. Agr. 2000. Bioamérica. Comunicación Personal

una tubería hueca de Cloruro de Polivinilo (PVC). Cuando se practica un vacío en el tubo, usando una bomba manual o una jeringa, el agua del suelo se introduce dentro de él (IRROMETER, s.f.) (Anexo 1).

MENDOZA (2000) señala que las sondas de succión permiten tener en todo momento, con gran facilidad y ahorro de tiempo, la estimación de la C.E., pH y un análisis detallado de los nutrientes que contenga la solución, como también de las sales nocivas para los cultivo tales como el Sodio y Cloruro, que al igual que lo planteado por MARTÍNEZ (2000) permite una evaluación continua de la dinámica de los iones a varias profundidades del perfil radicular, pudiendo evitar y superar antagonismos y desequilibrios nutricionales típicos de condiciones adversas junto con estimar la disponibilidad de los fertilizantes para la planta en sistemas de fertirrigación, la solución de drenaje o lo que se ha lixiviado por efecto del riego o lluvias, situación comprobada por ROMEÓLA *et al.* (2000) y NIELSEN *et al.* (1998) al utilizar dichas sondas en ensayos a nivel de campo para monitorear el contenido nutricional del suelo a través del tiempo.

Para la instalación en terreno del instrumento se debe hacer una perforación con un tubo de hierro de 1/2", dejando de esta manera un agujero de diámetro semejante al instrumento, se deben evitar instalaciones en zonas bajas en donde pueda acumularse el agua en superficie, posteriormente se debe insertar la sonda en el agujero, asegurándose de que la punta del instrumento esté perfectamente asentada en el fondo de la perforación, la superficie del suelo alrededor del instrumento debe compactarse para evitar que el agua superficial se introduzca hacia la punta de cerámica de la sonda Una vez instaladas en el terreno, se debe insertar el tubo del equipo de vacío (bomba de vacío o jeringa) en la sonda, tirando el émbolo de la jeringa y apretando con un clip-abrazadera, de manera de crear y mantener el vacío necesario en el

" MENDOZA. H. Ing. Agr. 2000. Bioamérica. Comunicación Personal.

interior de la sonda (IRROMETER, s.f). La bomba de vacío manual con manómetro permite lograr un vacío cercano a los 75-85 cb, una jeringa de 50 ml conectada a una sonda de 15 cm puede hacer un vacío de alrededor de 52 cb, en largos mayores, los fabricantes señalan que se pierde alrededor de 7 cb en vacío por cada 15 cm de largo adicional del instrumento, y sugieren para un buen funcionamiento un vacío mínimo de 50 cb, por lo que recomiendan la primera alternativa por su eficacia y sobre todo por el hecho de permitirle al usuario saber en cada momento el vacío alcanzado así como detectar sobre la marcha cualquier problema de faga que impida obtener la muestra.

Para extraer la muestra del suelo, se debe conectar una jeringa desechable a la sonda y posteriormente soltar el vacío. Se recomienda limpiar tanto el equipo de vacío como la jeringa antes de cada uso, ya que podrían quedar restos de muestras anteriores que interferirían los resultados. El tiempo necesario para la extracción de la muestra varía en función de la humedad del suelo y del vacío (presión negativa alcanzada) creado en el instrumento, lo que hace evidente que cuanto más húmedo el suelo y cuanto mayor el vacío, más rápidamente pueden obtenerse muestras. Además, cuanto más largo es el instrumento, menor es el efecto de vacío que se puede conseguir y, por lo tanto, mayor el tiempo que se tarda en obtener la muestra de solución (IRROMETER, s.f).

Previo a la instalación en campo de las sondas de succión, GROVER y LAMBORN (1970) recomiendan sumergir las sondas durante 12 horas en Ácido Clorhídrico (HCl 1N) de manera de reducir la contaminación de Sodio, Potasio y Calcio de la cápsula porosa, además de disminuir la adsorción de fósforo, problemas que podrían interferir en el análisis de la muestra.

MENDOZA (2000)\* sugiere comprobar el funcionamiento de las sondas previo a su instalación en campo, colocándolas en una solución de concentración salina conocida y extrayendo posteriormente la muestra de cada uno de ellas para analizar la concentración de los iones presentes eliminando aquellas sondas en que la diferencia de concentraciones exceda al 15 %.

IRROMETER (s.f.), fabricantes de sondas de succión, señala tres restricciones en el uso de las sondas, la primera de ella tiene relación con la imposibilidad de determinar el valor absoluto del pH de la solución del suelo, ya que, debido al vacío practicado, el CO<sub>2</sub> disuelto en la solución tiende a sufrir un proceso de gasificación con el incremento correspondiente en el pH de la muestra. La segunda restricción tiene una mayor relevancia en situaciones en que se utilizan fertilizantes a base de urea o de amonio, ya que el Nitrógeno en su forma amoniacal no se mueve lo suficiente en el agua del suelo, y por ello no es medido con exactitud en los muestreos. Y por último, los fabricantes señalan que la utilización de las sondas se ve limitada a suelos que están cerca de su capacidad de campo, siendo difícil extraer una muestra representativa en suelos que estén por debajo de 25 a 30 cb.

#### 2.3.2.3. Efecto de las lluvias en la salinidad.

La lluvia, considerando su intensidad y período, es un factor ambiental que influye en la manifestación de daños causados por salinidad en los cultivos (HEREDIA, 1999).

La lluvia es eficaz para lixiviar las sales de la zona radicular, debido a su uniformidad de aplicación y a la ausencia casi total de sales ( $CE < 0,05$  dS/m), esta al atravesar la zona radicular y percolar hacia mayores profundidades, puede satisfacer el total o parte de las necesidades de lixiviación. El efecto de las lluvias en la lixiviación depende, entre otros factores, de la cantidad o intensidad y del momento en que se

producen (AYERS y WESTCOT, 1987), así una precipitación de 10 a 30 l/m<sup>2</sup> no alcanza a profundizar por debajo de la zona de las raíces introduciéndose de esta manera las sales dentro del bulbo (CEBAS-CSIS, 2000).

En los años o áreas de baja precipitación y cuando la lluvia no es suficiente para colmar la capacidad de retención de la zona radicular, a pesar de no producirse la lixiviación de las sales, las sales retenidas en las capas superiores de la zona radicular son desplazadas a mayores profundidades dentro de la misma. De esta manera, la salinidad de las capas superiores de la zona radicular tiende a alcanzar la concentración del agua de lluvia, lo que podría favorecer procesos como la germinación de semillas. Por otro lado, si la lluvia cae cuando la zona radicular se encuentra a capacidad de campo, parte de las sales serían desplazadas fuera de ella junto con el agua de percolación (AYERS y WESTCOT, 1987). Dada esta última situación, estos autores junto con MENDOZA (2000)\*; GARDIAZÁBAL (1999)\*; CALIANDRO (1999); LOS AVIO, MASTRORILLI y VENTRELLA (1999); CEBAS-CSIS (2000), al considerar que las lluvias producen la desorganización del bulbo salino que mantiene el riego por goteo ya que movilizan las sales que iban siendo acumuladas en las paredes y sobre la superficie, tendiendo éstas a repartirse de forma homogénea en el suelo, pudiéndose introducirse en el bulbo donde se tiene concentrado el sistema radicular ocasionando graves daños al cultivo, recomiendan regar a capacidad de campo antes de la llegada de las primeras lluvias, en este caso las lluvias proveerán el agua adicional para llenar la zona radicular y lixiviar el total o parte de las sales.

---

\*GARDIAZÁBAL. F. Ing. Agr. 2000. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

\*MENDOZA, H. Ing. Agr. 2000. Bioamérica. Comunicación Personal.

Las lluvias y los deshielos mantienen la concentración de sales del agua a niveles bajos, ya que, por lo general, la salinidad de las aguas de los ríos es inversamente proporcional a sus caudales (AYERS y WESTCOT, 1987). Así lo comprueba VOGEL (1985) al medir la conductividad eléctrica en distintos meses de dos ríos, registrando variaciones estacionales producto de las lluvias y deshielo primaverales.

En suelos salinos y en condiciones semiáridas de ambientes mediterráneos, con un período estival caluroso y seco durante el cual es indispensable recurrir al riego, generalmente, con aguas de baja calidad, seguido de una estación fría y lluviosa, se activan los procesos de lixiviación que disminuyen los valores de conductividad eléctrica del suelo, mientras que los niveles relativos al sodio intercambiable permanecen casi inalterables (FIEROTTI, DAZZI y TUSSA, 1999; LOS AVIO, MASTRORILLI y VENTRELLA (1999). CALIANDRO (1999) comenta que bajo estas condiciones climáticas, donde caen cerca de 300-400 mm de lluvia generalmente concentradas durante el invierno, estas son casi suficientes para lixiviar de la zona radical las sales aportadas durante la estación de riego provenientes del agua utilizada para el riego. Esta situación fue comprobada a nivel de campo por DASBERG *et al.* (1991) al medir al término de la temporada de riego valores de conductividad eléctrica mayores 4 dS/m en la solución del suelo de la zona radicular y valores menores de 1 dS/m posterior a lluvias invernales de 550 mm. La Figura 2 muestra el efecto de las lluvias en la salinidad del suelo.

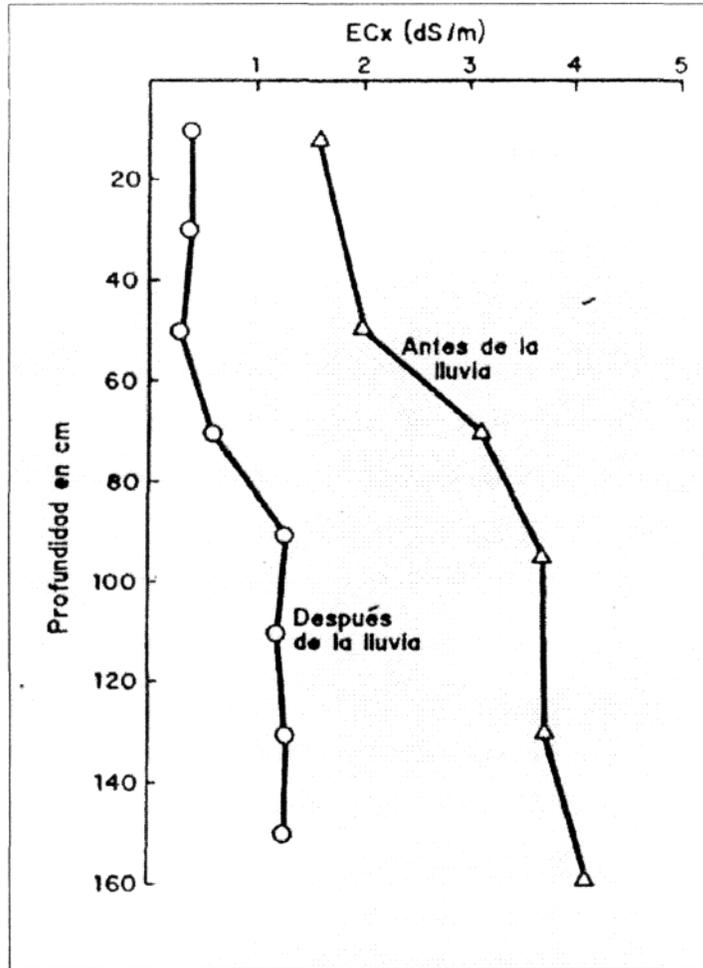


FIGURA 2. Perfiles de salinidad expresado en conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo (ECx) de un suelo franco arenoso antes y después de 150 mm de lluvia (AYERS y WESTCOT, 1987).

### 2.3.3. Caracterización de los suelos afectados por sales

Los suelos afectados por sales han sido clasificados tradicionalmente por el U.S. Salinity Laboratory en distintas categorías de acuerdo a su conductividad eléctrica (C.E.) y su porcentaje de Sodio intercambiable (P.S.I), clasificándose en suelos normales, suelos salinos, suelos sódicos y suelos salinos-sódicos (WILD, 1992; CARRASCO, 1991; ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954; RUSSEL y RUSSEL, 1954).

Suelos no salinos: son considerados aquellos suelos en que las sales disueltas en la solución de este y el sodio adsorbido por el complejo de cambio, se encuentran por debajo de los límites perjudiciales de 4 mmhos/cm y un P.S.I. bajo el 15%, respectivamente; límites considerados altos según PIZARRO (1996) quien define que los límites entre un suelo normal y un suelo salino estarían dados por una C.E. menor a 2 mmhos/cm y un P.S.I menor al 7%.

Suelos salinos: los suelos clasificados como salinos, son aquellos que contienen en la solución del suelo una concentración de sales suficientemente elevada para restringir el desarrollo de los cultivos. Tienen poco Sodio adsorbido, por lo que la estructura no se ve afectada. El pH puede variar entre 7,0 y menos de 8,5. Las cantidades relativas de Calcio y Magnesio presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio, varían considerablemente. El potasio soluble y el intercambiable son constituyentes de menor importancia. Los principales aniones son el cloruro, el sulfato y a veces en nitrato, pueden presentarse pequeñas cantidades de bicarbonatos, sin embargo, los carbonates solubles son casi inexistentes. Pueden encontrarse sales de baja solubilidad, como lo son el Sulfato de Calcio y Carbonates de Calcio y Magnesio. Generalmente, se encuentran floculados como consecuencia del bajo porcentaje de Sodio con respecto al Calcio y Magnesio.

Se consideran dentro de esta categoría aquellos suelos cuya C.E. está sobre los 4 mmhos/cm, y P.S.I bajo el 15 %; sin embargo, PIZARRO (1996), propone como suelo salino aquel cuya C.E. está sobre los 2 mmhos/cm y un P.S.I bajo los 7 %, ya que a partir de estos valores, los cultivos se ven afectados fuertemente en sus rendimientos.

Suelos sódicos: son aquellos suelos que tienen suficiente proporción de sodio adsorbido para provocar la dispersión de los coloides y en consecuencia la pérdida de la estructura del suelo. Con respecto a las sales de la solución del suelo estas se encuentran en un nivel bajo. La reacción del suelo varía según el P.S.I y la presencia o ausencia de  $\text{CO}_3$  o  $\text{CO}_3\text{H}$ . El pH va desde 8,0 hasta sobre los 9,5. Las sales disueltas en la solución del suelo se encuentran en pequeñas concentraciones, generalmente se encuentran cloruros, sulfates y bicarbonatos, aunque puede haber cantidades de carbonates. A pH muy elevado y en presencia de iones carbonates, el Calcio y el Magnesio precipitan, por consiguiente las soluciones de los suelos sódicos contienen pequeñas concentraciones de Calcio y Magnesio, predominando el sodio. Sobre pH 10, la disponibilidad del Hierro y Manganeso disminuye, debido a que ambos elementos tienden a precipitar como hidróxido u óxidos insolubles (CARRASCO, 1991). Agrega, además, que la presencia de un *film* superficial oscuro, generalmente es indicativo de un suelo sódico.

Tradicionalmente se considera que el valor P.S.I = 15 % marca el límite entre suelos sódicos y no sódicos. Sin embargo, se encuentran en la naturaleza suelos con P.S.I inferiores a 15 y con síntomas característicos de sodicidad. Por tal razón, PIZARRO (1996) adopta como valor límite el de P.S.I= 7.

HEREDIA (1999) propone una nueva y más completa clasificación de suelos y aguas en función a su salinidad basado en estudios de suelos con problemas de permeabilidad en los cuales el nivel de Sodio no supera el 15 %, dicha clasificación

considera un suelo alcalino cuando la suma Sodio y Magnesio representa el 25 % del total de cationes, demostrando de esta manera el efecto del Magnesio sobre la permeabilidad y alcalinización del suelo.

Conductividad eléctrica inferior a los 4 mmhos/cm, porcentaje de Sodio intercambiable sobre el 15% y la presencia de un *film* superficial oscuro, generalmente es indicativo de un suelos sódicos (CARRASCO, 1991).

Suelo salino-sódico: se caracterizan por presentar una alta concentración de sales en la solución del suelo, por sobre una conductividad de 4 mmhos/cm; y un alto porcentaje de Sodio adsorbido en el complejo de cambio,  $PSI > 15$ . El pH, rara vez es mayor que 8,5. Su apariencia es parecida a la de los suelos salinos, así como su comportamiento general. A medida que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del Sodio intercambiable se hidroliza para formar Hidróxido de Sodio, que, a su vez, puede cambiar a Carbonato de Sodio.

#### 2.3.4. Efectos de la salinidad en los cultivos

Una elevada concentración de sales en el suelo puede afectar el crecimiento y producción de las plantas por diferentes vías, tanto directas como indirectamente. Los árboles cultivados bajo condiciones de salinidad, generalmente, presentan problemas adicionales a la baja en rendimiento, como un aumento en la susceptibilidad a daño por baja temperatura y una disminución en el tamaño de la fruta, ambos probablemente como resultado de una disminución en la actividad fotosintética de la planta (RAZETO, 1999).

Las diferentes respuestas a la salinidad varían no solo con la especie, sino que también con el cultivar y pueden estar influenciadas por las condiciones climáticas, por el tipo de terreno (CANTORE, FLAGELLA y BOARI, s.f.) y por el portainjerto

(CALIANDRO, 1999). HELAL y MENGEL (1981) asocian la elevada temperatura junto con una baja humedad relativa, a un aumento de la demanda evapotranspirativa del ambiente y a una reducción de la tolerancia de las plantas a la salinidad a causa del incremento del flujo de agua y acumulación de solutos en la zona radicular. Agregan, además, que el efecto deprimente de la salinidad del NaCl en el crecimiento, síntesis de proteínas, asimilación del  $CO_2$  e incorporación de fotosintatos en la fracción lipídica es mayor bajo condiciones de baja intensidad lumínica que en condiciones de alta luminosidad, ya que aquellas plantas sometidas a una alta intensidad de luz son más capaces de excluir iones  $Na^+$  y  $Cl^-$  y acumular cationes  $Ca^{+2}$ ,  $K^+$  y  $Mg^{+2}$  respecto de aquellas desarrolladas bajo una menor intensidad de luz.

Las plantas tienen distinta sensibilidad a la salinidad dependiendo de la fase fenológica en que se encuentren. Generalmente; las plantas son más sensibles en las fases juveniles que en fases más desarrolladas, siendo la etapa de germinación y emergencia de las plantas la etapa de mayor susceptibilidad a la salinidad (CANTORE, FLAGELLA y BOARI, s.f).

#### 2.3.4.1. Efecto osmótico

Es considerado un problema que afecta directamente a las plantas (RAZETO, 1995).

El movimiento del agua desde el suelo a la planta se realiza a causa de la diferencia de potencial que existe entre el agua del suelo y el citoplasma. El potencial total en las proximidades de las raíces viene determinado por la sumatoria de las tensiones ejercidas por el potencial mátrico, potencial osmótico, potencial gravitacional y presión potencial, considerándose estas dos últimas como nulas, es así como la planta para absorber el agua tiene que vencer esta sumatoria de tensiones (MEDINA, 1988).

La presencia de sales en la solución del suelo hace que aumenten las fuerzas de retención del agua, por lo que mayor es la presión osmótica que las plantas han de superar, exigiéndoles un mayor esfuerzo para lograr que las raíces absorban agua, como consecuencia de la reducción de la energía libre del agua del suelo, pudiéndose llegar al punto que no exista absorción de agua; provocando, de esta manera, un estrés hídrico en la planta (sequía fisiológica) (CALIANDRO, 1999). Los daños osmóticos, ligados al bajo potencial hídrico del terreno, son debidos básicamente a la reducción del turgor celular que provoca alteraciones en procesos metabólicos e inhibición del crecimiento (CALIANDRO, CANTORE y MUSACCHI, 2000).

#### 2.3.4.2. Efecto tóxico de algunos iones

Algunos iones producen efectos tóxicos en las plantas, incluso en concentraciones muy inferiores a las necesarias para perjudicar a los cultivos vía efecto osmótico o vía dispersión de coloides. El efecto está relacionado con la acumulación excesiva de uno o más iones en las hojas durante la transpiración, siendo el cloruro, el Sodio y el Boro los más comúnmente asociados con él mismo. Los iones Sodio y Cloro pueden, además, ser absorbidos directamente a través de las hojas cuando estas son mojadas por el riego por aspersión, intensificándose el problema en períodos de alta temperatura y baja humedad (AYERS y WESTCOT, 1987).

La acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en las hojas suele relacionarse de forma más o menos lineal con la concentración externa de sal, sobre todo en los patrones sensibles (WALKER y DOUGLAS, 1983).

Los efectos tóxicos pueden ocurrir directamente sobre la membrana plasmática o después de atravesar esta, en el protoplasma.

La toxicidad más frecuente es la provocada por el Cloro, elemento esencial para las plantas (SADZAWKA, 1999), el cual no es retenido por las partículas del suelo, por lo que es fácilmente absorbido por las raíces en forma de cloruro (HEREDIA, 1999) y traslocado a las hojas en donde comienza a acumularse por efectos de la transpiración, manifestándose como una quemadura o necrosis que comienza en la punta de las hojas nuevas, para luego desplazarse a lo largo de los bordes; generalmente, el daño va acompañado de una defoliación temprana (PIZARRO, 1996).

La toxicidad por Sodio es más difícil de diagnosticar que la del Cloro, a diferencia de este, los síntomas aparecen, por lo general, en forma de quemadura o necrosis a lo largo del borde de la hoja que pueden no aparecer inmediatamente después de la exposición a condiciones salinas, sino que tres a cuatro años después, cuando el sodio retenido por las raíces es transportado hacia las hojas (SADZAWKA, 1999 y AYERS y WESTCOT, 1987).

El Boro es necesario en pequeñas cantidades foliares (0,05-0,1 ppm) y se vuelve tóxico cuando sobrepasa ciertos niveles dependiendo de la especie que se trate. Según AYERS y WESTCOT (1987), los problemas de toxicidad se producen más frecuentemente a causa del Boro contenido en el agua que del boro del suelo. Los síntomas aparecen, generalmente, en las hojas más viejas, como manchas amarillas o secas en el borde y ápices de las hojas, y a medida que se va acumulando, los síntomas se extienden por las áreas intervenales hacia el centro de las hojas.

Diferentes estudios han aportado información relativa a los niveles de acumulación de cloruros y de Sodio en los tejidos foliares y los daños que causan en las hojas. En cuanto a los primeros, estos generalmente son del orden del 0,3 - 0,5 % respecto a la hoja en peso seco. La toxicidad al sodio de la gran mayoría de las especies arbóreas se presenta cuando el porcentaje respecto al peso seco de la hoja supera al 0,25- 0,50

por ciento (PIZARRO, 1996; AYERS y WESCOT, 1987), aunque por encima de 0.05%, en especies sensibles, ya pueden producirse síntomas de toxicidad (MENDOZA, 2000).

Los síntomas de toxicidad al Boro en la mayoría de los cultivos aparecen cuando la concentración foliar excede 250 - 300 mg de Boro por kilogramo de materia seca (AYERS y WESCOT, 1987).

#### 2.3.4.3. Efecto del Sodio intercambiable en la permeabilidad del suelo

El exceso de Sodio intercambiable en el suelo es dañino para las plantas, porque induce condiciones físicas y químicas no deseables. Produce la ruptura de los agregados y una reducción del tamaño de los poros, efectos que reducen la permeabilidad del suelo al aire y al agua y la penetración física de las raíces, fenómeno más evidente en aquellos suelos en que se presentan altos contenidos de arcilla específicamente del tipo montmorillonita (CALIANDRÓ, 1999; ROLSTON, NIELSEN y BIGGAR 1984).

La pérdida de estabilidad de los agregados del suelo se debe a que el Sodio no mantiene las partículas de suelo fuertemente unidas y cuando este es mojado las partículas se dispersan formando un lodo (ROLSTON, NIELSEN y BIGGAR, 1984). Sin embargo, la dispersión de los suelos y destrucción de la estructura se producen cuando el contenido de Sodio supera al del Calcio en una proporción por sobre de 3:1 (AYERS y WESTCOOT, 1987).

El riesgo de dispersión depende de la mineralogía de las arcillas, de la cantidad de Sodio absorbido en el suelo y de la concentración salina en la solución del suelo (ROLSTON, NIELSEN y BIGGAR 1984), el riesgo aumenta a medida que lo hace el PSI y disminuye cuando crece la CE, debido a que el aumento de sales en solución

disminuye el gradiente de cationes, elimina parcialmente la tendencia a la difusión y comprime la doble capa difusa contra las partículas de arcilla, disminuyendo su espesor y la fuerza de repulsión (PIZARRO, 1996), lo que se opone al aumento del espesor de la doble capa difusa que rodea a las partículas de arcilla y fuerza repulsiva entre partículas adyacente de igual carga provocado por la adsorción de Sodio sobre la superficie de las arcillas (SADZAWKA, 1999), en otras palabras, la dispersión de las arcillas se produce a causa del aumento del espesor de la doble capa difusa (LOVELLI, PERNIOLA y PETRIZZI, s.f.)

#### 2.3.4.4. Efectos nutricionales

El desarrollo de un cultivo puede verse adversamente afectado por desórdenes nutricionales inducidos por problemas de salinidad, estos desórdenes según GRATTAN y GREEVE (1999), pueden ser resultado del efecto de la salinidad en la disponibilidad de nutrientes, competencia de absorción, transporte o distribución de nutrientes dentro de la planta. BAR *et al.* (1997) agregan como consecuencia de este desbalance iónico una posible reducción en la elongación de las raíces disminuyendo el volumen de suelo que puede ser explorado y así la cantidad de iones que se mueven por difusión hacia el interior de la planta.

La disponibilidad y la absorción de nutrientes por las plantas en condiciones salinas está afectado por muchos factores del medioambiente suelo-planta. La fase sólida del suelo y la composición y concentración de solutos de la solución del suelo controla la actividad de los nutrientes (GRATTAN y GRIEVE, 1999).

El pH de la solución del suelo puede influir en la disponibilidad de los elementos, junto con esto, la concentración y proporción en que se encuentren estos últimos, puede interferir en la absorción y transporte de un nutriente en particular y actuar indirectamente sobre otros.

Diversos estudios muestran una disminución de la absorción de  $\text{Cl}^-$  a causa de un antagonismo con el  $\text{NO}_3^-$  (BAR, APELBAUM y GOREN, 1998; BAR *et al.*, 1997; KAFKAFI, VALORAS y LETEY, 1982). MARTÍNEZ y CERDA (1989), señalan que la absorción de  $\text{Cl}^-$  se reduce cuando se agrega Nitrógeno en forma de  $\text{NO}_3^-$ , sin embargo, cuando se adiciona en forma de  $\text{NH}_4^+$ , la absorción y acumulación de  $\text{Cl}^-$  en la planta aumentan; además, observan que cuando el  $\text{NO}_3^-$  es la única fuente de Nitrógeno, la acumulación de  $\text{K}^+$  en la planta aumenta; por el contrario, cuando existe un aporte tanto de  $\text{NO}_3^-$  y de  $\text{NH}_4^+$ , el contenido de  $\text{K}^+$  disminuye. Ensayos realizados por BAR y KAFKAFI (1992) en paltos, muestran que altas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en la solución del suelo provocan clorosis en hojas jóvenes por deficiencia de fierro, como consecuencia del aumento en el pH por liberación de  $\text{OH}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  lo que hace disminuir la solubilidad del  $\text{Fe}^{2+}$ .

Bajo condiciones salinas-sódicas o sódicas, GRATTAN y GRIEVE (1999), señalan que los altos niveles de  $\text{Na}^+$  no solo interfieren con la absorción del  $\text{K}^+$  por las raíces, sino que también pueden destruir la integridad de las membranas de las raíces y con ello su selectividad. BAR *et al.* (1997), señalan la importancia de la mantención de altos niveles en el citoplasma de  $\text{K}^+$  y bajos de  $\text{Na}^+$  para la actividad de muchas enzimas.

Estudios realizados por SUBBARAO *et al.* (1990) y FRANCOIS (1984) demuestran que en diferentes cultivos hortícolas, los contenidos de  $\text{K}^+$  en los tejidos de la planta disminuyen con salinidad- $\text{Na}^+$  o cuando se incrementa la relación  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ .

CASERO (1995) señala que la absorción del Calcio puede ser competitivamente disminuida por la presencia de otros cationes como Amonio, Potasio, Magnesio, Sodio, Aluminio y los propios protones, los que son absorbidos con mayor rapidez

por la planta, o bien ocupan un sitio en los puntos de intercambio de la superficie radicular.

Si la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en el suelo es baja, el  $\text{Mg}^{2+}$  puede contribuir al movimiento del  $\text{Ca}^{2+}$ ; sin embargo, si la concentración de  $\text{Mg}^{2+}$  es alta en relación al  $\text{Ca}^{2+}$ , este puede bloquear el movimiento del  $\text{Ca}^{2+}$  (FAUST, 1991).

Trabajos realizados por MOYA *et al.* (2000), aplicando tres sales de cloruro,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  y  $\text{KCl}$  en plantas de cítricos, señalan que las tres sales causan efectos nocivos en las plantas; sin embargo, aquellas que recibieron  $\text{Ca}^{2+}$ , crecieron mejor que las tratadas con  $\text{Na}^+$ , mientras que las que recibieron  $\text{K}^+$  lo hicieron mucho peor. Pareciera ser que, en las células de la raíz de los cítricos, el flujo pasivo de cationes con alta permeabilidad (Calcio y Potasio), desarrollan; según el principio básico de neutralidad eléctrica, potenciales de difusión favorables a una gran absorción de cloruros provocando un aumento en las concentraciones de cloruro foliar; no obstante, el exceso de  $\text{K}^+$  antagoniza la absorción de cationes, produciendo desequilibrios Calcio-Magnesio por deficiencia de Calcio. En general, la adición de Calcio no reduce significativamente los niveles de Sodio ni Potasio, pero sí el de Magnesio; por el contrario, el  $\text{Na}^+$  reduce la absorción de Calcio, Magnesio y Potasio.

Según CARRASCO (1991), los suelos sódicos por presentar generalmente un pH sobre 10, reducen la disponibilidad de algunos nutrientes como el Hierro y Manganeso, ya que tienden a precipitar como hidróxidos u óxidos insolubles.

RAZETO (1995) menciona como otro efecto indirecto de la salinidad la interferencia que ejercen algunas sales como el carbonato y bicarbonato sobre la absorción y traslocación de Hierro, y la insolubilización del Fósforo junto con el Hierro y Manganeso que ocurre al pH alcalinos.

### 2.3.5. Calidad del agua de riego

El concepto de calidad de agua de riego se refiere a las características de las aguas que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico. La calidad del agua se define por una o más características físicas, químicas y biológicas. En la evaluación de la calidad del agua para riego se toman en cuenta sólo las dos primeras (CARRASCO, 1991).

La calidad del agua de riego puede variar significativamente según la concentración y composición de sales disueltas. Las sales se encuentran en cantidades relativamente pequeñas, pero significativas, y tienen su origen en la disolución o meteorización de las rocas y suelos, además de la disolución lenta de la caliza, del yeso y de otros minerales. Las sales son transportadas por las aguas de riego y depositadas en el suelo, en donde se acumulan a medida que el agua se evapora o es consumida por los cultivos (AYERS y WESTCOT, 1987).

Los iones predominantes son una mezcla de Sodio, Calcio y Magnesio con cloruros, sulfates y bicarbonatos y ocasionalmente pequeñas cantidades de carbonato. Tanto los cloruros como los sulfates contribuyen a la salinización del suelo; sin embargo, los carbonates y bicarbonatos ayudan a la aparición de sodio intercambiable (CARRASCO, 1991).

Según VOGEL (1985), los aniones presentes en las aguas, especialmente cloruro y sulfato, varían fuertemente de una cuenca hidrográfica a otra, dependiendo mucho de la mineralogía local y de los procesos volcánicos.

### 2.3.5.1. Conceptos de calidad del agua de riego

Distintos autores CARRASCO (1991); AYERS y WESTCOT (1987); VERMEIREN y JOBLING (1986) han determinado cuatro problemas producidos por la calidad del agua en suelos y cultivos.

#### - *Salinidad*

La salinidad del agua se evalúa por su conductividad eléctrica expresada en mmhos/cm. Existe un problema de salinidad cuando las sales se acumulan en la zona radicular a una concentración tal que ocasiona pérdidas en la producción. Estas sales provienen la mayor parte de las veces del agua de riego. Según VOGEL (1985), el contenido de sales solubles tiene una relación directa con la latitud en que se encuentran los diversos cursos de agua, es así como en Chile el contenido salino tiende a disminuir de Norte a Sur, debido a un aumento de la pluviometría anual y mayor acumulación de nieve en la cordillera.

En el Cuadro 3, se muestran los rangos de clasificación de las aguas de riego con respecto a la salinidad.

CUADRO 3. Clasificación de las aguas de riego según su nivel de salinidad

Aguas satisfactorias para el riego	Menor a 0.75 mmhos/cm.
Aguas con riesgo medio para el riego	0.75 - 3 mmhos/cm.
Aguas con alto riesgo para el riego	Sobre 3 mmhos/cm.

#### - *Permeabilidad*

La permeabilidad del suelo se reduce cuando el agua lleva algunos constituyentes químicos. Según VERMEIREN y JOBLING (1986), esta dificultad se asocia con aguas que tengan un contenido en sales muy bajo y un alto contenido en Sodio con

respecto al Calcio y al Magnesio. Es así como se ha clasificado como aguas sin problemas de permeabilidad cuando el análisis arroja una C.E. mayor a 0,5 mmhos/cm. y un S.A R. menor a 6; aguas con dificultad cuando tienen un rango de C.E. entre 0,2 - 0,5 mmhos/cm. y un S.A.R. entre 6 - 9 y dentro de las aguas con alto riesgo están aquellas con una C.E. menor a 2 mmhos/cm. y un S. A.R. mayor a 9.

*- Toxicidad.*

Los problemas de toxicidad surgen cuando ciertos iones del agua son absorbidos por las plantas y acumulados en sus tejidos en concentraciones lo suficientemente altas para provocar daños y disminuir los rendimientos (AYERS y WESTCOT, 1987). Los principales iones son el cloro, sodio y boro, y estos deben encontrarse en el agua bajo los 0.5 ppm, 4 meq/l y 3 (S.A.R.), respectivamente para no ocasionar problemas.

*- Dificultades diversas*

Se pueden incluir bajo esta categoría los problemas causados por un exceso de Nitrógeno en el agua, pH extremos, entre otros.

### 2.3.5.2. Clasificación de las aguas de riego

Para la clasificación de las aguas de riego hay distintas interpretaciones y diagramas (AYERS y WESTCOT, 1987). Dentro de las más utilizadas, están las normas de Riverside, las que toman en cuenta dos parámetros, relación de Absorción de Sodio y Conductividad eléctrica, de esta forma se considera el peligro de salinidad y el peligro de sodicidad. Las aguas son clasificadas desde Aguas de baja salinidad (C1) hasta Aguas muy altamente salinas (C4) y desde el rango de Aguas bajas en Sodio (S1) hasta Aguas muy altas en Sodio (S4) (ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954) (Anexo 2).

## 2.4. Manejo y recuperación de suelos salinos y sódicos:

Antes de iniciar la recuperación de suelos afectados por sales, es preciso conocer cual es la causa de la salinización del suelo, las características físicas del suelo, la topografía de terreno, la salinidad y el RAS (SADZAWKA, 1999).

El aspecto vital más importante para el manejo de los suelos salinos es evitar una concentración excesiva de sales en la zona radicular de las plantas. Para lograr una lixiviación exitosa de las sales es necesario que haya un drenaje adecuado, es decir, texturas y estructuras adecuadas para un flujo descendente del agua a través del suelo, además de no contar con un nivel freático cerca de la superficie del suelo, sino que a una profundidad mínima de 120 a 150 cm, para evitar que se regenere la condición salina, debido a la ascensión por capilaridad de aguas salinas.

La salinización del suelo se puede evitar mejorando el drenaje del mismo, utilizando agua de riego de baja concentración salina, usando fertilizantes que no salinicen y manejando el riego en forma adecuada. En caso de existir acumulación excesiva de Sodio, las operaciones de lavados deben ser precedidas de una enmienda a base de aplicaciones de Sulfato de Calcio (yeso agrícola) al suelo (RAZETO, 1999).

### 2.4.1. Sistemas de riego

Riego se define como un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos de manera que ésta pueda ser utilizada al máximo (MEDINA, 1988).

Dentro de los sistemas de riego se destacan el sistema de riego tradicional, cuya principal característica es la de ser un sistema sin presión, en donde la dosis de agua no es perfectamente controlada. Dentro de este sistema se encuentra el riego por inundación, calles y surcos, en donde en el primero de ellos el agua tiene un

movimiento descendente y en los dos últimos el agua se mueve también en forma lateral.

Los sistemas de riego presurizado se caracterizan por trabajar con presión, entre ellos se encuentran: *Aspersión*, que consiste en suministrar agua como si fuera lluvia, con un sistema de aspersión total, el agua tiene solo movimiento descendente, no se presentan problemas en cuanto al tipo de suelo, ni de nivelaciones imperfectas si el caudal es inferior a la velocidad de infiltración del suelo. *Microaspersión*, parecido al anterior, pero se puede evitar mojar las plantas, con menor presión y, por lo tanto, con menor radio de alcance. *Microchorro* o *microjet*, derivado del anterior, emite el agua en pequeños chorros, que pueden abarcar una parte o todo el círculo. *Goteo*, sistema que aplica el agua gota a gota, sin presión de salida; se caracteriza por ser un sistema en que no se moja todo el suelo, sino que parte de él, variando con las características del suelo, caudal del gotero y el tiempo de aplicación.

Los terrenos más adecuados para el riego por goteo, son aquellos caracterizados por una adecuada conductividad hidráulica, ya que deben garantizar el movimiento del agua en forma lateralmente y en profundidad (LOSAVIO, MASTRORILLI y VENTRELLA, 1999; VERMEIREN y JOBLING, 1986). Suelos con texturas gruesas, de alta permeabilidad, originan un bulbo húmedo en profundidad, que se desplaza muy poco horizontalmente, limitando el crecimiento de raíces; la excepción se presenta en el caso de suelos que poseen una estrata de textura más fina a la profundidad donde se encuentra el sistema radicular de la planta, ya que en este caso esta capa permanece saturada, permitiendo el desarrollo lateral de raíces (PIZARRO, 1996).

Los métodos de riego afectan directamente la eficiencia de aplicación del agua y la salinidad. La frecuencia de riego y la cantidad de agua aplicada en cada riego son dos

factores que permiten atenuar o prevenir daños por acumulación de sales solubles en el suelo MEDINA (1988).

Según MEDINA (1988), el riego por goteo es uno de los sistemas más importante en posibilitar el uso de aguas salinas o, al menos, con un contenido en sales superior a las que pueden emplearse con cualquier otro sistema de riego, sin significar una disminución en los rendimientos.

Estudios comparativos realizados por MEDINA (1988) entre riego por goteo y microaspersión, utilizando aguas de elevadas conductividades eléctricas, muestran que los rendimientos en los distintos cultivos es siempre mayor en aquellos regados bajo un sistema de goteo.

Según AYERS y WESTCOT (1987), con el riego por goteo y el uso de aguas de buena calidad; se pueden obtener rendimientos ligeramente superiores o iguales que otros sistemas; sin embargo, cuando se utilizan aguas más salinas, los rendimientos frecuentemente son superiores, debido principalmente a que el agua aplicada se encuentra más disponible para las plantas, dado a un mayor contenido de agua en el suelo ocupado por las raíces (LOSAVIO, MASTRORILLI y VENTRELLA, 1999).

En caso que se disponga de aguas salinas, (BERNSTEIN y FRANCOIS, 1973; HARDING, MILLER y FIREMAN, 1958) recomiendan adoptar el sistema de riego por goteo respecto al de aspersion. FLAGELLA *et al.* (1999), agregan como ventajas del sistema, el mantenimiento de niveles de salinidad no superiores a los del agua de riego dentro del volumen mayormente ocupados por las raíces, debido al desplazamiento fuertemente de las sales en profundidad y ausencia de daños foliares directos.

En el riego por goteo, el agua que circula en el suelo transporta las sales las que terminan acumulándose entorno a la zona humedecida por el gotero. LOSAVIO, MASTRORILLI y VENTRELLA (1999) comentan que si se midiese la salinidad en la zona mojada por cada emisor se encontraría un gradiente salino que aumenta desde el centro hacia el exterior, hallándose dos zonas claras de acumulación de sales en el bulbo, una en las paredes y otra sobre la superficie del suelo al alejarnos del gotero. OSORIO y CÉSPED (2000) agregan que las sales que se acumulan en superficie entre dos puntos de aporte, pueden llegar a una concentración varias veces más elevada que la inicial en el suelo, según la salinidad del agua, situación que puede ser explicada por el hecho de que el frente húmedo se desplaza en la interfase suelo-aire, y esta zona, dependiendo de la evaporación que se produzca, tiene una elevada pérdida de agua (Anexo 3 ). VERMEIREN y JOBLING (1986) consideran que los factores que más influyen es esta distribución de las sales en el suelo (para condiciones dadas de clima, suelo y agua) son las dosis de riego y la separación de los puntos de distribución de agua.

Como limitación del sistema de riego por goteo con aguas salinas, LOSAVIO, MASTRORILLI y VENTRELLA (1999) plantean los problemas de obstrucción, principalmente debido a los sólidos en suspensión, eventuales colonias de microorganismos y distintos iones como el Manganeseo ( $>1,5$  mg/l), Hierro total ( $>1,5$  mg/l) y al Azufre ( $H_2S > 2,0$  mg/l) aumentando la peligrosidad de las sales a medida que aumenta el pH del agua.

GARDIAZÁBAL (2000)\* comenta la necesidad de mantener un buen nivel de humedad dentro del bulbo de riego, de manera de evitar el ascenso de sales por capilaridad. Además, plantea junto a MENDOZA (2000) y CEBAS-CSIS (2000), la

---

\* GARDIAZÁBAL. F. Ing. Agr. 20(K). Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

necesidad de no suspender los riegos durante la época de lluvias, ya que estas producen la desorganización del bulbo salino, movilizándolo las sales que estaban en la periferia y en superficie tendiendo a repartirlas en forma homogénea en el suelo, lo que introduce una gran cantidad de sales en la zona del bulbo, donde las raíces se encuentran creciendo bajo un contenido salino menor.

En determinadas condiciones en el riego por surcos puede utilizarse agua salina. Este método requiere altos volúmenes de agua que tienden a aumentar el potencial de agua en el terreno en proximidad del surco y, al mismo tiempo aseguran la lixiviación de una parte del terreno (LOSAVIO, MASTRORILLI y VENTRELLA, 1999). Este sistema junto con el riego por goteo, en contraste con los sistemas de inundación y aspersión aplican el agua solo a una parte de la superficie del terreno; en el riego por surcos, las sales, además de aumentar con la profundidad, se acumulan en las partes del suelo no alcanzadas por el agua (AYERS y WESTCOT, 1987). El riego por goteo a su vez, va originando gradualmente una acumulación de sales en la entrehilera de plantación, producto del movimiento característico del frente húmedo del bulbo de mojamiento (OSORIO y CÉSPED, 2000). GUROVICH (1990) plantea esta situación como una problemática creciente de salinización de los suelos del Valle de Copiapó producto del continuo uso del riego por goteo.

OSORIO y CÉSPED (2000) comprobaron esta situación a nivel de campo, ellos compararon el efecto de tres métodos de riego localizado, línea simple de goteo (4 l/hr), línea doble de goteo (2 l/hr) y lateral simple de microjet (14 l/hr), en la salinidad del perfil del suelo bajo la línea de riego y en la entrehilera, obteniendo para todos los tratamientos diferencias significativas al comparar los promedios de las CE de las distintas estratas analizadas en ambas posiciones (bajo la línea de riego y la entrehilera), excepto en profundidad (estratas 40-60) donde no observan diferencias en los tratamientos de línea simple y línea doble, lo que indicaría, según los autores, que los bulbos de mojamiento presentan un mayor diámetro en profundidad

llegándose a producir un traslape entre ellos, situación que no sucede bajo el sistema de lateral simple de microjet.

OSORIO y CÉSPED (2000) concluyen de su ensayo que, a partir de la segunda temporada de riego, los tratamientos de línea simple y microjet presentan un mejor control de la salinidad en la zona radicular. En lo que se refiere al tratamiento de doble línea de goteo, este provocó un aumento en la CE y en las concentración de los iones Sodio, cloruro y Boro, atribuyendo esta situación a que dicho tratamiento el volumen de agua aplicado fue dividido en dos líneas de aplicación, utilizándose goteros de 2 l/hr, lo que aparentemente no produjo un flujo de agua suficiente para lixiviarlas sales de la zona radicular. Ambos autores no descartan la utilización de este método como alternativa de riego y manejo de sales, siempre y cuando se utilicen mayores volúmenes de agua por volumen de suelo a mojar.

Los métodos por inundación y aspersión se diseñan de forma que se distribuya el agua uniformemente sobre toda el área regada, produciendo un perfil de salinidad en el cual la mayor parte de las sales se acumulan en el sector inferior de la zona radicular (AYERS y WESTCOT, 1987).

FLAGELLA *et al.* (1999) agregan como desventaja del sistema de riego por microaspersión, la presencia de daños foliares causados por la absorción foliar de las sales que se acumulan sobre la hoja con la evaporación del agua. Muchos factores consideran influyentes en la cantidad de sales acumuladas en las hojas, como la edad, forma, ángulo y posición en la planta, tipo y concentración de sales, la temperatura y humedad ambiental, además de propiedades de la superficie foliar como la presencia de una capa cuticular cerosa o de pelos, los cuales limitan la absorción iónica.

### **3. MATERIALES Y MÉTODO**

#### 3.1. Ubicación del ensayo:

El proyecto se desarrolló en el Fundo Patria Vieja Mallarauco S.A., ubicado en la localidad de Mallarauco, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana, propiedad del Sr. Julián Muñoz.

La localidad de Mallarauco limita al norte con las comunas de María Pinto y Curacaví; al sur, con El Monte; al este, con Peñaflor y al oeste, con el poblado de Bollenar. Es un distrito ubicado en una cuenca cerrada producto de la bifurcación de la Cordillera de la Costa, lo que le da la característica de valle protegido con cierta influencia marina, verano cálido e invierno suave.

#### 3.2. Definición del área del proyecto:

##### 3.2.1. Parámetros agroclimáticos

Los parámetros agroclimáticos corresponden a la estadística indicada para la estación Melipilla, siendo esta estación la más próxima a la localidad de Mallarauco. Estos parámetros se muestran en el Cuadro 4.

CUADRO 4. Parámetros agroclimáticos para la estación de Melipilla

Periodo libre de heladas, tiempo medio entre la última helada del año y la primera helada del invierno siguiente (días).	280 <sup>(1)</sup>
Suma térmica septiembre-febrero, acumulación térmica sobre los 10°C expresado en grados días.	1.194 <sup>(1)</sup>
Temperatura máxima media del mes más caluroso (enero), expresado en grados Celsius.	28 <sup>(1)</sup>
Temperatura media octubre a marzo, expresado en grados Celsius.	17.5 <sup>(1)</sup>
Humedad relativa media del aire de octubre a marzo, expresado en porcentaje.	65 <sup>(1)</sup>
Radiación solar de enero. Cal/cm <sup>2</sup> /día.	592 <sup>(1)</sup>
Fecha de la primera helada. Estimación con probabilidad de 20%.	15-05 <sup>(1)</sup>
Fecha de la primera helada. Estimación con probabilidad de 50%.	01-06 <sup>(1)</sup>
Fecha última helada. Estimación con probabilidad 20%.	01-09 <sup>(1)</sup>
Fecha última helada. Estimación con probabilidad 50%.	15-08 <sup>(1)</sup>
Duración del período de receso vegetativo, n° de meses en que la temperatura es inferior a 10°C.	1 <sup>(1)</sup>
Horas de frío anuales, n° total de horas acumuladas durante el año en que la temperatura es menor a 7°C.	781 <sup>(1)</sup>
Temperatura mínima media del mes más frío (julio), expresada en grados Celsius.	5 <sup>(1)</sup>
Temperatura media entre junio-agosto, expresada en grados Celsius.	10.3 <sup>(1)</sup>
Humedad relativa media del aire entre junio-agosto, expresado en porcentaje.	75 <sup>(1)</sup>
Duración del período seco, n° de meses en que las precipitaciones no alcanzan a equiparar el 50% de la pérdida de agua por evapotranspiración potencial.	8 <sup>(1)</sup>
Duración periodo húmedo, n° de meses en que la precipitación es igual o superior a la evapotranspiración potencial.	3 <sup>(1)</sup>
Precipitación promedio anual, expresada en mm	447 <sup>(2)</sup>

Fuente: <sup>(1)</sup> NOVOA, *et al.* (1989).

<sup>(2)</sup> SANTIBÁÑEZ y URIBE (1993).

### 3.2.2. Recurso agua.

El agua utilizada para el riego del predio proviene del río Mapocho, a través del canal Pelvín Norte. Según la clasificación de Laboratorio de Salinidad de U.S.A., son aguas de clasificación C3S1 (Agua altamente salina, baja en contenidos de sodio).

En el Cuadro 5 se muestran los rangos de los parámetros químicos del agua de riego registrados en los últimos cuatro años en Mallarauco durante los meses de octubre a enero.

CUADRO 5. Análisis químico de agua de canal de la zona de Mallarauco.

<b>NUTRIENTE</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>EXPRESIÓN</b>
pH	6,89 - 8,01	
Conductividad eléctrica	1,28 - 1,61	Mmhos/cm.
Calcio soluble	6,74 - 8,68	Meq/l.
Sodio soluble	3,85 - 6,16	Meq/l.
Magnesio soluble	1,82 - 3,57	Meq/l.
Potasio soluble	0,12 - 0,41	Meq/l.
Cloruro soluble	4,24 - 6,85	Meq/l.
Sulfato soluble	1,94 - 6,68	Meq/l.
Bicarbonato soluble	3,84 - 4,16	Meq/l.
Carbonato soluble	No detectable	

Fuente: Laboquim Terra; Agrolab; Pontificia Universidad Católica de Chile, Laboratorio de Suelos.

### 3.2.3. Recurso suelo.

El Cuadro 6 muestra el análisis químico del suelo correspondiente al ensayo realizado a 40 cm de profundidad, clasificándose como un suelo no salino y no sódico.

CUADRO 6. Análisis de suelo a los 40 cm de profundidad, realizado en el sector del ensayo, Fundo Patria Vieja, Mallarauco. 2000.

NUTRIENTE	CONTENIDO	EXPRESIÓN
pH	6,53	
Conductividad eléctrica	2,05	Mmhos/cm.
Calcio	10,65	Meq/l.
Sodio	7,57	Meq/l.
Magnesio	2,99	Meq/l.
Potasio	0,74	Meq/l.
Cloruro	6,77	Meq/l.
Sulfato	16,00	Meq/l.
Bicarbonato soluble	0,30	Meq/l.
Carbonato soluble	No detectable	
RAS	2,91	
PSI	3,02	%

FUENTE: Laboquim Terra.

### 3.3. Material vegetal:

El ensayo se realizó sobre paltos (*Persea americana* Mill.) cv Hass sobre patrón Mexícola, plantados el año 1995 a una distancia de 6 x 5 m en camellones de 80 cm de altura y 3 m de ancho, con una densidad total de 333 plantas/ha, regadas por un sistema de microaspersión, con un microaspersor por planta de un gasto aforado de 481/hr. En los anexos 4 y 5, se muestra la producción y la distribución de calibre de la temporada 99/00.

Para la elección de los árboles a utilizar, se procedió a elegir 10 grupos de cinco árboles contiguos, homogéneos en cuanto a vigor, tamaño y sanidad, eliminándose tres árboles del inicio y final de cada hilera de manera de descartar el efecto borde.

### 3.4. Descripción del ensayo:

El ensayo consiste en dos tratamientos de sistemas de riego presurizado, goteo y microchorro; con cinco repeticiones cada uno de los tratamientos, y cada repetición formada por grupos de cinco árboles.

En ambos sistemas de riego, se igualó la precipitación por planta a 48 l/hr, para lo cual se procedió a calcular las necesidades tanto en número como distancia entre emisores de goteros y microchorro, de manera de mantener la precipitación por planta del sistema de riego original.

#### 3.4.1. Tratamientos realizados.

**T<sub>1</sub>:** Sistema de riego con doble línea de goteo. Goteros de 4 l/hr, distribuidos a 83 cm entre ellos, dando un total de 6 goteros/línea y, por consiguiente, 12 goteros/planta con un aporte total de 48 l/hr Separación entre las líneas: 1,2 m, aproximadamente.

**T<sub>2</sub>:** Sistema de riego por microchorro. Microchorros de 24 l/hr de 2,5 m de diámetro de mojamiento en 360°, distribuidos a 1,2 m de cada lado del tronco, teniendo un total de dos microchorros/planta con un aporte total de 48 l/hr.

### 3.4.2. Manejo del riego en el ensayo

Para el cálculo del tiempo de riego, se utilizó la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{E_b \times K_c \times K_b \times S}{E_r \times P_p}$$

donde:

**TR**= Tiempo de riego (en horas)

$E_b$  = Evaporación de bandeja Clase A (mm)

$K_c$  = Coeficiente del cultivo

$K_b$  = Coeficiente de bandeja

$S$  = Factor de salinidad

$E_r$  = Eficiencia del sistema

$P_p$  = Precipitación del sistema

En los Anexos 6 y 7, se muestran los  $E_b$ ,  $K_c$ ,  $K_b$ ,  $S$ ,  $E_r$ ,  $P_p$  y el programa semanal de riego de la temporada 2000.

### 3.5. Variables analizadas:

Las variables analizadas en el ensayo corresponden a parámetros con respecto al contenido salino de la solución del suelo y parámetros del crecimiento vegetativo y reproductivo del palto.

#### 3.5.1. Salinidad del suelo

Para la obtención de muestras de la solución del suelo, se instalaron un total de 20 baterías de extractómetros IRROMETER a los 30 y 60 cm de profundidad (Anexo 1). Se colocaron dos baterías de extractómetros entre los árboles centrales de cada repetición de ambos tratamientos. Los extractómetros se instalaron a 10 cm de distancia del microchorro y bajo el gotero, a 30 y 60 cm de profundidad; para ello se efectuaron agujeros con un barreno a las profundidades deseadas, se introdujo la sonda hasta el fondo, cerciorándose de que no quedaran bolsas de aire debajo de la cápsula porosa, para luego apretar con los dedos en torno a la sonda hasta conseguir un buen contacto del suelo con ésta. Una vez instalados, el protocolo a seguir para la obtención de la muestra consistió en conectar una jeringa de 60 ml con el objeto de hacer vacío al interior del extractómetro, paso que se repitió 2-3 veces de manera de lograr el vacío completo. Una vez efectuado dicho vacío, se cerró la entrada de la sonda con un *clip* de manera de evitar el paso de aire al interior de esta. Al momento de la extracción de la muestra, se procedió a conectar la jeringa, abrir el clip y succionar, extrayendo un volumen aproximado de 100-120 ml de agua, cantidad suficiente para efectuar el análisis en el laboratorio de las sales contenidas en la solución del suelo evaluadas en el ensayo.

Previo a la instalación en campo de los extractómetros, estos fueron sometidos a un acondicionamiento, que consistió en dejarlos sumergidos durante 12 horas en Ácido Clorhídrico (HCl 1N) de manera de reducir la contaminación de Sodio, Potasio y

Calcio de la cápsula porosa, además de disminuir la adsorción de fósforo, problemas que podrían interferir en el análisis de la muestra (GROVER y LAMBORN, 1970). Posteriormente, se procedió a verificar el funcionamiento de los extractómetros, dejándolos sumergidos en una solución conocida y posteriormente analizando y comparando los pH y contenidos de cloruro y Sodio de la solución externa y la extraída por las sondas, eliminándose aquellos en que la variación sobrepasó al 15%.

El análisis de las muestras se realizó el mismo día de la toma de muestra de manera de evitar interferencias en la medición.

Las variables medidas de las soluciones de suelo extraídas a distintas profundidades por los extractómetros, fueron las siguientes:

#### 3.5.1.1. Conductividad eléctrica

Se midió la conductividad eléctrica de cada muestra de solución de suelo tomada por las 20 baterías de extractómetros con un conductivímetro WTW LF 330 cuya unidad de medida es (us/cm. La medición se realizó cada 15 días a partir del día 12 de octubre 2000 hasta el día 29 de enero de 2001 y se comparó en forma porcentual los contenidos iniciales y finales.

#### 3.5.1.2. Cloruro

Se midió el contenido de cloruros de cada muestra de solución de suelo tomada por las 20 baterías de extractómetros con el *Test* Cloruro Aquamerck 1.11106 del laboratorio MERCK, cuyo rango de medición es de 2-200 mg/l de Cl". El *test* consiste en un método volumétrico que permite la determinación del contenido de iones cloruro por medio de la valoración mercurimétrica con Nitrato de Mercurio. La medición se realizó cada 15 días a partir del día 12 de octubre de 2000 hasta el día 29 de enero de 2001 y se comparó en forma porcentual los contenidos iniciales y finales.

#### 3.5.1.3. Sodio

Se midió el contenido de sodio de cada muestra de solución de suelo tomada por las 20 baterías de extractómetros. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio Laboquim Terra utilizando un fotómetro de llama. Las mediciones se realizaron cada 15 días, a partir del día 12 de octubre de 2000 hasta el día 29 de enero 2001 y se comparó en forma porcentual los contenidos de la fecha final con respecto de la inicial.

#### 3.5.1.4. Sulfato

Se midió el contenido de sulfates de cada muestra de solución de suelo tomada por las 20 baterías de extractómetros con el Test de celda Spectroquant 1.14564.0001 del laboratorio MERCK, cuyo rango de medición es de 100-1.000 mg/1 de  $\text{SO}_4^{2-}$ . El *test* consiste en un método fotométrico basado en el principio que en solución acuosa los iones sulfato forman con los iones bario sulfato bórico difícilmente soluble. La turbidez que así se produce se mide en el fotómetro; para el ensayo se utilizó un equipo MERCK, NOVA 60. Las mediciones se realizaron cada 15 días, a partir del día 7 de noviembre 2000 hasta el día 29 de enero de 2001 y se comparó en forma porcentual los contenidos de la fecha final con respecto a la inicial.

### 3.5.2. Crecimiento vegetativo.

#### 3.5.2.1. Intensidad de daño por sales en hojas:

Se caracterizó la intensidad del daño foliar causado por la acumulación de sales en las hojas del crecimiento de verano-otoño del 2000. Para ello, en el mes de noviembre 2000 se tomó 10 hojas de la parte media de ramillas de verano-otoño del 2000 por árbol de cada repetición y se sometieron a la escala descriptiva de sintomatologías

\* SAAVEDRA y ALCALDE (1987). modificada por el autor.

causadas por *stress* salino que se muestra en el Cuadro 7. La Figura 3 muestra la sintomatología visual correspondiente a cada grado de daño descrito en el Cuadro 4.

CUADRO 7. Escala descriptiva de la sintomatología visual causada por “*stress* salino” en palto.

Grado de daño	Descripción
0 Ausente	Hojas verde normal
1 Leve	Hojas verde normal con un máximo de necrosis apical de 1 cm y/o con un máximo de clorosis intervenal distribuida hacia los bordes que cubre el primer cuarto de la hoja.
2 Moderado	Hoja verde normal con un máximo de necrosis apical de 2 cm que se extiende hacia los márgenes hasta el primer cuarto de la lámina. Clorosis intervenal distribuida hacia los bordes cubriendo la mitad de la lámina foliar.
3 Fuerte	Hojas con necrosis apical y marginal que cubre la mitad de la lámina foliar. Clorosis intervenal cubriendo las tres cuartas partes de la hoja.
4 Severo	Hojas con necrosis apical y marginal que cubre las tres cuartas partes de la lámina foliar. Clorosis intervenal generalizada sin llegar al haz vascular principal.

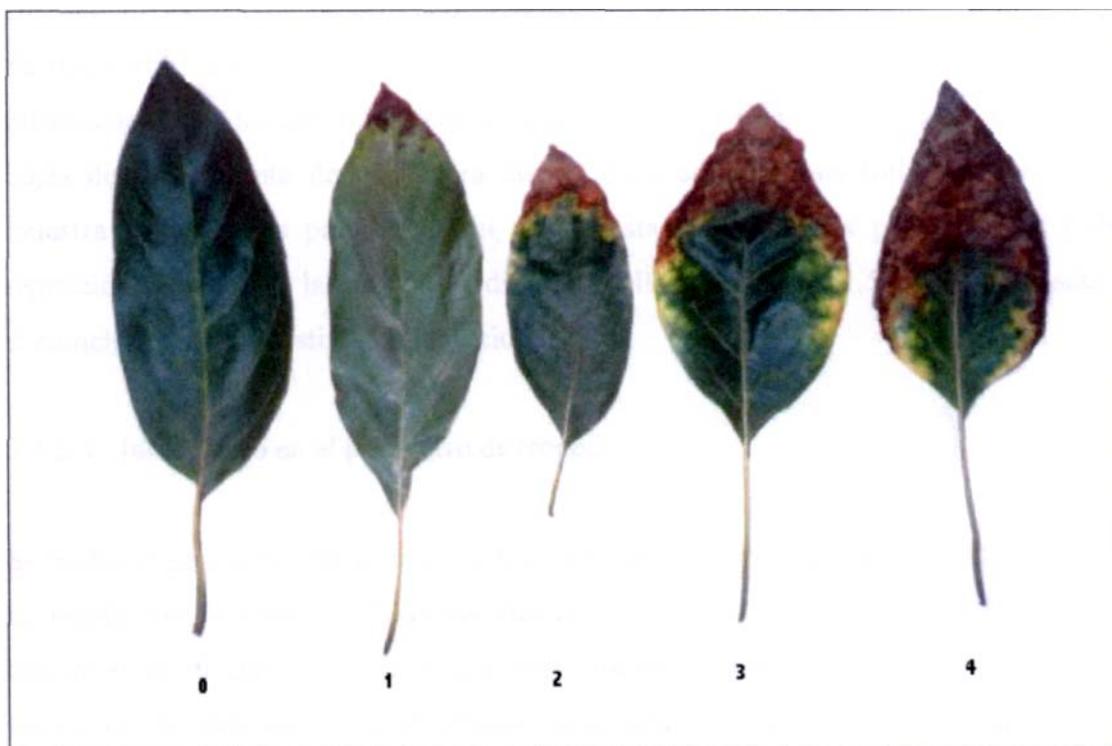


FIGURA 3. Escala visual de sintomatología de daño foliar causado por *stress* salino en hojas de verano – otoño 2000 de palto cv Hass, muestreadas en noviembre en la zona de Malla-rauco, 2000.

### 3.5.2.2. Contenido de sales en las hojas

Se midió el contenido foliar de sales, tanto de cloruro y de Sodio, de hojas del crecimiento de verano-otoño 2000 y hojas del crecimiento de primavera del 2000. Se realizaron en el mes de noviembre 2000 y en el mes de enero 2000, análisis foliares de hojas del crecimiento de verano-otoño 2000 y en el mes de enero 2000 de hojas del crecimiento de primavera 2000. Para cada análisis foliar, se tomó una muestra de 50 hojas por repetición, compuesta por 10 hojas por árbol de cada repetición tomadas de la porción media de ramillas ubicadas a 1,5 m de altura sobre el camellón y en las distintas orientaciones.

### 3.5.2.3. Incremento en el perímetro de tronco

Se midió el perímetro del tronco a los 15 cm sobre la unión del patrón y la variedad utilizando una huincha de 150 cm graduada en cm. Se realizó una medición inicial y otra final en el ensayo, determinándose el incremento en el diámetro del tronco a través de la diferencia entre ambas mediciones. La variable se expresó en centímetros.

### 3.5.2.4. Tasa de crecimiento de ramillas (crecimiento de primavera)

Se midió el crecimiento del brote de primavera del 2000, para lo cual se eligieron dos árboles de alta producción en la temporada 99/00 por repetición y se marcaron dos puntos de crecimiento por cada orientación a 1,5 m de altura sobre el camellón. El largo del brote se midió con una regla graduada en mm, con una frecuencia de 15 días, a partir del 12 de octubre de 2000. La variable se expresó en centímetros y se analizó como largo final.

### 3.5.3. Crecimiento reproductivo

#### 3.5.3.1. Retención de frutos:

Se midió la retención de frutos dentro de un cuadrante de un m<sup>2</sup> por cada orientación, para lo cual se eligieron dos árboles de baja producción en la temporada 99/00 por repetición. El conteo de frutos cuajados se realizó con una frecuencia de 15 días, a partir del mes de noviembre 2000 hasta el mes de enero 2001.

### 3.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de las variables incremento del perímetro de tronco, crecimiento de ramilla, contenido de Sodio y cloruro foliar, retención de frutos, concentración de cloruro, Sodio, sulfato y conductividad eléctrica de la solución del suelo, se utilizó un Modelo Completo al Azar, considerando un error del 5 %.

Para la variable daño foliar, se aplicó el *Test* No Paramétrico de Kruskal Wallis.

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Efecto del sistema de riego sobre conductividad eléctrica de la solución del suelo:

Al comparar el porcentaje de variación entre la medición final e inicial del ensayo, no se observaron diferencias significativas del sistema de riego sobre la conductividad eléctrica a los 30 y 60 cm de profundidad (Cuadro 8), situación que se mantuvo a través del tiempo de medición, como lo muestra la Figura 4. En el Anexo 10 se muestra la conductividad eléctrica de la solución del suelo medida en las distintas fechas de muestreo.

CUADRO 8. Efecto del riego doble línea de goteros y microchorro sobre la conductividad eléctrica de la solución del suelo, medida a los 30 y 60 cm de profundidad, expresado en porcentaje de variación entre la medición final e inicial, en paltos cv Hass. Mallarauco 2000.

TRATAMIENTO		C.E. (%)
Riego doble línea de goteros	30 cm	5,90 a
	60 cm	- 8,47 a
Riego microchorro	30 cm	7,15 a
	60 cm	- 7,24 a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados podrían atribuirse a un adecuado lavado de sales en profundidad bajo los puntos de medición, producto de las fuertes precipitaciones invernales (CALIANDRO, 1999 y DASBERG *et al.*, 1991) de la temporada 2000/2001 cercanas a los 540 mm (Anexo 8), equivalentes a un 53% sobre el promedio de los últimos ocho años, situación que sumada a la mejor calidad del agua de riego de la temporada (Anexo 9), principal causa de salinización de los suelos (CALIANDRO, CANTORE y MUSACCHI, 2000; RAZETO, 1999; CARRASCO, 1991; ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954; TARANTINO y PERNIOLA, s.f), producto de la mayor

pluviometría anual y mayor acumulación de nieve en la cordillera y posterior deshielo en la época primaveral (VOGEL, 1985), podría haber significado que durante el tiempo de medición no se hubiese producido una acumulación suficiente de sales en el perfil del suelo (GARDIZÁBAL, 2001\* y LJUBETIC, 2001 \*).

El hecho que no se haya logrado una distribución característica de lavado de sales en el perfil del suelo como la planteada por LOSAVIO, MASTRORILLI y VENTRELLA (1999) y AYERS y WESCOT (1987) para los distintos sistemas de riego, concuerdan con lo señalado por OSORIO y CÉSPED (2000) quienes para un primer año de ensayo utilizando línea simple, doble línea de gotero y microjet en uva de mesa en la zona de Copiapó, no observaron diferencias en la distribución de los contenidos salinos del perfil del suelo.

Al observar la evolución de la conductividad eléctrica (Figura 4), se aprecia una disminución cercana al 20 % entre el período del 12-oct al 24-oct, que podría deberse al aumento del volumen de agua aportado durante el período en que los árboles se encontraban en floración, que habría contribuido a lavar en profundidad las sales presentes (MEDINA, 1988; VERMEIREN y JOBLING, 1986). Por otra parte, a partir de mediados de diciembre, se observa un incremento continuo de la conductividad en la solución del suelo, probablemente como consecuencia del aumento en la conductividad del agua de riego (Anexo?) durante ese período.

---

\* GARDIAZÁBAL. F. Ing. Agr. 2001. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

\* LJUBETIC. D. Ing. Agr. 2001. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

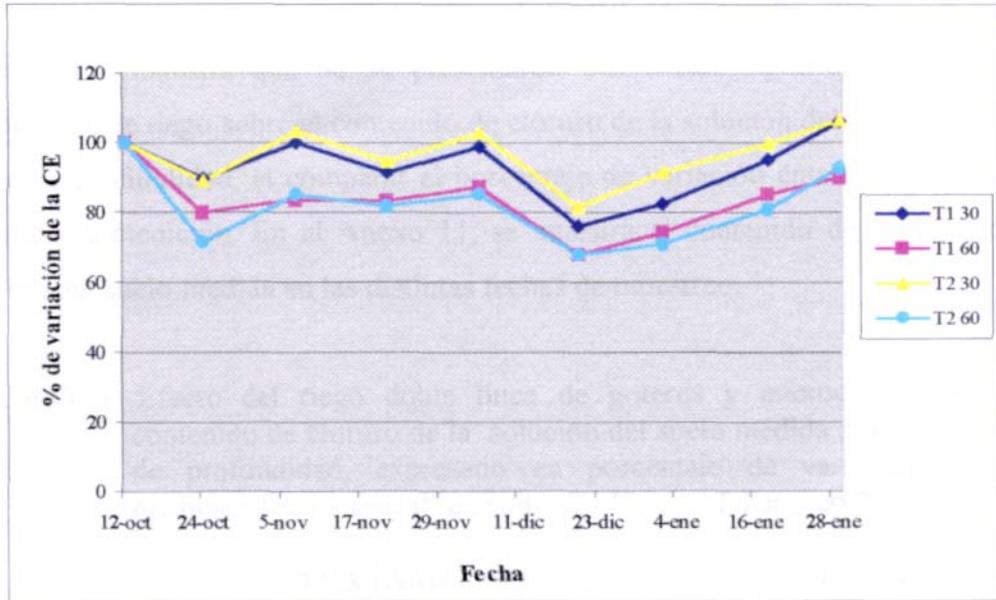


FIGURA 4. Evolución de la conductividad eléctrica de la solución del suelo expresada en porcentaje a través del tiempo, medida a los 30 y 60 cm de profundidad bajo dos sistemas de riego, doble línea de gotero (T1) y microchorro (T2), en paltos cv Hass. Mallarauco 2000.

#### 4.2. Efecto del sistema de riego sobre el contenido de cloruros de la solución del suelo:

El Cuadro 9 muestra que no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de riego sobre el contenido de cloruro de la solución del suelo a los 30 y 60 cm de profundidad, al comparar el porcentaje de variación entre la fecha final e inicial de la medición. En el Anexo 11, se muestra el contenido de cloruros de la solución del suelo medida en las distintas fechas de muestreo.

CUADRO 9. Efecto del riego doble línea de goteros y microchorro, sobre el contenido de cloruro de la solución del suelo medida a los 30 y 60 cm de profundidad, expresado en porcentaje de variación entre la medición final e inicial, en paltos cv Hass. Mallarauco 2000.

TRATAMIENTO		Cl <sup>-</sup> (%)
Riego doble línea de goteros	30 cm	- 25,61 a
	60 cm	- 34,43 a
Riego microchorro	30 cm	- 25,44 a
	60 cm	- 24,97 a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados podrían explicarse probablemente por los bajos y homogéneos niveles de cloruros en el perfil del suelo que habrían existido a inicio de temporada, producto de las lluvias invernales de la temporada 2000 que excedieron en un 53% al promedio de los últimos ocho años (Anexo 8), las que habrían permitido lavar en profundidad las sales presentes en el perfil del suelo (CALIANDRÓ, 1999 y DASBERG *et al.*, 1991). Además, debido posiblemente a la ausencia de acumulación de cloruro en el perfil del suelo durante el período de medición que se podría atribuir a que el ion cloruro, al ser el principal ion presente en las sales de los suelos y aguas salinas (CARRASCO, 1991, HONORATO, 1993 y PIZARRO, 1996) de Mallarauco, presentaría un comportamiento similar a la conductividad eléctrica del agua de riego la que, como se explicó anteriormente, fue menor que en relación a

años anteriores (Anexo 9), razón por la cual difícilmente podría haberse acumulado en el suelo, más aun considerando que este ion no es retenido por las partículas del suelo (HEREDIA, 1999), es muy soluble y no presenta reacciones de precipitación ni solubilización (OSORIO y CÉSPED, 2000).

Al comparar la evolución del contenido de cloruros en el suelo (Figura 5) con la gráfica que muestra la conductividad eléctrica en la solución del suelo a través de la temporada de medición (Figura 4), se aprecia que existe una gran similitud en su comportamiento, lo que estaría demostrando que la salinidad de este suelo está altamente correlacionada con el contenido total de cloruro. Y dada esta situación, las fluctuaciones de los contenidos de cloruros en el tiempo, observadas en forma similar para la CE, serían consecuencia posiblemente del aumento del volumen de agua aportado (MEDINA, 1988; VERMEIREN y JOBLING, 1986) en el período entre el 12-oct y 24-oct en que el árbol está en floración, y durante el período de alta tasa de crecimiento de los frutos (a partir de mediados de diciembre) período en que los niveles de cloruros se mantuvieron cercanos al 40 % bajo el nivel inicial, porcentaje que fue disminuyendo posiblemente por el aumento de la conductividad eléctrica del agua de riego a partir del mes de diciembre (Anexo 9).

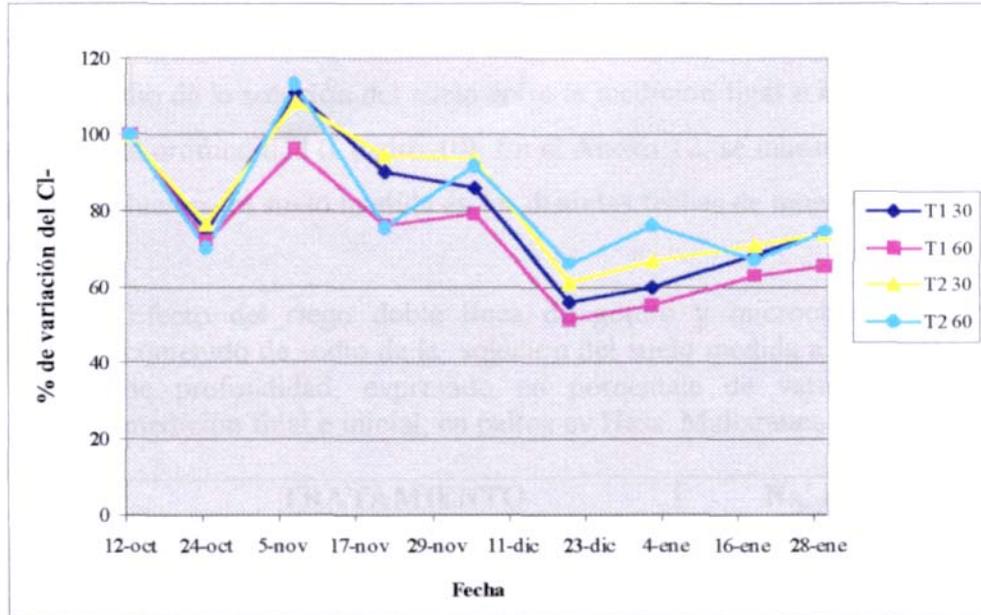


FIGURA 5. Evolución del contenido de cloruros de la solución del suelo expresado en porcentaje a través del tiempo, medida a los 30 y 60 cm de profundidad bajo dos sistemas de riego, doble línea de gotero (T1) y microchorro (T2). Mallarauco 2000.

#### 4.3. Efecto del sistema de riego sobre el contenido de Sodio de la solución del suelo:

No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de variación del contenido de Sodio de la solución del suelo entre la medición final e inicial medida a los 30 y 60 cm de profundidad (Cuadro 10). En el Anexo 12, se muestra el contenido de sodio de la solución del suelo medida en las distintas fechas de muestreo.

CUADRO 10. Efecto del riego doble línea de gotero y microchorro, sobre el contenido de sodio de la solución del suelo medida a los 30 y 60 cm de profundidad, expresado en porcentaje de variación entre la medición final e inicial, en paltos cv Hass. Mallarauco 2000.

TRATAMIENTO		Na <sup>+</sup> (%)
Riego doble línea de goteros	30 cm	- 15,86 a
	60 cm	- 26,78 a
Riego microchorro	30 cm	- 11,38 a
	60 cm	- 26,31 a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados podrían atribuirse a que no se habría acumulado una cantidad de sodio en el perfil del suelo que pudiese reflejar diferencias entre los dos sistemas de riego, considerando que a inicios del ensayo, el suelo tenía un PSI de 3,02 y por lo tanto era un suelo no-sódico (Cuadro 6), de acuerdo a la clasificación de suelos de U.S. Salinity Laboratory que caracteriza a un suelo sódico cuando el PSI supera al 15 % (WILD, 1992; CARRASCO, 1991; ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954; RUSSEL *et al*, 1954); continuando durante el ensayo con un bajo aporte de sodio producto a la utilización de agua de riego clasificadas dentro del límite inferior de la categoría de aguas con riesgo medio (Anexo 9) al que pertenecen aguas con una CE entre 0,75-3 mmhos/cm (CARRASCO, 1991; AYERS y WESCOT, 1987 y VERMEIREN y JOBLING, 1986), lo cual explicaría que durante el periodo de medición no habrían aumentado los niveles de sodio

Además, estos resultados podrían explicarse, debido al corto período de funcionamiento del ensayo, requiriéndose más de una temporada completa de riego para poder observar entre los sistemas de riego diferencias claras en los patrones de acumulación de sales en el perfil de suelo (CAUTÍN, 2001\*; GARDIAZÁBAL, 2001\*, OSORIO y CÉSPED, 2000 ).

Se puede apreciar en las Figura 6 que la curva del contenido de sodio en la solución del suelo en el tiempo no presenta un patrón gráfico similar al obtenido con la conductividad eléctrica (Figura 4), situación que no concuerda con lo señalado por OSORIO y CÉSPED (2000) quienes, en un ensayo realizado en Copiapó, encontraron una mayor correlación del Sodio con la salinidad total de suelo (CE) que de esta última con los iones cloruro, como se observó para las condiciones de Mollerauco, debido a que el principal ion en aguas y suelos de la zona de Copiapó es el Sodio.

El comportamiento general de la curva de la concentración de Sodio en la solución del suelo, podría explicarse en forma similar a como se describió para la conductividad eléctrica y el contenido de cloruros.

---

\* CAUTÍN. R. 2001. Ing. Agr. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

\* GARDIAZÁBAL. F. 2001. Ing. Agr. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

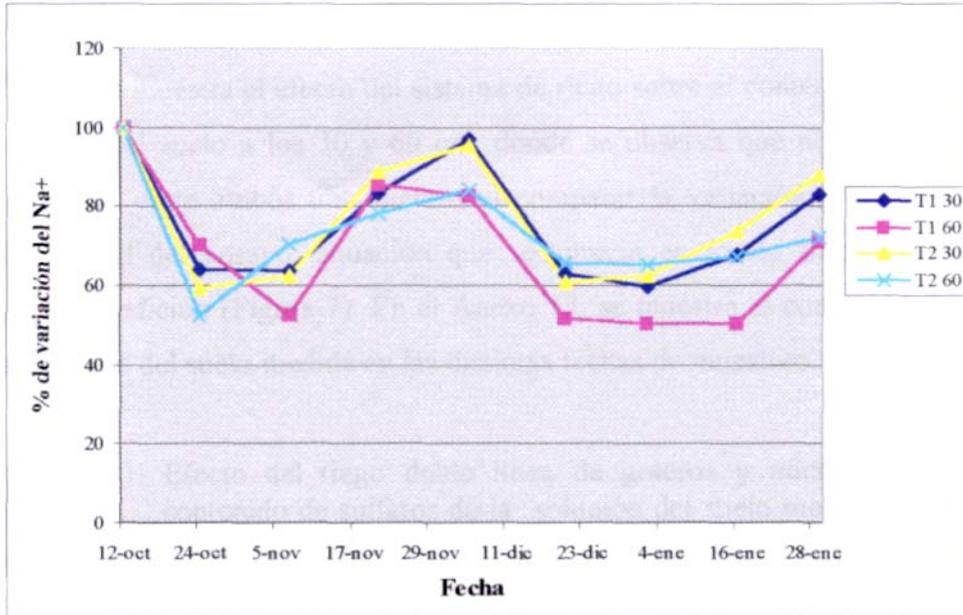


FIGURA 6. Evolución del contenido de Sodio de la solución del suelo expresado en porcentaje a través del tiempo, medida a los 30 y 60 cm de profundidad bajo dos sistemas de riego, doble línea de gotero (T1) y microchorro (T2). Mallarauco 2000.

#### 4.4. Efecto del sistema de riego sobre el contenido de sulfatos en la solución del suelo:

El Cuadro 11 muestra el efecto del sistema de riego sobre el contenido de sulfatos de la solución del suelo a los 30 y 60 cm, donde se observa que no hubo diferencias significativas entre ambos tratamientos al comparar la variación entre el contenido final e inicial del ensayo, situación que se aprecia en forma similar a través del tiempo de medición (Figura 7). En el Anexo 13, se muestra el contenido de sulfatos de la solución del suelo medida en las distintas fechas de muestreo.

CUADRO 11. Efecto del riego doble línea de goteros y microchorro, sobre el contenido de sulfatos de la solución del suelo medida a los 30 y 60 cm de profundidad, expresado en porcentaje de variación entre la medición final e inicial, en paltos cv Hass. Mallarauco 2000.

TRATAMIENTO		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)
Riego doble línea de goteros	30 cm	28,91 a
	60 cm	22,69 a
Riego microchorro	30 cm	3,36 a
	60 cm	35,14 a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados se podrían explicar, debido a la escasa acumulación del ion sulfato en el perfil del suelo como consecuencia de un año en que las precipitaciones excedieron notablemente el promedio de los últimos ocho años (Anexo 8), lo que habría permitido, producto del lavado en profundidad del ion (CALIANDRO, 1999 y DASBERG *et al.*, 1991), comenzar la temporada de riego con una baja concentración de sulfatos en el suelo, manteniéndola en esa condición durante el tiempo del ensayo, producto de la utilización de aguas de buena calidad (Anexo 9).

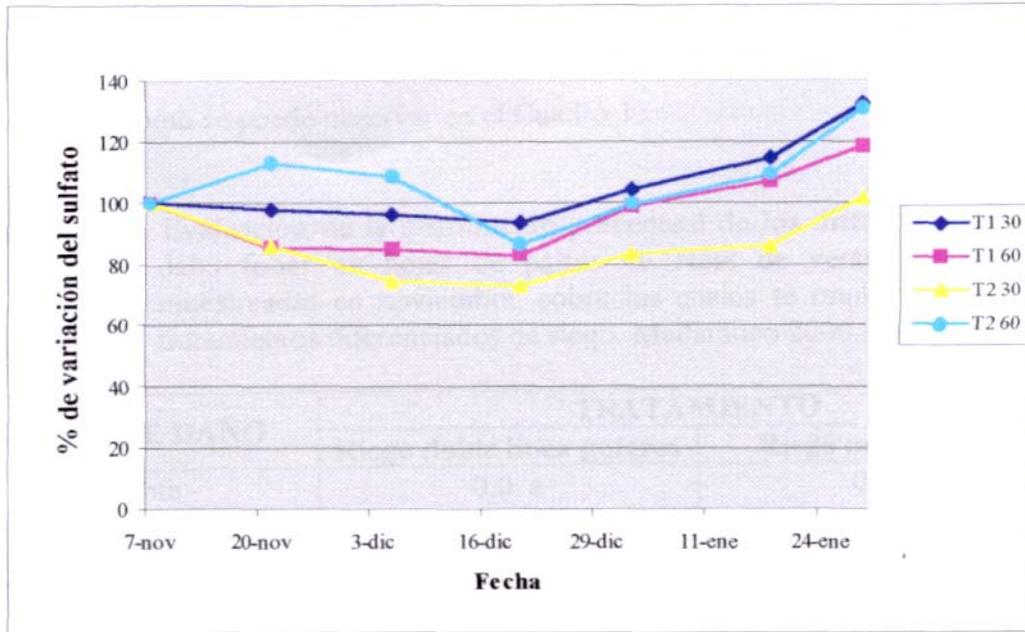


FIGURA 7. Evolución del contenido de sulfatos de la solución del suelo expresado en porcentaje a través del tiempo, medida a los 30 y 60 cm de profundidad bajo dos sistemas de riego, doble línea de gotero (T1) y microchorro (T2). Mallarauco 2000.

#### 4.5. Evaluación del daño foliar causado por sales:

El grado de daño foliar por sales no mostró diferencias significativas entre los dos tratamientos, como se puede observar en el Cuadro 13.

CUADRO 13. Evaluación de la distribución porcentual de los distintos grados de daño foliar en hojas de paltos cv Hass de verano-otoño 2000 muestreadas en noviembre, sobre los cuales se implementaron dos tratamientos diferenciados de riego. Mallarauco 2000.

GRADO DE DAÑO	TRATAMIENTO	
	Riego doble línea goteros	Riego microchorro
Ausente	0,0 a	0,0 a
Leve	0,4 b	0,8 b
Moderado	37,2 c	31,2 c
Fuerte	56,4 d	62,4 d
Severo	6,0 e	5,6 e

Letras iguales para una misma fila indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados podrían deberse a que durante los meses de verano del 2000, época en la cual, por efecto de una alta tasa evapotranspirativa, existe una mayor acumulación de sales en las hojas (PIZARRO, 1996; AYERS y WESCOT, 1987), aun no existía efecto de los tratamientos, dada esta situación no habría habido diferencia en el contenido salino de la solución del suelo, por lo que cada árbol habría estado sometido a similar condición salina, la que posiblemente al disminuir la frecuencia de riego se fue incrementando en el período de otoño producto de la ascensión de sales por capilaridad hacia la superficie como consecuencia de la menor humedad de las estratas superiores (GARDIAZÁBAL, 2000; CALIANDRO, CANTORE y MUSACCHI, 2000; RUIZ, 1984; ALLISON, BROWN y HAYWARD, 1954) zona donde se encuentra la mayor concentración de raíces y, por ende, la mayor absorción de agua y nutrientes (GARDIAZÁBAL, 1998a; SHALHEVET *et al.*, 1981, citado por

BOZZOLO, 1993; WHILEY, 1990 y GREGORIOU, 1980). Una vez instalados los tratamientos, producto de las precipitaciones invernales (Anexo 9), las sales del suelo fueron lavadas en profundidad (CALIANDRO, 1999 y DASBERG *et al.*, 1991), por lo que durante esta época previa al inicio de la temporada de riego el contenido salino al cual estaban sometidos los árboles era muy bajo y homogéneo entre ellos, lo que significaría que la absorción de iones como el cloruro era baja.

Una vez iniciada la temporada de riego, al existir una condición similar en el contenido de cloruro de la solución del suelo entre los tratamientos (Figura 8), producto de la ausencia de acumulación del ion en el suelo, como consecuencia de la utilización de aguas de buena calidad que caracterizó este año, no habría existido una absorción de sales diferenciada por los árboles de los distintos tratamientos, lo que llevaría a suponer que al existir una alta correlación entre el contenido de cloruro de la solución del suelo con la acumulación de cloruro foliar (BENAVIDES, 1996 y DOWTON, 1978) y esta última, a su vez, una alta relación con el daño foliar (KADMAN, 1964), no se evidenciarían diferencias en las quemaduras de las hojas entre ambos tratamientos.

En el Cuadro 13, se observa que el grado de daño fuerte se presentó en el mayor porcentaje de las hojas de ambos tratamientos y en menos del 1 % de las hojas, se observó un grado de daño ausente o leve, esta situación junto con la concentración de cloruro foliar cercanas a los 0,60 % (Cuadro 14) obtenidas en igual fecha de muestreo que el daño foliar, concuerda con lo planteado por JONES y EMBLETON (1978) citado por MENDOZA (2000) quienes señalan como nivel foliar crítico de cloruro para el palto un 0,25 % con respecto al peso seco de la hoja, coincidiendo también con los estudios realizados por CALÁBRESE (1992); BINGHAM, FENN y OERTLI (1968); AYERS, ALDRICH y COONY (1951) quienes observaron daños de quemaduras foliar con niveles sobre 0,45 % de cloruro con respecto al peso seco de la hoja. El bajo porcentaje de hojas con un grado de daño leve y la inexistencia de hojas

sin daño, en hojas con un contenido promedio cercano a los 0,60% de cloruro podrían confirmar la teoría de LAÜCHI y EPSTEIN (1984), citado por BENAVIDES (1996), quienes afirman que el mecanismo de compartimentalización a nivel celular por medio de la formación de vacuolas están mal desarrollados en el palto, provocando problemas de toxicidad por la absorción de sales al interior de la planta.

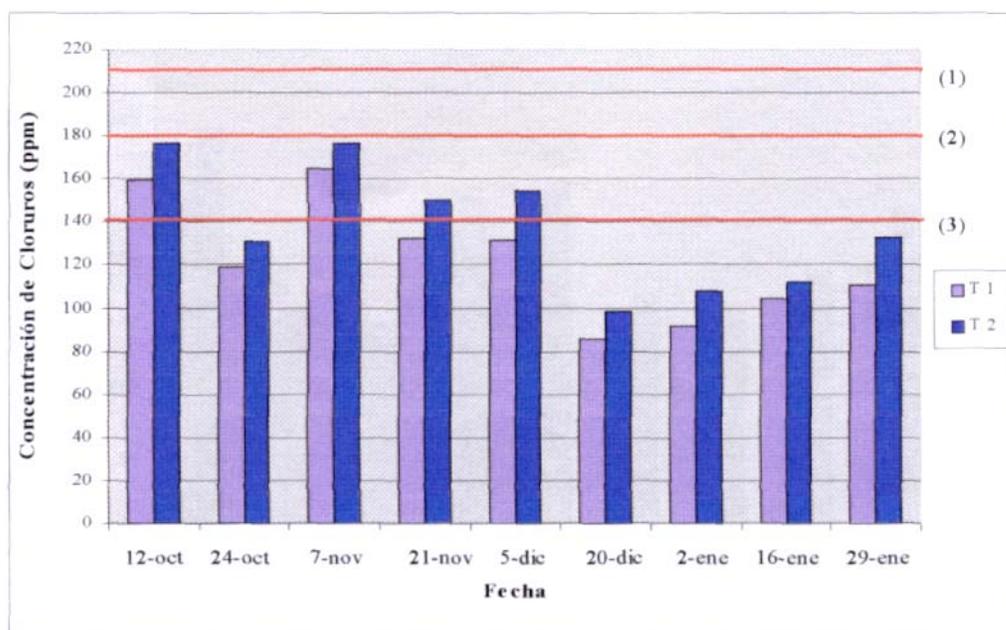


FIGURA 8. Concentración de cloruros en la solución del suelo promedio, de los 30 y 60 cm de profundidad, bajo dos sistemas de riego, doble línea de gotero (T1) y microchorro (T2), según tres niveles de tolerancia del palto (raza mexicana) a la concentración de cloruro (1) GALÁN (1990); (2) AYERS y WESCOT (1987); (3) ALARCÓN (1999). Mallarauco 2000.

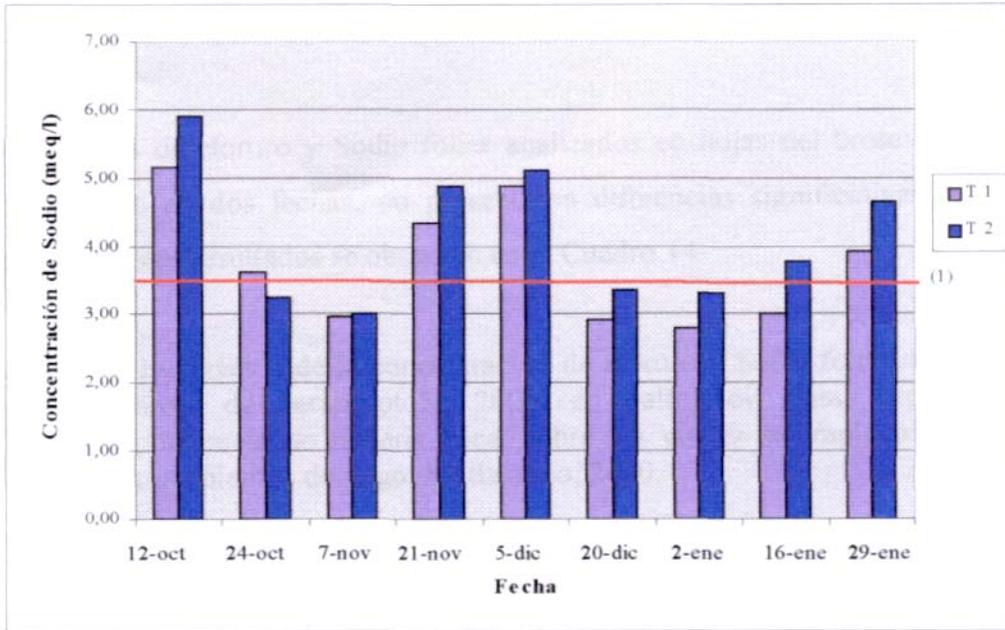


FIGURA 9. Concentración de sodio en la solución del suelo promedio, de los 30 y 60 cm de profundidad, bajo dos sistemas de riego, doble línea de gotero (T1) y microchorro (T2), según el nivel de tolerancia del palto (raza mexicana) a la concentración de sodio (1) AYERS y WESCOT (1987). Mallarauco 2000.

4.6. Evaluación del contenido de cloruro y Sodio foliar en hojas de verano-otoño del 2000:

Los contenidos de cloruro y Sodio foliar analizados en hojas del brote de verano-otoño del 2000 en dos fechas, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Estos resultados se observan en el Cuadro 14.

CUADRO 14. Evaluación de la concentración de cloruro y Sodio foliar de hojas del brote de verano-otoño 2000, en paltos cv Hass, expresado en porcentaje de materia seca, sobre los cuales se implementaron dos tratamientos de riego. Mallarauco, 2000.

TRATAMIENTO	% Cloruro		% Sodio	
	8/11/2000	18/01/01	8/11/00	8/01/01
Riego doble línea de gotero	0.59 a	0.72 a	0.02 a	0.02 a
Riego microchorro	0.60 a	0.78 a	0.02 a	0.03 a

Letras iguales para una misma columna indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados, considerando que la absorción y posterior acumulación de cloruros en hojas maduras está correlacionada con la concentración de cloruro en el sustrato como lo plantean BENAVIDES (1996) y DOWTON (1978), se podrían atribuir a que durante el período de verano-otoño del 2000, periodo de mayor acumulación de sales a nivel foliar producto de la mayor tasa evapotranspirativa (PIZARRO, 1996; AYERS y WESCOT, 1987), aun no se instalaba los tratamientos, por lo cual todos los árboles tenían una condición salina en el suelo similar, situación que se mantuvo una vez instalado los tratamientos, como se muestra en la Figura 8, donde se observa una concentración de cloruros semejante en la solución del suelo dentro de los 60 cm, zona en donde se concentra la mayor densidad de raíces (GARDIAZÁBAL, 1998a; UGARTE, 1996; SALAZAR y CORTEZ, 1986) y donde, además, se produce cerca del 99% de la absorción del agua.

En el caso de Sodio, la situación podría ser más atribuible a que el ión al no moverse rápidamente desde las raíces hacia las hojas siendo acumulado a nivel de raíz hasta alcanzar niveles críticos (CALÁBRESE, 1992; BINGHAM y NELSON, 1971 y KADMAN, 1964), los contenidos foliares no muestran una relación con los contenidos de Sodio del sustrato como lo plantea ALLISON, BROWN y HAYWARD(1954).

En el Cuadro 14, se puede observar que el cloruro foliar aumentó en el tiempo, lo que podría significar que bajo condiciones de 80-150 ppm de cloruros en la solución del suelo, las hojas maduras aún siguen acumulando cloruros hasta su senescencia y posterior caída, lo cual podría explicar la abscisión foliar durante el transcurso de tiempo entre ambas fechas de muestreos, situación observada por BENAVIDES (1998) y SAAVEDRA Y ALCALDE (1987) quienes relacionan la abscisión prematura de hojas maduras necrosadas con un mecanismo de expulsión masiva de sales adoptado por el palto ante niveles de cloruro foliar excesivos sobre el umbral.

El aumento en el tiempo del contenido de cloruro en las hojas (Cuadro 14), junto con una disminución de la concentración de cloruros en el sustrato (Figura 8), no concuerda con lo descrito por BINGHAM, FENN y OERTLI (1968) quienes señalan que la tasa de acumulación en las hojas es inicialmente rápida hasta alcanzar un valor característico, proporcional a la concentración de cloruros del sustrato y solo si aumenta la concentración de cloruros del sustrato, se inicia un nuevo período de acumulación.

En el Cuadro 15, se puede observar que hubo diferencias significativas en el contenido de cloruro foliar en hojas del brote de primavera entre los tratamientos, con respecto al contenido de Sodio foliar se observa que no existió diferencia entre los tratamientos.

CUADRO 15. Efecto del sistema de riego sobre el contenido de cloruro y Sodio foliar de hojas del brote de primavera en paltos cv Hass, Mallarauco 2000.

TRATAMIENTO	18/01/00	
	Cloruro (%)	Sodio (%)
Riego doble línea de gotero	0.51 a	0.01 a
Riego microchorro	0.67 b	0.01 a

Letras iguales para una misma columna indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados podrían deberse a que, producto del cambio del sistema de riego de microaspersión a un sistema de riego por goteo, el sistema radicular de los árboles se haya visto afectado negativamente por el cambio en la distribución de la humedad en el suelo, viéndose afectada la absorción de agua y con ello el ingreso de iones, además del desarrollo radical, generándose un desbalance en la parte aérea entre los niveles de citoquininas y ácido abscísico que promovería un cierre estomatal disminuyendo el movimiento del agua que transportaría los cloruros a través del árbol (DEVLÍN, 1980) y con ello aminorado su acumulación en las hojas, producto de la menor tasa transpiratoria (PIZARRO, 1996; AYERS y WESCOT, 1987).

Por otro lado, estos resultados podrían deberse a que durante el tiempo de desarrollo del brote de primavera y medición del contenido de cloruro foliar, el tratamiento de riego por microchorro estuvo sometido por mayores períodos de tiempo a contenidos superiores de cloruros en la solución del suelo, como lo muestra la Figura 8, que posiblemente provocaría un mayor ingreso y acumulación de iones cloruros en las hojas (BENAVIDES, 1996; DOWTON, 1978 y BINGHAM, FENN y OERTLI.1968).

Al observar los niveles de cloruro foliar alcanzados hasta la fecha de muestreo, se podría señalar, de acuerdo a lo planteado por CALABRESE (1992); JONES y

EMBLETON (1978) citado por MENDOZA (2000); AYERS, ALDRICH y COONY (1951) que las hojas contienen una concentración sobre el nivel definido como adecuado, en contraposición a esta situación, se observa en la Figura 8 que el contenido de cloruro en la solución del suelo durante el tiempo del ensayo mostró dos períodos de rangos de concentraciones distintas, un primer período caracterizado por concentraciones de cloruros cercanos al límite de tolerancia señalado por GARDIAZÁBAL (1998a); AYERS y WESCOT (1987), por debajo del límite planteado por GALÁN (1990) y considerando el límite de tolerancia planteada por ALARGÓN (1999) algunas concentraciones ligeramente superiores al límite; y un segundo período, caracterizado por concentraciones bajo el límite permisible considerado por los autores, dada esta situación podría considerarse que niveles bajo las 180 ppm son suficientes para que exista una acumulación de cloruros a nivel foliar que alcance valores sobre los rangos descritos como adecuados o bastaría un período menor a dos meses con concentraciones cercanas al límite de tolerancia planteada por los diferentes autores para alcanzar concentraciones tóxicas a nivel foliar para provocar posteriormente síntomas visuales, situación observada por BENAVIDES (1996) bajo concentraciones de cloruro por sobre del límite permisible.

En el caso de sodio, la situación podría ser más atribuible a que el ion al no moverse rápidamente desde las raíces hacia las hojas acumulándose a nivel de raíz hasta alcanzar niveles críticos (CALABRESE, 1992 y KADMAN, 1964), los contenidos foliares como lo plantea ALLISON, BROWN y HAYWARD (1954), no muestran una relación con los contenidos de sodio del sustrato, lo que podría explicar los bajos niveles de sodio foliar a pesar de las concentraciones del ion en la solución del suelo que exceden los límites de tolerancia (AYERS y WESCOT, 1987).

#### 4.7. Efecto del sistema de riego sobre el incremento en el perímetro de tronco :

En el Cuadro 16, se puede observar que no existió diferencia significativa en el incremento del perímetro de tronco entre los tratamientos.

CUADRO 16. Efecto de dos sistemas de riego, doble línea de gotero y microchorro, sobre el incremento en el perímetro de tronco en paltos cv Hass, Mallarauco, 2000.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Incremento del perímetro de tronco (%)</b>
Riego doble línea de gotero	9.32 a
Riego microchorro	9.94 a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados podrían deberse a que como consecuencia de las lluvias invernales y la buena calidad del agua de riego durante la temporada de medición (Anexo 9), no se produjo una suficiente acumulación de sales en el perfil, por lo que existiría una condición similar, como lo muestran las Figuras 8 y 9, en el contenido salino de la solución del suelo, entre los tratamientos dentro de las estratas de mayor absorción radicular (GARDIAZÁBAL, 1998a; SHALHEVET *et al.*, 1981 citado por BOZZOLO, 1993; WHILEY, 1990 y GREGORIOU, 1980) y dada esta situación no se comprobaría el efecto detrimental del nivel de salinidad sobre el incremento en el perímetro de tronco estudiado por MICKELBART y LU ARPAIA (1995).

#### 4.8. Efecto del sistema de riego sobre la retención de frutos:

No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de frutos retenidos hasta el 18 de enero entre los dos sistemas de riego (Cuadro 17). La Figura 10 muestra que la caída de frutos en el tiempo es muy similar para ambos tratamientos.

CUADRO 17. Efecto de dos sistemas de riego, doble línea de gotero y microchorro, sobre el porcentaje de retención de frutos.

TRATAMIENTO	Retención de frutos/m <sup>2</sup> de copa (%)
Riego doble línea de gotero	6.31 a
Riego microchorro	5.88 a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Esto podría explicarse a la similitud a través del tiempo del contenido salino en la solución de suelo entre los tratamientos (Figuras 8), por lo que existiría un efecto de la salinidad sobre la retención de frutos similar para todos los árboles. Esta situación podría, además, ser explicada al analizar como muestra el Cuadro 18, que a nivel de largo de brote de primavera no existe diferencia significativa entre tratamientos lo que significaría que la competencia provocada entre el crecimiento vegetativo y los frutos recién cuajados, causa principal de la primera caída de fruta (GARDIAZÁBAL, 2000) fue similar para ambos tratamientos. Considerando, además, que los brotes que soportan las flores y alimentan los frutos en el primer periodo de crecimiento (VILLABLANCA, 1994), en gran parte de su desarrollo no estuvieron sometidos a tratamiento y, por lo tanto, estaban bajo condiciones similares.

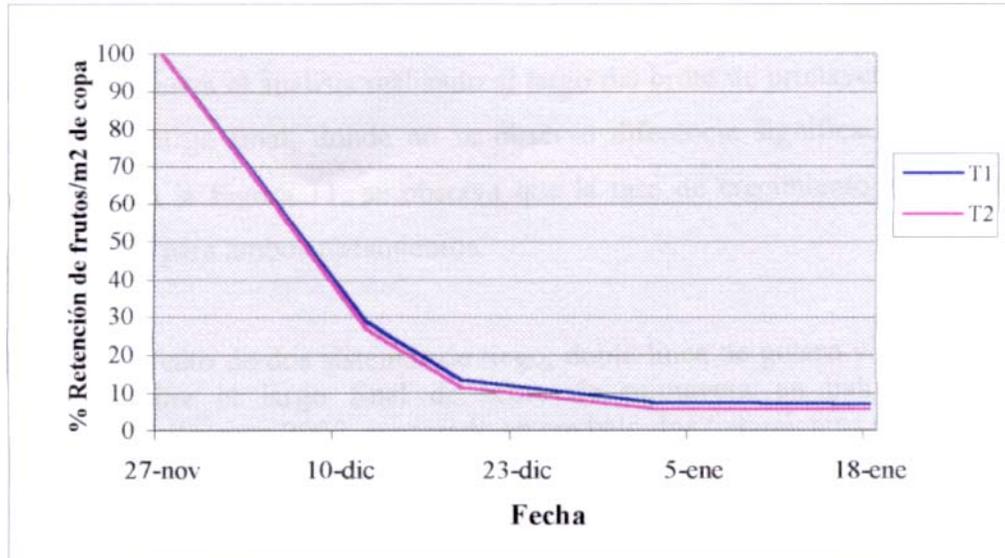


FIGURA 10. Curva de retención de frutos bajo dos sistemas de riego, doble línea de gotero (T1) y microchorro (T2) en paltos cv Hass. Mallarauco 2000.

#### 4.9. Efecto del sistema de riego sobre el crecimiento del brote de primavera:

El Cuadro 18 muestra el análisis realizado al largo del brote de primavera, luego que este alcanzó su largo final, donde no se observó diferencia significativa entre los tratamientos. En la Figura 11, se observa que la tasa de crecimiento muestra una tendencia similar para ambos tratamientos.

CUADRO 18. Efecto de dos sistemas de riego, doble línea de gotero y microchorro, sobre el largo final de brote de primavera en paltos cv Hass, Mallarauco 2000, expresado en cm bajo dos tratamientos de riego.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Largo brote primavera (cm)</b>
Riego doble línea de gotero	8.77 a
Riego microchorro	8.88 a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según Tuckey 5%

Estos resultados se podrían atribuir a que durante la época de crecimiento de los brotes, el rango de contenido de cloruro en la solución del suelo se mantuvo con una concentración similar para ambos tratamientos dentro de los 80-170 ppm (Figura 8), por lo cual, de acuerdo a lo planteado por AYERS y WESTCOT (1987), quienes señalan para patrones de raza mexicana 177 ppm como nivel máximo permisible de cloruro en el extracto de saturación de suelo y considerando que el valor del extracto de saturación es cerca de la mitad del valor real de la solución del suelo (SADZAWKA, 1999), ambos tratamientos estuvieron sometidos a condiciones dentro de los niveles de tolerancia, no existiendo diferencia en el crecimiento bajo ese rango de concentración de cloruros en el sustrato.

Por otra parte, considerando que las hojas del brote de verano, fuente de fotosintatos para el crecimiento de primavera (GARDIAZÁBAL y ROSEMBERG, 1991) presentaron un similar estado en relación al daño foliar (Cuadro 13) y contenido de

cloruro y Sodio (Cuadro 14), ambos tratamientos habrían estado sometidos a igual condición lo que podría explicar los resultados en relación al crecimiento del brote de primavera.

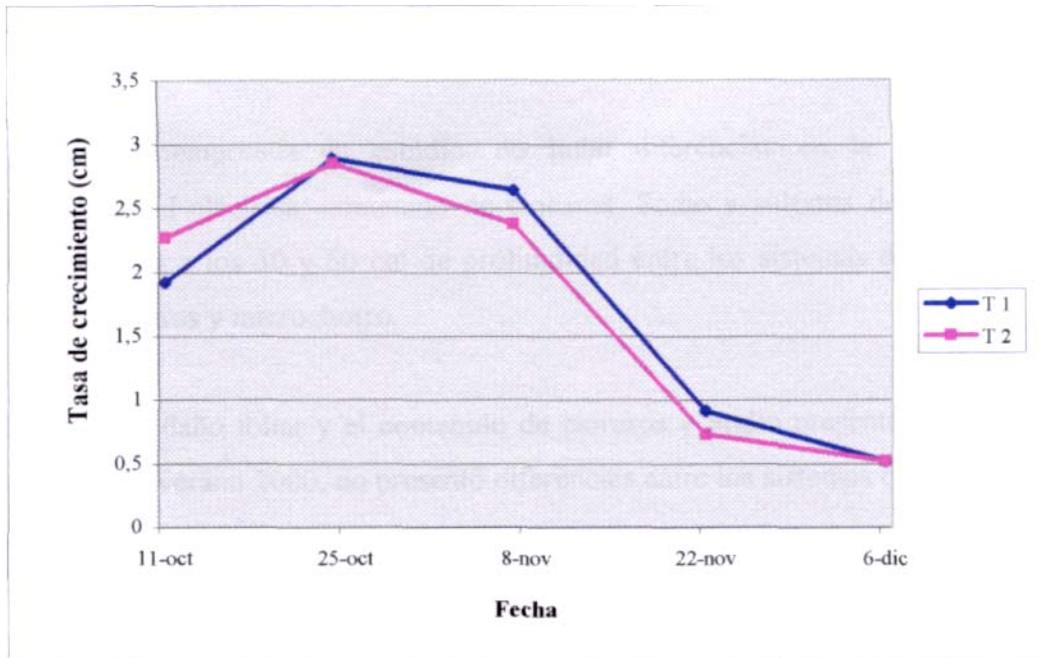


FIGURA 11. Tasa de crecimiento del brote de primavera bajo dos sistemas de riego, doble línea de gotero (T1) y microchorro (T2) en paltos cv Hass. Mallarauco 2000.

## 5. CONCLUSIONES

Durante la temporada en estudio, no hubo diferencias en la variación de la conductividad eléctrica, contenido de cloruros, Sodio y sulfatos de la solución del suelo medida a los 30 y 60 cm de profundidad entre los sistemas de riego de doble línea de goteros y microchorro.

El grado de daño foliar y el contenido de cloruros y Sodio presentado por las hojas del brote de verano 2000, no presentó diferencias entre los sistemas de riego.

El sistema de doble línea de goteros provocó una menor acumulación de cloruro foliar en hojas del brote de primavera, por otra parte, el contenido de sodio foliar no presentó diferencias entre ambos sistemas.

No hubo diferencias en el incremento del perímetro de tronco, largo final del brote de primavera y en la retención de frutos entre los sistemas de riego de doble línea de goteros y microchorro.

Concentraciones dentro del rango de 90-180 ppm de cloruros en la solución del suelo, provocan acumulaciones tóxicas de cloruro en las hojas del palto cv Hass.

## 6. RESUMEN

La producción de paltos ha mostrado un fuerte desarrollo en los últimos años como consecuencia de su alta rentabilidad, lo que ha llevado por un lado a buscar zonas climáticas aptas para que exista un incremento en la superficie plantada en lugares que se caracterizan por presentar problemas de salinidad en los suelos y aguas de riego. Dada esta situación, es necesario recurrir a manejos que permitan solucionar o aminorar las condiciones desfavorables para el cultivo, para lo cual se realizó un ensayo donde se evaluó el efecto de dos sistemas de riego presurizado, doble línea de goteros y microchorro, sobre el lavado de sales en profundidad y sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo del palto cv Hass.

El ensayo se realizó entre los meses de marzo del 2000 y enero del 2001, en la localidad de Mallarauco, Provincia de Melipilla, Área Metropolitana, Chile. Se utilizaron paltos (*Persea americana* Mill.) cv Hass sobre patrón Mexicola, plantados el año 1995, a una distancia de 6 x 5 m, en camellones de 0,80 m de altura y 3 m de ancho regados para un tratamiento, por un sistema de doble línea de goteros con 12 goteros de 4 l/hr por planta, separados a 83 cm, y para la otra mitad del ensayo, por un sistema de microchorro con dos microchorros de 24 l/hr de 2.5 m de diámetro de mojamiento en 360°, distribuidos a 1,2 m de cada lado del tronco. Durante la temporada de riego, periódicamente, se monitoreó la conductividad eléctrica, concentración de cloruros, Sodio y sulfates de la solución del suelo a los 30 y 60 cm de profundidad utilizando sondas de succión instaladas bajo el emisor. Además, se evaluó a nivel aéreo, el grado de daño foliar en hojas del brote de verano 2000, el contenido de cloruro y sodio foliar de hojas de verano y primavera, el incremento del perímetro del tronco, el crecimiento del brote de primavera y la retención de frutos cuajados.

Ambos tratamientos, para un primer año de evaluación, no mostraron diferencias en la variación en el tiempo de la conductividad eléctrica, concentración de cloruros, Sodio y sulfates de la solución del suelo, lo que, a su vez, se reflejó a nivel aéreo donde tampoco hubo diferencias en el grado de daño foliar, contenido de cloruros y sodio foliar de hojas de verano 2000, incremento del perímetro del tronco, crecimiento del brote y retención de frutos. Solo hubo diferencia en el contenido de cloruro foliar de hojas del brote de primavera, donde se obtuvo una mayor concentración bajo el tratamiento de riego por microchorro.

## 7. LITERATURA CITADA

- ALARGÓN, A. 1999. La calidad del agua de riego para fertirrigación. II parte. Horticultura 135: 65-69.
- ALLISON, L.; BROWN, J. y HAYWARD, H. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. México. A.I.D. 172 p.
- AYERS, A., ALDRICH, D. y COONY, J. 1951. Sodium and chloride injury of Fuerte avocado leaves. Avoc. Soc. Yearbook. 56: 174-178.
- \_\_\_\_\_, R. y WESTCOT, D. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Roma. FAO. N°29. 174 p.
- BAÑULS, J. y PRIMO-MILLO, E. 1992. Effects of chloride and sodium on gas exchange parameters and water relations of Citrus plants. Physiol. Plant. 86:115-123.
- BAR, Y., APELBAUM, A. y GOREN, R. 1998. Ethylene association with chloride stress in citrus plants. Scientia Horticulturae 73: 99-109.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ y KAFKAFI, U. 1997. Relationship between chloride and nitrate and effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. Journal of Plant Nutrition 20(6): 715-731.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_. 1996. Polyamines in chloride-stressed Citrus plants: alleviation of stress by nitrate supplementation via irrigation water. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(3): 507-513.
- \_\_\_\_\_. y KAFKAFI, U. 1992. Nitrate-induced iron-deficiency chlorosis in avocado (*Persea americana* Mill.) rootstocks and its prevention by chloride. Journal of Plant Nutrition 15(10): 1739-1746.
- BENAVIDES, C. 1996. Requisitos del suelo y susceptibilidad a cloruros. In: Razeto, B. y Fichet, T. Cultivo del Palto y perspectivas de mercado. Santiago. Universidad de Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas. N°45. pp. 61-75.
- BERGH, B 1967 Reason for low yields of avocado. Calif. Avocado Soc. Yrbk. 51:161-172.

- BERNSTEIN, L. y FRANCOIS, L. 1973. Comparison of drip, furrow, and sprinkler irrigation. *Soil Sci.* 115: 73-86.
- BINGHAM, F.; FENN, L. y OERTLI, J. 1968. A sandculture study of chloride toxicity to mature avocado trees. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:249-252.
- \_\_\_\_\_ y FENN, L. 1966. Chloride injury to Hass avocado trees: a sand culture experiment. *Calif. Avoc. Soc. Yearbook.* 50: 99-106.
- BOZZOLO, E. 1993. Aproximación a la determinación de los coeficientes de cultivo (Kc) en palto (*Persea americana* Mili) cv. Hass para la zona de Quillota, V<sup>a</sup> Región. Taller de titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 78 p.
- CALABRESE, F. 1992. El aguacate. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 249 p.
- CALIANDRO, A. 1999. Qualità delle acque e tecniche irrigue. In: Tarantino, E. ed. *Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive.* Foggia, Istituto di produzioni e preparazioni alimentan, Facoltà di Agraria di Foggia. pp. 23-36.
- \_\_\_\_\_ , CANTORE, V. y MUSACCHI, S. 2000. Applicazione di acque salmastre su colture ortofrutticole in Italia. *Frutticoltura* 7/8: 26-36.
- CANTORE, V., FLAGELLA, Z. y BOARI, F. s.f. L' effetto dei sali sulla coltura. In: Tarantino, E. ed. *Impiego delle acque salmastre in agricoltura.* Bari, Istituto di produzione e preparazioni alimentari di Bari. pp. 11-26.
- CARDEMIL, G. 1999. Aproximación a los requerimientos hídricos del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass, para la provincia de Quillota. Taller de titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 154 p.
- CARRASCOSA. 1991. Salinidad y calidad de aguas, In: Universidad de Chile. *Manejos de suelos en huertos frutales.* Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. Universidad de Chile. N°35. pp. 219-245.
- CASERO, T. 1995. La nutrición calcica en frutales. *Fruticultura Profesional* 71: 45-55.
- CEBAS- CSIS. 2000. Cuando llueva, riegue, (online). <http://www.par.cebas.csis.es>

- COMITÉ DE PALTAS. 2001. Otro récord para las exportaciones de paltas. Informativo N° 18: 9.
- \_\_\_\_\_. 2000. Alto porcentaje de exportación en última temporada. Informativo N° 15: 1.
- COOPER, W. 1951. Salt tolerance of avocados on various rootstocks. Tex. Avo. Soc. Yrbk. 51:24-28.
- DASBERG, S., BIELORAI, H., HAIMOWITZ, A. y ERNER, Y. 1991. The effect of saline irrigation water on "Shamouti" orange trees. Irrigation Science 12: 205-211.
- DEVLÍN, R. 1980. Fisiología Vegetal. Barcelona, Omega. 517 p.
- DOWNTON, W. 1978. Growth and flowering in salt-stressed avocado trees. Aust. J. Agric. Res. 29: 523 - 534.
- FAINSTEIN, R. 1997. Análisis de suelo y succionadores. Horticultura Internacional.
- FAUST, M. 1991. La nutrición de los árboles frutales. Revista Horticultura 10: 39-44.
- FIEROTTI, G., DAZZI, C. y TUSA, D. 1999. Riflessi dell'irrigazione con acque saline sulla qualità dei suoli. In: Tarantino, E. ed. Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive. Foggia, Istituto di produzioni e preparazioni alimentari, Facoltà di Agraria di Foggia. pp.7-22.
- FLAGELLA, Z., CANTORE, V., BOARI, F., VOLPE, D. y DE CARO, A. 1999. Tolleranza alio stress salino delle specie coltivate in relazione agli aspetti fisiologici, produttivi e qualitativi. In: Tarantino, E. ed. Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive. Foggia, Istituto di produzioni e preparazioni alimentari, Facoltà di Agraria di Foggia. pp.47-67.
- FRANCOIS, L. 1984. Salinity effects on germination, growth and yield of turnips. Hort. Sci. 19: 82-84.
- GALÁN, V. 1990. Los frutales tropicales en los subtrópicos. Ediciones Mundi-Prensa. 133 p.

- GARDIAZÁBAL, F. 1998a. Factores agronómicos a considerar en la implantación de un huerto de paltos. In: Soc. Gardiazábal y Magdahl. Seminario Internacional de Paltos. Viña del Mar, 4, 5 y 6 de Noviembre, pp.17-38.
- \_\_\_\_\_. y ROSEMBERG, G. 1991. Cultivo del palto. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía, 201 p.
- GRATTAN, S. y GRIEVE, C. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 78: 127-157.
- GREENWAY, E. y MUNNS, B. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 31: 149-190.
- GREGORIOU, C. 1980. Some aspects of shoot and root growth of avocado under lowland tropical conditions. *California Avocado Society Yearbook.* 64:85-88.
- GROVER, B. y LAMBORN, R. 1970. Preparation of porous ceramic cups to be used for extraction of soil water having low solute concentrations. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34 707-708.
- GUROVICH, L. 1990. Mejoramiento de suelos afectados por salinización causada por el riego por goteo en el Valle de Copiapó. *Aconex* 28: 15-19.
- HARDING, R., MILLER, M. y FIREMAN, M. 1958. Absorption of salts by citrus leaves during sprinkling with water suitable for surface irrigation. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 71: 248-256.
- HELAL, H. y MENGEL, K. 1981. Interaction between light intensity and NaCl salinity and their effects on growth, CO<sub>2</sub> assimilation, and photosynthate conversion in young broad beans. *Plant. Physiol.* 67: 999-1002.
- HEREDIA, E. 1999. La salinidad en los árboles frutales, nueva propuesta de clasificación de suelos y aguas en función de su salinidad. *Fruticultura Profesional* N° 107: 19-30.
- HERNÁNDEZ, F. 1991. Aproximación del ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill) cv. Hass, para la zona de Quillota, V<sup>a</sup> Región. Taller de titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 112 p.

- HONORATO, R. 1993. Manual de edafología. Santiago. Ediciones Universidad Católica de Chile. 196 p.
- IRROMETER COMPANY, INC. s.f. Empleo de tubos para acceso a la solución del suelo. California.
- KADMAN, A. 1963. The uptake and acumulation of chloride in avocado leaves and tolerance of avocado seedling under saline conditions. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 83: 280-286.
- \_\_\_\_\_. 1964. The uptake and accumulations of sodium in avocado seedlings. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 85:179 - 182.
- KAFKAFI, U., VALORAS, N. y LETEY, J. 1982. Chloride interaction with nitrate and phosphate nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). J. Plant. Nutr. 5: 1369-1385.
- KALAJI, H. y PIETKIEWICZ, M. 1993. Salinity effects on plant growth and other physiological processes. Acta Physiol. Plant. 15:89-124.
- LAÜCHI, A. y EPSTEIN, E. 1984. Mechanisms of salt tolerance in plants. California Agriculture 38(10): 18 -20.
- LOSAVIO, N., MASTRORILLI, M. y VENTRELLA, D. 1999. Principi e tecniche di coltivazione in condizioni di salinitá. In: Tarantino, E. ed. Impiego delle acque salmastre in agricoltura. Bari, Istituto di produzione e preparazioni alimentan di Bari. pp. 55-69.
- LOVELLI, S., PERNIOLA, M. y PETRIZZI, N. s.f. L' effetto dei sali sul suolo. In: Tarantino, E. ed. Impiego delle acque salmastre in agricoltura. Bari, Istituto di produzione e preparazioni alimentan di Bari. pp. 27-37.
- MAAS, E. 1984. Crop tolerance. California Agriculture 38(10) 20-21.
- \_\_\_\_\_. y HOFFMAN, G. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J. Irr. and Drainage Div. 103:115-134.
- MAGDAHL, C. 1998. La industria de la palta en Chile. In: Soc. Gardiazábal y Magdahl. Seminario Internacional de Paltos. Viña del Mar, 4, 5 y 6 de Noviembre, pp. 1-13.

- MARTÍNEZ, L. 1987. La salinidad: un problema potencial para la agricultura del valle de Copiapó. IPA La Platina N° 40: 28-29.
- MARTÍNEZ, V. y CERDA, A. 1989. Influence of N source on rate of Cl, N, Na and K uptake by cucumber seedlings grown in saline conditions. J. Plant. Nutr. 12: 971-983.
- MARTÍNEZ, E. 2000. Control y monitoreo de la relación suelo-agua-planta en carozos, cítricos y vides viníferas en España: el concepto de la fertirrigación a la demanda. 1° Simposium Internacional Fertirrigación y control en frutales y viñas. Santiago, Bioamérica, agosto 2000.
- MEDINA, J. 1988. Riego por goteo. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 256 p.
- MENDOZA, H. 2000. Alcalinidad y salinidad: diagnóstico, efecto sobre la producción y soluciones. 1° Simposium Internacional Fertirrigación y control en frutales y viñas. Santiago, Bioamérica, agosto 2000.
- MICKELBART, M. y LU ARPAIA, M. 1995. The effect of salinity on growth and physiology of "Hass" avocado on three rootstocks. Hort Science 30(4): 780.
- MIZRAHI, Y y PASTERNAK, D. 1985. Crop production and management under saline conditions. Plant Soil 89: 253-271.
- MOYA, J., ROMERO-ARANDA, R., TADEO, F., LEGAZ, F., PRIMO-MILLO, E. y TALÓN, M. 2000. Efectos beneficiosos del calcio sobre el desarrollo y crecimiento bajo condiciones salinas de los patrones de cítricos Citrange Carrizo y mandarina Cleopatra. Levante Agrícola 39(352):319-325.
- MUÑOZ, G. y CHAPARRO, C. 1997. Efectos de la salinidad sobre el crecimiento de plantas de vid y la ultraestructura de las células de la cofia de la raíz. Simiente 67(3-4): 101-112.
- NEILSEN, D., PARCHOMCHUK, P., NEILSEN, G. Y HOGUE, E. 1998. Using soil solution monitoring to determine the effects of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high-density apple orchards. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123(4) 706-713.
- NOVOA, R, VILLASECA, C., DEL CANTO, S., ROUANET, M., SIERRA, C., y DEL POZO, A. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Santiago, INIA. 221 p.

- OLALLA, M. 1992. El riego del aguacate en el litoral oriental Andaluz. In: Junta de Andalucía, ed. Riego y nutrición del aguacate en el litoral oriental Andaluz. España, Junta de Andalucía, pp. 7-27.
- ORELLA, J. 1999. Buen posicionamiento para competir en el mercado externo. *Agroeconómico* 53:25-28.
- OSORIO, A. y CÉSPED, R. 2000. Efecto de métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en vid de mesa. I. Conductividad eléctrica, Sodio, Cloro y Boro en distintos puntos del perfil. *Agricultura Técnica* 60(2): 178-194.
- OSTER, J., y ARPAIA, M. 1992. "Hass" avocado response to salinity as influenced by clonal rootstocks. University of California and California Avocado Society. Proc. of Second World Avocado Congress. California, April 21-26, 1991. pp. 209-214.
- \_\_\_\_\_, BROKAW, R., STROHMAN, J. y TRACY, J. 1985. The influence of salinity and rootstock on avocado seedling growth - Progress Report. *Calif. Avocado Soc. Yrbk.* 69: 105 - 110.
- \_\_\_\_\_, HOFFMAN, G. y ROBINSON, F. 1984. Management alternatives: crop, water and soil. *California Agriculture* 38(10): 29 -32.
- PERNIOLA, M. y TARANTINO, E. s.f. Presentazione. In: Tarantino, E. ed. *Impiego delle acque salmastre in agricoltura*. Bari, Istituto di produzione e preparazioni alimentari di Bari, pp.2-3.
- PIZARRO, F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 513 p.
- RAZETO, B. 1995. La salinidad en frutales. *Revista Aconex (Chile)* 9:5-10.
- \_\_\_\_\_. 1999. Para entender la fruticultura. Santiago. 373 p.
- ROLSTON, D., NIELSEN, D. y BIGGAR, J. 1984. Effect of salt on soils. *California Agriculture*. 38(10): 11-13.
- ROMEÓLA, A, ZAVALLONI, C, SCUDELLARI, D, CECCAROLI, A, MAZZANTI, F, MARANGONI, B. y TAGLIAVINI, M. 2000. La fertirrigazione del meleto nella fase d'allevamento, effetti di dose e nutrienti. *Frutticoltura* 6. 67-74.

- RUIZ, R. 1984. Diagnóstico y estrategia para el control de problemas salinos. IPA La Platina N° 23: 49-53.
- RUSSEL, J. y RUSSEL, W. 1954. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Madrid. Ediciones Aguilar. 770 p.
- SAAVEDRA, J. y ALCALDE, S. 1987. Influencia de la salinidad en el crecimiento y la sintomatología foliar en aguacate (*Persea americana* Mili.) variedad Hass. Agric. Tec. Mex. 13(2): 171-188.
- SADZAWKA, A. 1999. Manual de química, diagnóstico y recuperación de suelos afectados por sales. Curso de capacitación para operadores del programa de recuperación de suelos degradados. Zona Norte y Central (regiones I a VI). INIA, Santiago, enero, 1999. pp. 303-335.
- SALAZAR, S. y CORTEZ, J. 1986. Root distribution of mature avocado trees growing in soil of different texture. California Avocado Society Yearbook. 70:165-174.
- SALAZAR-GARCÍA, S. 2000. Fisiología reproductiva del aguacate. In: Téliz, D., ed. El aguacate y su manejo integrado. México. Mundi Prensa, pp.55-83.
- SANTIBAÑEZ, F y URIBE, J. 1993. Atlas agroclimático de Chile. Regiones V<sup>a</sup> y Metropolitana. Santiago, Universidad de Chile. 65 p.
- SCHOLEFIELD, P., SEDGLEY, M. y ALEXANDER, D. 1985. Carbohydrate cycling in relation to shoot growth, floral initiation and development and yield in the avocado. Scientia Horticulturae 25: 99-110.
- SEDGLEY, M. y ALEXANDER, D. 1983. Avocado breeding reseca in Australia. Calif. Avocado Soc. Yrbk. 67:129-135.
- SILVA, H y RODRÍGUEZ, J. 1995. Fertilización de plantaciones frutales. Alfabeta impresores. 519p.
- SUBBARAO, G., JOHANSEN, C., JANA, M. y KUMAR RAO, J. 1990. Effects of the sodium/calcium ratio in modifying salinity response of pigeonpea (*Cajanus cajan*). J. Plant. Physiol. 136: 439-443.

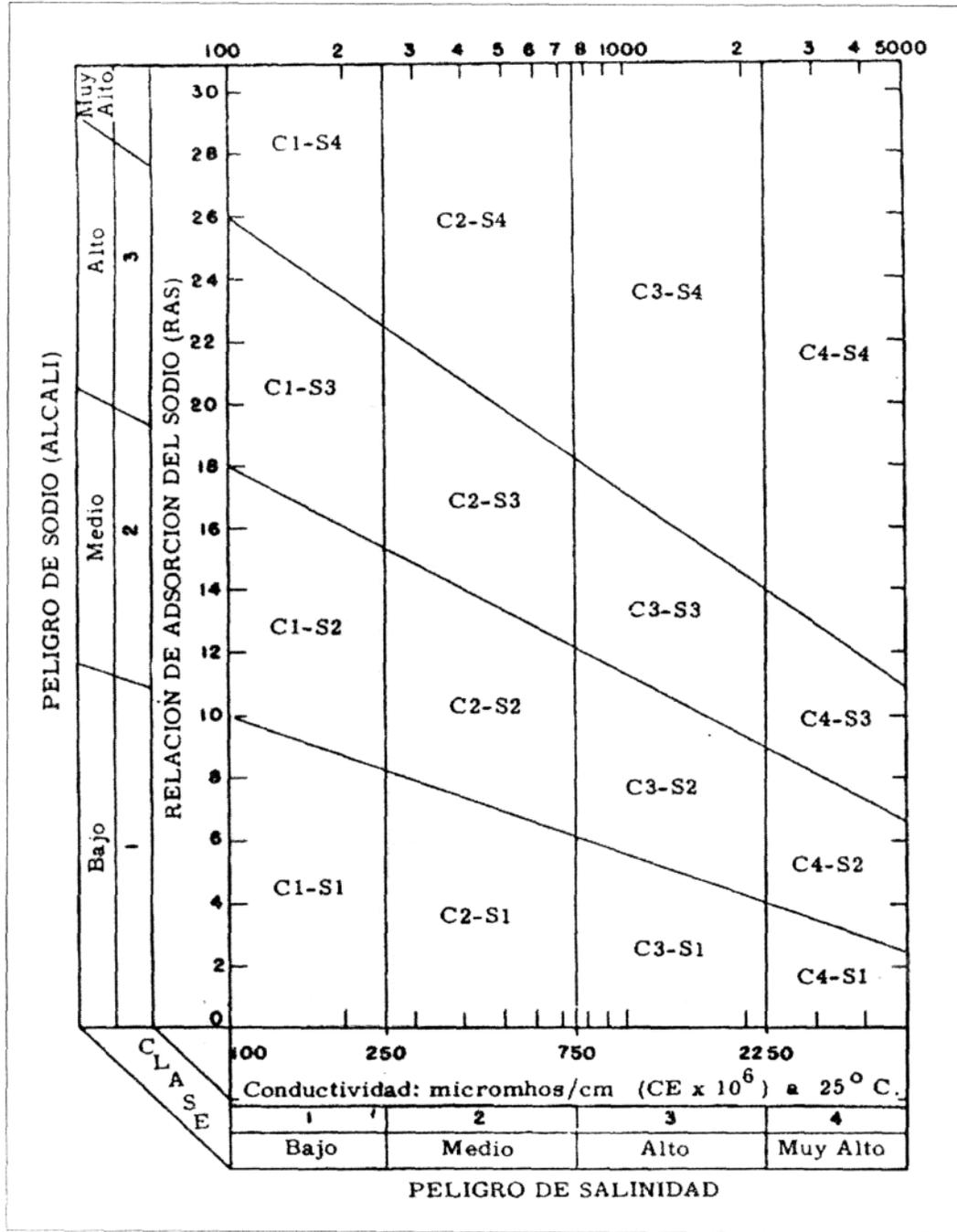
- TORO, M. 1995. Efecto del método de riego en la distribución espacial del sistema radical del palto (*Persea americana* Mili) cv. Hass, en dos tipos de suelo. Tesis Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 27p.
- UGARTE, M. 1996. Efecto del método de riego sobre el crecimiento y distribución de raíces en el palto (*Persea americana* Mili) cv. Hass en un suelo franco arcilloso. Taller de titulación. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 33 p.
- VERMEIREN, L. and JOBLING, G. 1986. Riego Localizado. Estudio FAO. Riego y drenaje. 203 p.
- VILLABLANCA, Y. 1994. Estudio comparativo de la distribución y densidad de raíces absorbentes en palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en función a los patrones de distribución uso-consumo del agua en el suelo evaluados bajo dos sistemas de riego presurizado (goteo y microaspersión). Tesis Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 117 p.
- VOGEL, O. 1985. Composición química de las aguas de riego de los ríos en Chile. Simiente. 55(1-2): 83-85.
- WALKER, R. y DOUGLAS, T. 1983. Effect of salinity level on uptake and distribution of chloride, sodium and potassium ions in citrus plants. Aust. J. Agric. Res. 34: 145-153.
- WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusel. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 1.045 p.
- WHILEY, A., CHAPMAN, K. y SARANAH, J. 1988. Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* Mili. cv. Fuerte) during flowering. Australian Journal of Agricultural Research 39: 457-467.
- \_\_\_\_\_. 1990 b. Interpretación de la fenología y fisiología del palto para obtener mayores producciones. Curso Internacional de Producción, Postcosecha y Comercialización de Paltas, 2-5 Octubre 1990, Viña del Mar, Chile.

## ANEXOS

ANEXO 1. Sondas de succión

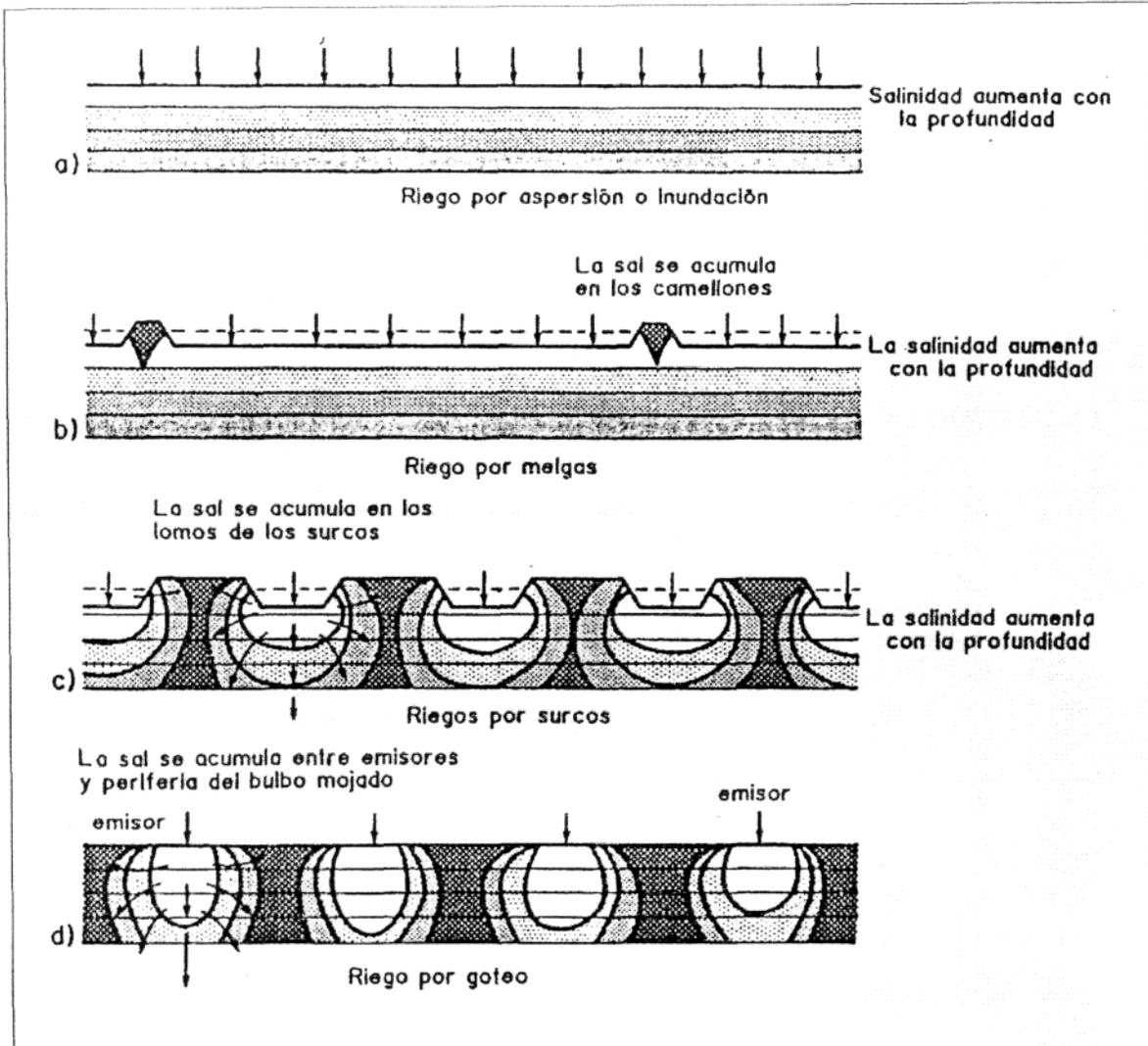


ANEXO 2. Diagrama Riverside para la clasificación de las aguas de riego.



Fuente: ALLISON, BROWN y HAYWARD (1954).

ANEXO 3. Patrón de acumulación de sales para varios sistemas de riego.



Fuente: AYERS y WESCOT (1987).

ANEXO 4. Producción (Kg/árbol) temporada 99/00, Fundo Patria Vieja, Mallarauco.

Tratamiento	N° DE ÁRBOL				
	1	2	3	4	5
<b>T1 1</b>	58,75	5,00	0,00	36,75	55,10
<b>T1 2</b>	61,25	11,25	2,20	0,00	47,00
<b>T1 3</b>	69,10	35,50	0,87	36,00	8,80
<b>T1 4</b>	11,20	2,00	53,00	29,00	52,55
<b>T1 5</b>	34,00	19,00	52,25	5,50	54,00
<b>T2 1</b>	0,96	58,20	0,00	53,10	30,70
<b>T2 2</b>	33,75	2,30	32,85	38,00	23,80
<b>T2 3</b>	50,00	0,91	62,00	38,25	25,00
<b>T2 4</b>	22,25	0,00	71,60	4,60	40,25
<b>T2 5</b>	55,55	53,05	14,50	0,00	0,47

ANEXO 5. Distribución porcentual de calibre de la cosecha temporada 99/00, Fundo Patria Vieja, Mallarauco.

		CALIBRE (%)					
		36	40	50	60	70	M.I.
T 1 1	1	0	0	22	60	6	12
	2	0	0	12	52	24	12
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	4	56	24	16
	5	0	0	18	62	10	10
T 1 2	1	0	6	20	56	10	8
	2	2	22	48	26	0	2
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	32	38	24	4	0
T 1 3	1	0	0	4	56	22	18
	2	0	8	42	46	4	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	24	60	16	0	0
	5	0	42	34	12	10	2
T 1 4	1	4	42	42	12	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	12	16	66	4	2
	4	0	24	44	28	2	2
	5	0	2	22	56	6	14
T 1 5	1	2	16	34	30	16	2
	2	2	20	36	40	2	0
	3	0	0	2	44	26	28
	4	0	50	42	4	0	4
	5	0	16	46	36	0	2

		CALIBRE (%)					
		36	40	50	60	70	M.I.
T 2 1	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	6	26	58	6	4
	3	0	0	0	0	0	0
	4	2	4	38	50	4	2
	5	0	26	48	26	0	0
T 2 2	1	2	42	34	22	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	18	24	48	6	4
	4	0	0	16	56	16	12
	5	4	48	36	10	2	0
T 2 3	1	0	4	20	60	14	2
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	12	32	40	10	6
	4	0	20	40	36	20	2
	5	0	32	32	34	2	0
T 2 4	1	0	0	0	0	0	0
	2	6	42	40	12	0	0
	3	2	26	42	22	6	2
	4	0	0	0	0	0	0
	5	4	22	32	36	4	2
T 2 5	1	0	2	16	44	24	12
	2	0	0	44	44	6	6
	3	2	38	30	30	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0

ANEXO 6. Evaporación de bandeja (mm) registrada en en Fundo Patria Vieja, Mallarauco S.A. durante enero 2000-enero 2001.

MES	feb-00	mar-00	abr-00	may-00	jun-00	jul-00	ago-00	sep-00	oct-00	nov-00	dic-00	ene-01
1	7,5	4,8	3,9	1,2	1,2	0,4	0,4	2,2	0,2	4,4	7,5	7,4
2	6,0	5,1	2,7	1,2	0,4	0,7	1,3	2,2	1,5	3,7	7,7	4,9
3	8,1	3,9	2,7	1,5	1,6	0,3	0,6	1,3	2,5	4,0	7,5	5,1
4	7,4	5,0	2,8	1,3	0,9	0,0	0,3	0,6	3,5	1,4	7,6	6,2
5	7,6	5,9	2,7	2,4	0,4	0,0		1,3	4,3	3,9	7,9	8,0
6	7,7	5,0	1,8	2,4	0,3	0,0		1,2	3,6	4,0	7,0	8,0
7	7,1	4,0	2,2	2,0	8,0	0,0	1,4	1,3	4,0	4,8	7,3	5,3
8	7,8	2,9	2,5	0,4	0,5	0,0	1,3	0,0	3,9	4,9	8,0	6,2
9	4,7	3,1	1,8	0,5	4,4	0,0	1,2	0,0	4,0	5,1	8,1	5,3
10	7,3	3,6	3,2	0,9	5,8	0,4	1,3	0,0	4,3	6,0	7,4	7,9
11		2,8	3,0	0,9	4,0	0,8	0,9	0,0	4,2	6,2	7,9	8,9
12		3,3	2,8	0,8		0,9	0,9	0,0	3,8	5,3	8,6	7,4
13		4,1		0,3		1,2	1,2	0,0	3,7	5,6	8,4	8,0
14	5,7	4,3	1,2			0,3	0,8	1,6	4,4	6,9	7,2	8,5
15	4,2	4,6	1,4	7,1	0,3	0,4	0,8	2,0	3,9	7,0	8,0	7,1
16	5,7	4,4	1,3	2,3	0,4	0,6	1,0	2,3	4,9	6,3	8,1	7,3
17	6,2	5,0	1,1	1,8	0,4	0,4	1,2	1,6	3,5	6,2	8,5	8,1
18	6,6	7,7	1,2	0,9	0,4	0,5	2,0	1,1	1,8	5,7	7,6	8,0
19	4,5	4,0	0,3	0,4		0,2	0,9	0,0	4,0	7,8	5,1	8,9
20	4,9	3,5	3,5	0,0		0,0	0,4	0,0	4,0	7,9	6,9	7,7
21	3,8	4,2	1,8	7,1	4,0	0,5	0,6	1,8	1,1	7,0	5,1	7,5
22	3,6	5,0	2,1	1,0	0,6	0,9	0,7	2,0	3,1	6,4	8,0	7,8
23	4,9	4,1	1,9	7,5	0,0	1,2	0,6	2,5	0,0	7,1	8,9	7,1
24	3,9	3,5	7,1		0,0	0,6	1,3	2,9	2,0	6,5	8,6	6,6
25	5,4	3,8	1,3	0,0	0,3	0,7	0,9	3,3	1,9	8,0	6,2	8,4
26	2,1	3,6	1,1	0,9		0,6	1,5	3,1	4,5	7,5	5,3	7,1
27	3,8	4,0	1,3	8,0		0,5	0,5	0,9	5,1	7,8	6,2	7,1
28	6,9	3,7	2,0	6,2		0,7	0,4	0,3	4,0	7,9	7,8	6,9
29	5,7	3,8	2,4	0,9		0,4	1,0	3,1	3,5	7,8	7,8	
30		2,7	2,0			0,5	0,6	2,7	2,2	6,8	7,2	
31		2,7				0,5	1,6				4,5	

ANEXO 7. Coeficiente de cultivo del palto ( $K_c$ ), coeficiente de bandeja Clase A ( $K_b$ ), Factor de salinidad Eficiencia del sistema de riego ( $E_r$ ) y precipitación del sistema de riego ( $P_p$ ) utilizados para el cálculo del tiempo de riego del ensayo (GARDIAZÁBAL, 1999)\*

MES	$K_c$	$K_b$
Enero	0,72	0,75
Febrero	0,65	0,75
Marzo	0,58	0,75
Abril	0,58	0,80
Mayo	0,58	0,80
Junio	0,58	0,80
Julio	0,52	0,80
Agosto	0,52	0,80
Septiembre	0,52	0,75
Octubre	0,58	0,75
Noviembre	0,65	0,75
Diciembre	0,72	0,75

**Factor de salinidad ( $S$ ) = 1,1**

**Eficiencia del sistema de riego (microaspersión) ( $E_r$ ) = 0,80**

**Precipitación del sistema de riego ( $P_p$ ) = 1,6 mm**

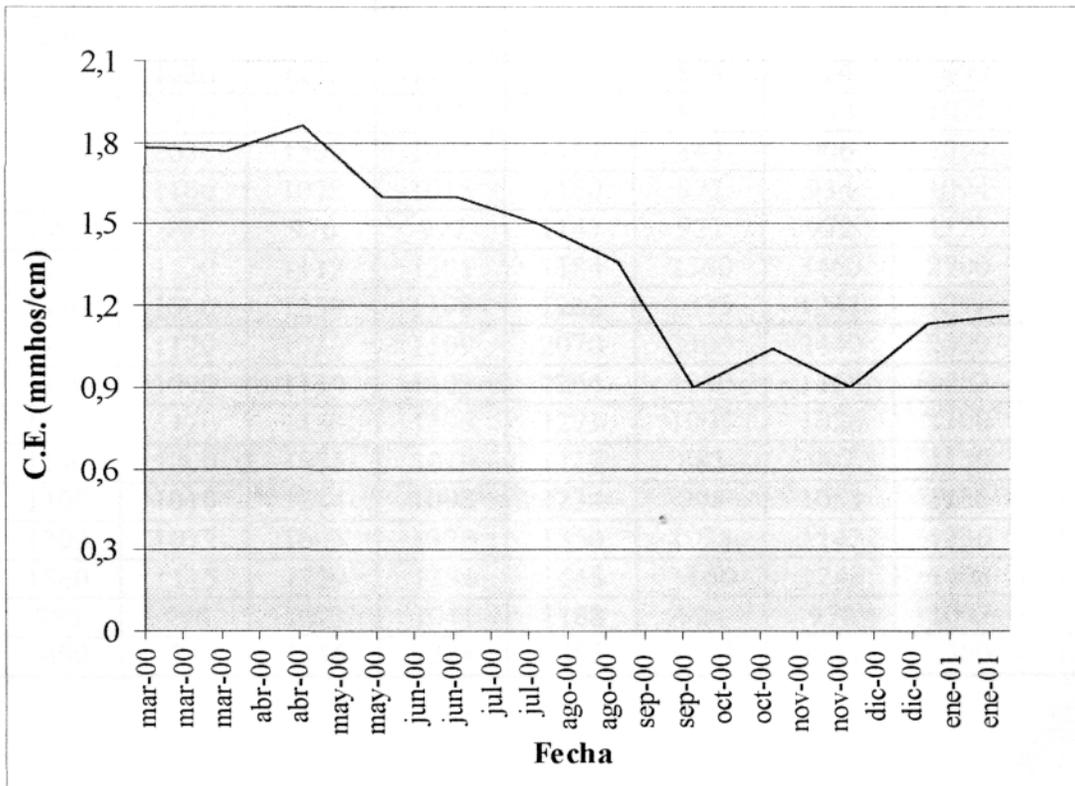
\* GARDIAZÁBAL, F. Ing. Agr. 1999. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Comunicación Personal.

ANEXO 8. Registro mensual de las precipitaciones de 1992-2000 de Mallarauco.

Mes/año	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Enero</b>									
<b>Febrero</b>									14
<b>Marzo</b>	14,5							20	
<b>Abril</b>	11,5	68	32	31	19	4	14		13
<b>Mayo</b>	215,5	58	100	1	8	119	14	5	10,5
<b>Junio</b>	212	78	61	72	53	314	34	60	388
<b>Julio</b>	12	47	62,7	121,5	45	70	4	39	29
<b>Agosto</b>	83	46	6	43	67	111		88	3
<b>Septiembre</b>	20	12	13,5	9,5	3	73	10	118,5	84
<b>Octubre</b>	4	7	4	3	3,5	57		10	
<b>Noviembre</b>		6		2		6			
<b>Diciembre</b>			7			3			
<b>TOTAL</b>	<b>572,5</b>	<b>322</b>	<b>286,2</b>	<b>283</b>	<b>198,5</b>	<b>757</b>	<b>76</b>	<b>340,5</b>	<b>541,5</b>

Fuente: Asociación de canalistas de Mallarauco.

ANEXO 9. Conductividad eléctrica del agua de canal registrada durante el año 2000 en Mallarauco.



ANEXO 10. Conductividad eléctrica de la solución del suelo medida a los 30 y 60 cm de prof. bajo dos sistemas de riego, doble línea de goteros (T1) y microchorro (T2).

	<b>C.E (us/cm)</b>								
	<b>12-oct</b>	<b>24-oct</b>	<b>7-nov</b>	<b>21-nov</b>	<b>5-dic</b>	<b>20-dic</b>	<b>2-ene</b>	<b>16-ene</b>	<b>29-ene</b>
<b>T1 1 30</b>	1070	990	1055	1028	1088	888	974	1095	1134
<b>T1 1 60</b>	1730	1010	1069	1101	1193	935	978	1187	1238
<b>T1 2 30</b>	1230	1110	1019	1041	1149	860	961	1105	1124
<b>T1 2 60</b>	1230	995	990	1065	1134	902	1046	1095	1127
<b>T1 3 30</b>	1230	1030	1116	1110	1137	878	924	1090	1573
<b>T1 3 60</b>	1190	1010	1217	984	1048	835	930	1075	1235
<b>T1 4 30</b>	1150	1030	1599	1091	1167	843	906	1054	1062
<b>T1 4 60</b>	1170	1100	1078	1015	1150	872	934	1094	1118
<b>T1 5 30</b>	1090	995	976	997	1147	921	972	1125	1220
<b>T1 5 60</b>	1230	1120	1112	1291	1184	2560	3460	2700	1170
<b>T2 1 30</b>	1340	1000	1259	1198	1262	1035	1241	1270	1411
<b>T2 1 60</b>	1710	1120	1390	1509	2070	2300	2440	2090	1908
<b>T2 2 30</b>	1370	1090	1130	1103	1264	1030	1168	1252	1340
<b>T2 2 60</b>	1580	1120	1153	1196	1221	1005	1026	1108	1170
<b>T2 3 30</b>	1140	1200	1055	1019	1117	883	992	1150	1237
<b>T2 3 60</b>	1400	1010	1214	1098	1234	998	1053	1180	1242
<b>T2 4 30</b>	1200	1072	1693	1329	1350	1038	1142	1236	1247
<b>T2 4 60</b>	1560	1115	1729	1354	1448	1166	1243	1408	1491
<b>T2 5 30</b>	980	998	1093	1041	1188	924	978	1097	1178
<b>T2 5 60</b>	1490	1210	1146	1228	1385	1044	1111	1360	1399

ANEXO 11. Contenido de cloruros de la solución del suelo, medida a los 30 y 60 cm de prof. bajo dos sistemas de riego, doble línea de goteros (T1) y microchorro (T2)

	Cloruros (ppm)								
	12-oct	24-oct	7-nov	21-nov	5-dic	20-dic	2-ene	16-ene	29-ene
<b>T1 1 30</b>	140	110	149	126	128	80	82	106	106
<b>T1 1 60</b>	200	130	134	120	134	90	84	100	124
<b>T1 2 30</b>	155	110	163	136	134	84	90	100	104
<b>T1 2 60</b>	165	115	178	130	140	104	112	110	100
<b>T1 3 30</b>	160	112	137	130	128	84	96	100	236
<b>T1 3 60</b>	170	100	148	138	126	76	100	112	122
<b>T1 4 30</b>	148	112	250	142	120	82	88	100	110
<b>T1 4 60</b>	170	130	150	132	140	80	82	106	100
<b>T1 5 30</b>	140	115	128	136	130	88	90	102	110
<b>T1 5 60</b>	150	140	210	130	135	88	95	107	112
<b>T2 1 30</b>	160	100	151	130	132	94	120	120	130
<b>T2 1 60</b>	190	140	154	162	278	260	320	220	190
<b>T2 2 30</b>	180	130	187	152	154	98	108	108	114
<b>T2 2 60</b>	235	180	189	146	170	92	108	108	128
<b>T2 3 30</b>	150	135	145	146	136	96	92	106	110
<b>T2 3 60</b>	180	130	205	132	144	88	102	96	124
<b>T2 4 30</b>	156	118	227	168	156	100	108	122	112
<b>T2 4 60</b>	202	142	406	200	208	130	138	158	192
<b>T2 5 30</b>	130	110	131	134	148	86	88	92	108
<b>T2 5 60</b>	215	120	199	130	138	100	106	102	122

ANEXO 12. Contenido de Sodio de la solución del suelo, medida a los 30 y 60 cm de profundidad bajo dos sistemas de riego, doble línea de goteros (T1) y microchorro (T2)

	Sodio (Meq/l)								
	12-oct	24-oct	7-nov	21-nov	5-dic	20-dic	2-ene	16-ene	29-ene
<b>T1 1 30</b>	4,73	3,23	3,00	4,01	4,32	2,78	2,66	3,09	3,85
<b>T1 1 60</b>	7,75	4,23	3,11	5,19	4,99	3,00	2,74	2,57	3,90
<b>T1 2 30</b>	4,67	3,13	1,99	4,24	4,44	2,73	2,75	3,05	3,85
<b>T1 2 60</b>	5,15	4,44	3,56	5,07	4,94	2,89	3,18	2,86	3,99
<b>T1 3 30</b>	5,32	2,94	2,27	3,02	4,47	2,89	2,78	3,02	9,92
<b>T1 3 60</b>	5,26	3,23	1,94	3,73	4,45	2,92	2,84	3,17	4,41
<b>T1 4 30</b>	4,6	2,94	6,24	4,26	4,61	2,84	2,68	3,14	3,78
<b>T1 4 60</b>	4,46	3,23	2,10	4,10	4,45	2,93	2,73	2,88	3,83
<b>T1 5 30</b>	3,70	2,47	1,15	3,61	4,51	3,21	2,88	3,24	3,82
<b>T1 5 60</b>	5,86	4,89	4,23	4,70	2,94	2,87	2,87	4,02	4,02
<b>T2 1 30</b>	4,94	2,47	1,99	4,00	4,47	3,13	3,29	3,87	5,13
<b>T2 1 60</b>	6,29	1,98	2,22	4,71	6,37	7,32	7,94	7,18	7,14
<b>T2 2 30</b>	6,13	3,68	2,49	4,57	4,85	3,13	3,21	3,73	4,63
<b>T2 2 60</b>	8,39	6,37	5,41	6,65	6,59	4,03	3,47	3,19	4,18
<b>T2 3 30</b>	4,67	3,46	2,16	3,98	4,41	2,56	2,8	3,11	4,04
<b>T2 3 60</b>	6,13	3,90	2,61	4,19	4,89	3,26	3,03	3,61	3,97
<b>T2 4 30</b>	8,39	2,89	6,64	5,33	5,05	3,08	3,17	3,93	4,07
<b>T2 4 60</b>	4,67	3,61	12,41	7,09	6,35	4,92	5,05	5,37	5,56
<b>T2 5 30</b>	3,92	1,98	2,05	3,89	4,69	3,00	2,89	3,48	3,69
<b>T2 5 60</b>	6,72	2,19	1,60	4,29	4,76	3,08	2,94	3,77	4,00

ANEXO 13. Contenido de sulfatos de la solución del suelo, medida a los 30 y 60 cm de prof. bajo dos sistemas de riego, doble línea de goteros (T1) y microchorro (T2)

	SO <sub>4</sub> (ppm)						
	7-nov	21-nov	5-dic	20-dic	2-ene	16-ene	29-ene
<b>T1 1 30</b>	112	170	160	190	200	220	270
<b>T1 1 60</b>	190	180	180	190	200	230	280
<b>T1 2 30</b>	220	180	170	160	210	220	260
<b>T1 2 60</b>	165	190	190	170	240	240	240
<b>T1 3 30</b>	220	200	183	178	190	200	240
<b>T1 3 60</b>	315	170	190	190	210	250	310
<b>T1 4 30</b>	190	200	190	190	190	230	240
<b>T1 4 60</b>	240	180	180	170	210	210	200
<b>T1 5 30</b>	210	180	210	170	200	220	253
<b>T1 5 60</b>	180	210	185	180	215	233	258
<b>T2 1 30</b>	250	230	190	200	240	240	310
<b>T2 1 60</b>	200	340	350	200	230	253	360
<b>T2 2 30</b>	320	210	200	200	250	250	280
<b>T2 2 60</b>	210	260	230	190	210	230	280
<b>T2 3 30</b>	220	210	170	180	200	210	250
<b>T2 3 60</b>	290	230	210	170	220	210	250
<b>T2 4 30</b>	320	300	230	210	230	260	280
<b>T2 4 60</b>	220	290	290	240	290	360	360
<b>T2 5 30</b>	240	210	210	190	200	200	250
<b>T2 5 60</b>	240	190	180	200	200	210	270