

Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor

Volumen Cuatro Fertilización y Riego

Capítulo 2 Riego y Manejo del Agua

Thomas D. Landis, Especialista en Viveros, Región Oeste,
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos,
Dasonomía Estatal y Privada, Portland, Oregon, E.U.A.



Landis, T.D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. In:
Landis, T.D.; Tinus R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. The
Container Tree Nursery Manual, Volume 4. Agric. Handbk.
674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture,
Forest Service: 1-67.

Contenido

	Página
4.2.1 La Importancia del Agua en el Cultivo de Plantas	74
4.2.2 Estado del Agua en Especies Forestales Producidas en Contenedor	75
4.2.2.1 Contenido de humedad	75
4.2.2.2 Potencial hídrico	75
4.2.2.3 Potencial hídrico de la planta	76
4.2.2.4 Potencial hídrico del medio de crecimiento	81
4.2.3 Factores que Afectan la Disponibilidad de Agua en los Contenedores	83
4.2.3.1 Características del sustrato artificial	83
Elevada capacidad de retención de humedad	83
Movimiento del agua en los sustratos artificiales	83
4.2.3.2 Efectos del contenedor	84
4.2.3.3 Pérdida de humedad de las plantas en contenedor	85
4.2.4 Cantidad y Calidad del Agua de Riego	87
4.2.4.1 Cantidad del agua requerida para viveros que producen en contenedor	87
4.2.4.2 Calidad del agua	87
Efectos de las sales en la calidad del agua de riego	87
Efectos de la salinidad en el crecimiento de las plantas	89
Plagas y enfermedades en el agua de riego	93
Contaminación con plaguicidas	93
Análisis de la calidad del agua	93
Tratamientos correctivos para el agua de riego	94
Temperatura del agua	98
4.2.5 Tipos de Sistemas de Riego	99
4.2.5.1 Sistemas de riego en la parte superior	99
Sistemas de riego móviles	99
Aspersores fijos en la parte superior	101
Aspersores basales fijos	102
4.2.5.2 Principios en el diseño de sistemas de riego fijos	102
4.2.5.3 Probando la eficiencia de los sistemas de riego	105
4.2.5.4 Sistemas de riego automáticos	107
4.2.6 Supervisando el Agua en los Contenedores. Determinando Cuándo Regar	109
4.2.6.1 Revisión visual y táctil	109
4.2.6.2 Mediciones del peso del contenedor	109
Desarrollo de una escala de pesos para los contenedores a través de la experiencia	111
Desarrollo de una escala de pesos de los contenedores usando el potencial mátrico del sustrato	111
4.2.6.3 Supervisando el potencial hídrico de la planta con la cámara de presión	112
4.2.7 El Riego como Tratamiento de Cultivo-Determinando qué tanto Regar	114
4.2.7.1 Regando durante la fase de establecimiento	114
4.2.7.2 Regando durante la fase de crecimiento rápido	114
4.2.7.3 Regando durante la fase de endurecimiento	115
4.2.7.4 Regando como protección ante heladas	116
4.2.8 Disposición del Agua de Riego Residual	118
4.2.8.1 Eficiencia del riego con aspersores	118
4.2.8.2 Manejando el agua residual de un vivero	118
4.2.9 Conclusiones y Recomendaciones	120
4.2.10 Referencias	121



4.2.1 La Importancia del Agua en el Cultivo de Plantas

La importancia del agua para el cultivo de especies forestales en contenedor, no debe ser sobreenfatizada. El agua está considerada como el principal factor limitativo del crecimiento en los ecosistemas naturales, y es uno de los factores promotores del crecimiento más importantes en los ecosistemas artificiales, como los invernaderos. La relevancia ecológica del agua refleja su importancia fisiológica, y casi cualquier proceso vegetal está directa o indirectamente afectado por el agua. Como ejemplo, la fotosíntesis disminuye drásticamente conforme la tensión hídrica aumenta (fig. 4.2.1).

El agua afecta el cultivo de las plantas en cuatro formas principales (Kramer, 1983):

- 1 Es el mayor constituyente de una planta, comprendiendo del 80 al 90% del peso fresco.
- 2 Es el "solvente universal", proporcionando transporte de nutrientes dentro de la planta.
- 3 Es un reactivo bioquímico en muchos procesos vegetales, incluyendo la fotosíntesis.
- 4 Es esencial para mantener la turgencia en las células vegetales, promoviendo la expansión celular y el crecimiento vegetal.

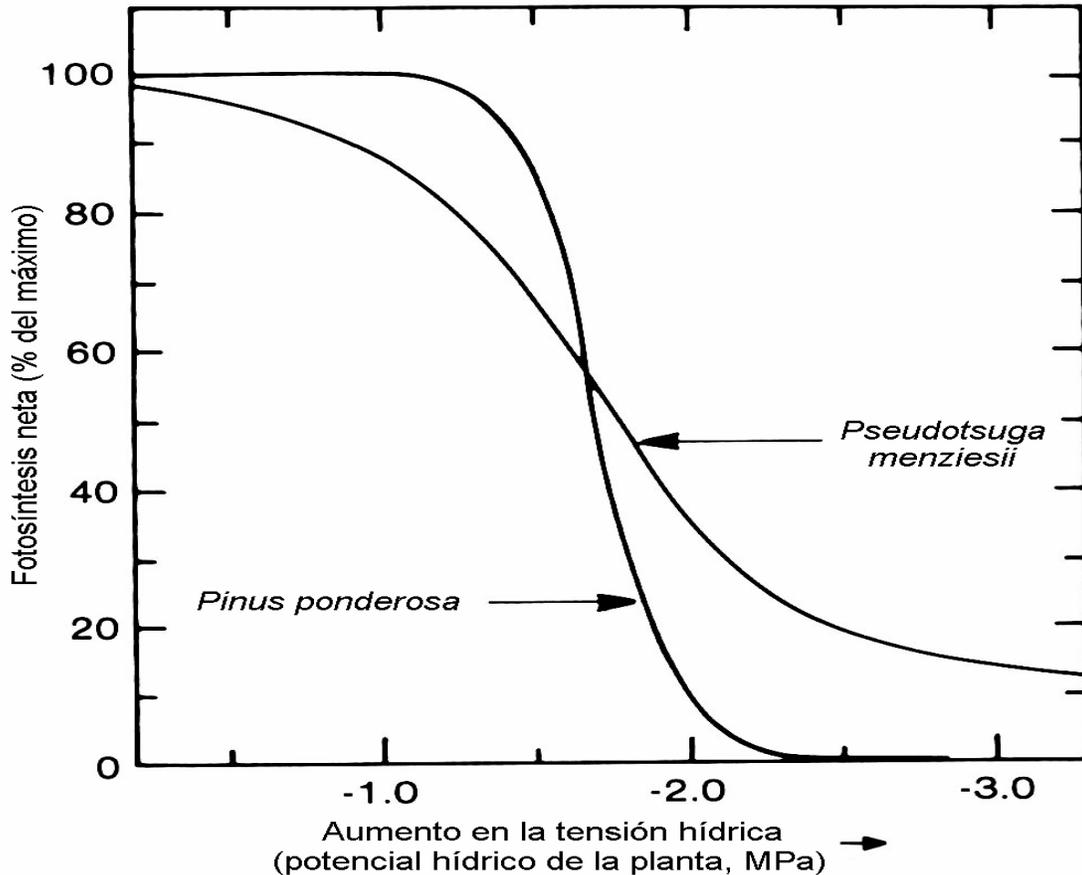


Figura 4.2.1 Incrementando la tensión hídrica (la cual es medida por el incremento de valores más negativos del potencial hídrico de la planta), se reduce la fotosíntesis a tasas diferentes, dependiendo de las características de las especies (modificado de Cleary, 1971).



4.2.2 Estado del Agua en Especies Forestales Producidas en Contenedor

La comprensión de los aspectos físicoquímicos de las relaciones hídricas en las plantas, no es absolutamente necesaria para el manejo exitoso de un programa de riego en los viveros forestales. Sin embargo, los viveristas deberán familiarizarse con los términos que son utilizados universalmente para describir las relaciones hídricas de las plantas. El estado del agua en las plantas puede ser descrito en varias formas distintas: contenido de humedad, potencial hídrico, y movimiento del agua. Probablemente las mediciones más útiles del estado del agua en las plantas, son el contenido de humedad y el potencial hídrico (Spomer, 1985).

4.2.2.1 Contenido de humedad.

El contenido de humedad de una planta puede ser visualizado como una ecuación. En cualquier momento, el contenido de agua de la planta refleja un balance integrado entre la absorción a través de las raíces, y las pérdidas por transpiración del follaje hacia la atmósfera (McDonald y Running, 1979) (fig. 4.2.2). Ritchie (1984), describe el ciclo del agua como un modelo simple de entrada-salida:

$$W = A - T + S$$

Donde: W = contenido de humedad de la planta
A = absorción
T = transpiración
S = almacenamiento

El contenido de humedad de la planta está en un estado de cambio durante el día, cuando las pérdidas por transpiración a través del follaje usualmente exceden la tasa de absorción de agua a través de las raíces. Esta diferencia entre la absorción de agua y la pérdida de humedad, crea tensión hídrica en la planta. La tensión hídrica de la planta es una condición fisiológica normal durante las horas del día; no obstante, si se permite que esta tensión alcance niveles extremos durante largos periodos, la tasa de crecimiento de la planta declina, y eventualmente ésta muere. En los viveros forestales que producen en contenedor, la tensión hídrica de las plantas se mantiene a niveles bajos durante la etapa de cultivo, mediante el uso de riego para estimular el crecimiento. Aunque la tensión hídrica en la planta ha sido descrita de muchas diferentes maneras, la forma más útil para describir el estado del agua en la planta involucra la energía del agua o potencial.

4.2.2.2 Potencial hídrico.

Una discusión completa del potencial hídrico (PH) va más allá del objetivo de este manual, pero la comprensión de los conceptos básicos es de utilidad para el viverista. La siguiente discusión del PH nos ayudará a familiarizar al lector con los términos y unidades relacionadas que serán empleados en el presente capítulo (cuadro 4.2.1).

Aunque la terminología relacionada con el potencial hídrico puede parecer complicada al principio, representa la mejor manera para describir el estado del agua en las plantas, pues los principios básicos y las unidades se mantienen iguales para el medio de crecimiento, la planta y la atmósfera (Spomer, 1985) (figura 4.2.2). Los componentes del Potencial Hídrico, del potencial mátrico en el suelo y del vapor del agua en la atmósfera, pueden ser descritos en las mismas unidades. Una ventaja práctica de este sistema es que las diferentes influencias que afectan el uso y disponibilidad del agua, como es la salinidad, pueden ser descritos en términos de Potencial Hídrico (potencial osmótico en el cuadro 4.2.1).

Los potenciales hídricos se describen en términos de energía - la capacidad para hacer trabajo. La mejor medida es el Potencial Hídrico (frecuentemente representado con la letra griega psi), el cual es la diferencia de energía entre el potencial químico del agua en la planta, el medio de crecimiento o la atmósfera, comparada con la del agua pura, a una temperatura y presión estándar (Kramer, 1983). El Potencial Hídrico del agua pura está definido como cero, y el potencial del agua en una planta o en la solución del medio de crecimiento, está reducido por factores que limitan esta capacidad para hacer trabajo; los Potenciales Hídricos en la naturaleza, por lo tanto, siempre son números negativos (figura 4.2.2). El Potencial Hídrico se expresa mejor en unidades de presión como los bares (sistema métrico decimal), las unidades internacionales estándar actualmente aceptadas, denominadas megapascales (MPa), o las libras por pulgada cuadrada (sistema inglés), equivalentes dimensionalmente a las unidades de potencial químico.

Como se mencionó inicialmente, una de las ventajas de usar el Potencial Hídrico, es que éste puede ser separado en sus componentes: potencial osmótico (PO), potencial de presión (PP), potencial mátrico (PM), y potencial de gravidez

(PG) (cuadro 4.2.1). Los componentes del Potencial Hídrico en una planta o en el sustrato, difieren a causa de las propiedades únicas de cada sistema. Algunos componentes, como es el efecto de gravedad (PG), son insignificantes en las plántulas o en los contenedores pequeños, mientras que otros componentes, como el PP, son no significativos en el medio de crecimiento (cuadro 4.2.1).

4.2.2.3 Potencial hídrico de la planta.

Existen dos términos comúnmente usados para describir el estado del agua en las plantas; la mayoría de los científicos prefieren al potencial hídrico de la planta (PHP), mientras que muchos viveristas y reforestadores, están más familiarizados con la tensión hídrica de la planta (THP). Los dos términos, son idénticos en valor absoluto: El PHP siempre es expresado en términos negativos, mientras que la THP siempre es un número positivo (por ejemplo, un valor de PHP de -1.5 MPa es igual a un valor de 1.5 MPa en THP). Una comparación de las unidades y términos descriptivos para el PHP y para la THP, se proporciona en el cuadro 4.2.2. Observe que una tasa relativamente alta del Potencial Hídrico (por ejemplo -1.0), es "menos negativo" que un valor relativamente menor (por ejemplo, -3.0).

El Potencial Hídrico de la planta, es más práctico que la tensión hídrica de las plantas para propósitos de manejo de viveros, porque el Potencial Hídrico puede ser usado para describir las relaciones hídricas entre suelo-planta-aire (fig. 4.2.2), mientras que la THP solamente es útil en la descripción del estado del agua dentro de las plantas. Por tanto, para mantener consistencia, y para minimizar posibles confusiones, en esta publicación serán empeladas las unidades y los términos de PH. El concepto de "tensión hídrica" está bien establecido en la literatura de viveros, y en la "jerga diaria". Sin embargo, esto no deberá causar problemas, y aún el término "tensión" puede ser empleado operativamente porque el PHP y la THP son equivalentes dimensionalmente, y solamente difieren en signo (cuadro 4.2.2).

El PHP, está compuesto de dos componentes principales: el potencial osmótico (PO), y el potencial de presión (PP) (cuadro 4.2.1). La interrelación de estos factores está ilustrada en la figura 4.2.3, la cual muestra cómo cambia el PHP con el contenido de humedad de la planta (Hofler, 1920; citado por Ritchie, 1984). Cuando una planta está totalmente turgente, el PHP vale cero, porque el PP es positivo, e iguala al PO, el cual es negativo. Conforme la planta pierde humedad a

través de la transpiración, también pierde turgencia (se marchita), y el PP declina en valor hasta que alcanza el cero, punto en el cual la planta está completamente flácida, y el PHP iguala el PO (figura 4.2.3). Este punto de turgencia cero, algunas veces denominado "punto de marchitez", es peligroso para la planta desde un punto de vista fisiológico: el crecimiento cesa y el daño celular puede ocurrir, incluso si esta condición prevalece por un largo tiempo, puede sobrevenir la muerte.

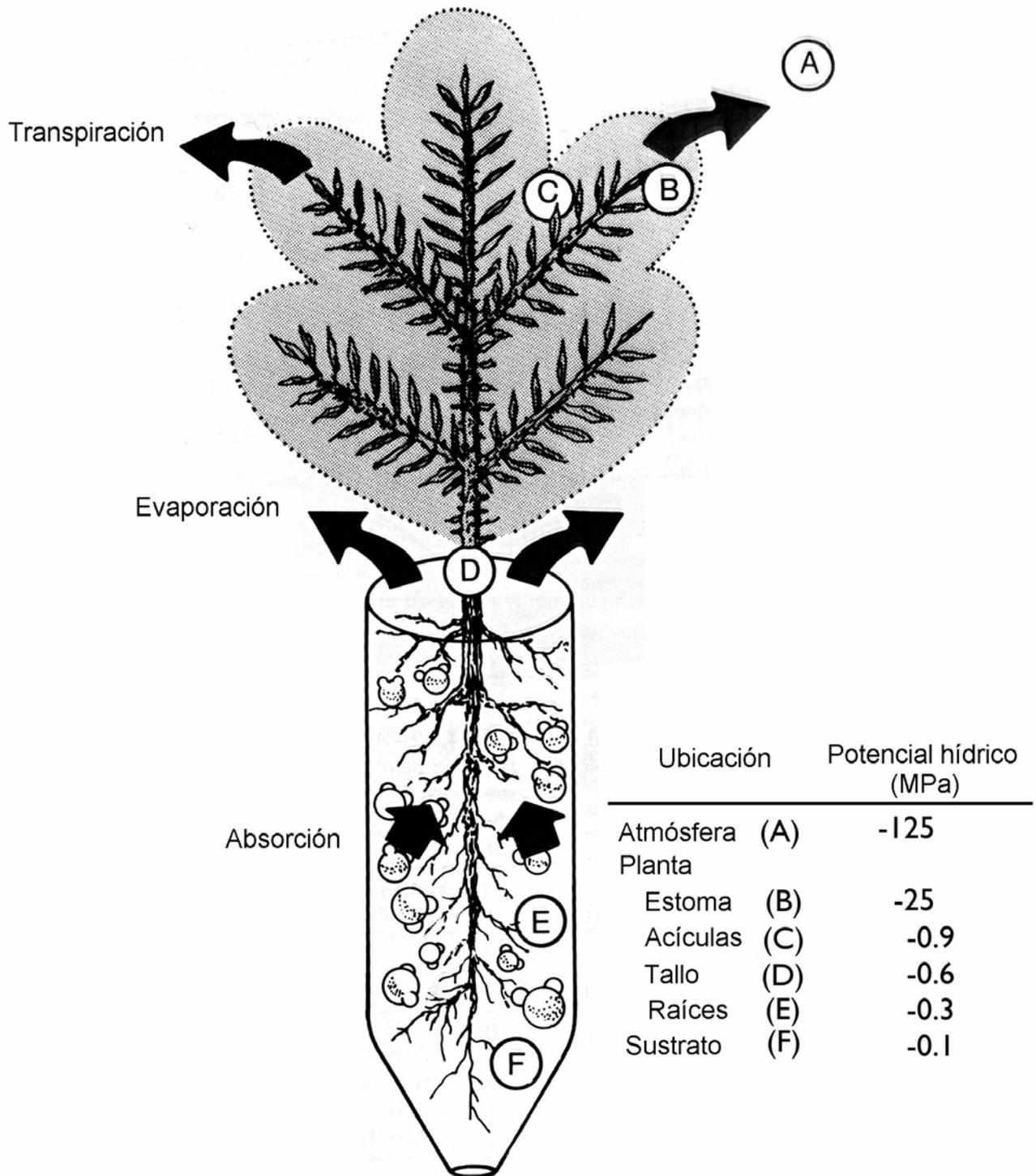


Figura 4.2.2 El agua es llevada a lo largo de un gradiente de potencial hídrico que está conducido por pérdidas evapotranspiracionales, desde niveles altos en el medio de crecimiento (menos negativo), a través de la planta, a niveles más bajos (más negativos) en la atmósfera (modificado de McDonald y Running, 1979).

Cuadro 4.2.1 Términos, definiciones, y unidades usadas para describir las relaciones hídricas de las plantas

Potencial hídrico (PH). Medida del estado de la energía del agua, el cual usualmente está expresado en unidades de presión, y está compuesto por los siguientes factores:

$$PH = PO + PP + PM + PG$$

PO = potencial osmótico, el componente producido por solutos disueltos (siempre negativo, ver figura 4.2.3).

PP = potencial de presión, el componente producido en el interior de las paredes celulares en las plantas, o debido al peso del agua, o a la presión del aire en el suelo (siempre es positivo, ver figura 4.2.3).

PM = potencial mátrico, el componente producido por la atracción adhesiva de moléculas de agua a superficies, o adhesión y cohesión en capilares pequeños (siempre es negativo).

PG = potencial de gravedad, el componente producido por la fuerza de gravedad (siempre es negativo).

Potencial hídrico de la planta (PHP). El estado de la energía del agua dentro de la planta:

(el PM es pequeño en las plantas bien hidratadas; el PG es insignificante en las plántulas pequeñas)

$$PHP = PO + PP$$

Potencial hídrico del medio de crecimiento (PHMC). Estado de la energía del agua dentro del medio de crecimiento:

(el PP y el PG son insignificantes en contenedores pequeños)

$$PHMC = PM + PO$$

Tensión hídrica de la planta (THP). Es una forma de describir el estado del agua de la planta que tiene el mismo valor absoluto que el potencial hídrico, pero de signo contrario:

THP = valores positivos de PHP.

Unidades:

Tanto el potencial hídrico y la tensión hídrica de la planta, comúnmente son expresados en unidades de presión, prefiriéndose los megapascales (MPa) en el sistema internacional:

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ bars} \sim 10 \text{ atm} \sim 150 \text{ psi.}$$

Cuadro 4.2.2 Comparación de unidades y términos descriptivos para el potencial hídrico de la planta (PHP), y para la tensión hídrica de la planta (THP). Observe que ambos tienen los mismos valores absolutos, pero el PHP está medido en unidades negativas, mientras que los valores de THP son positivos.

Potencial hídrico de la planta (PHP)			Tensión hídrica de la planta (THP)		
Unidades	Calificación relativa	HR*	Unidades	Calificación Relativa	
Mpa	Bars		Mpa	Bars	
0.0	0.0	Elevado	0.0	0.0	Bajo
-0.5	-5.0	↓	0.5	5.0	
-1.0	-10.0		Moderado	1.0	10.0
-1.5	-15.0		1.5	15.0	
-2.0	-20.0	Bajo	2.0	20.0	Elevado

* HR = Humedad relativa

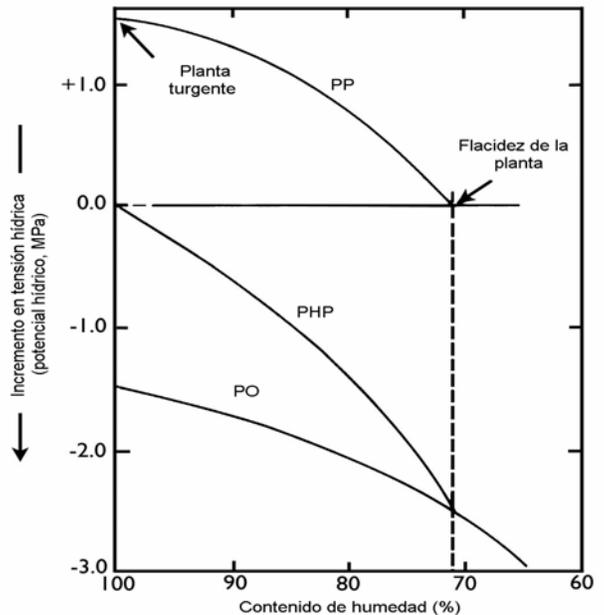


Figura 4.2.3 Las interrelaciones entre el potencial hídrico de la planta PHP y sus componentes; el potencial osmótico PO y el potencial de presión PP, cambian con respecto al contenido de humedad de la planta desde la turgencia hasta el punto de marchitez (Ritchie, 1984).

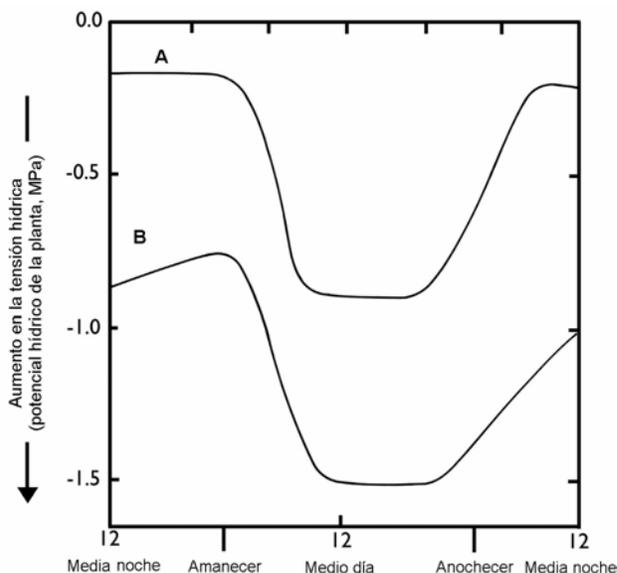


Figura 4.2.4 Patrones diarios del potencial hídrico de la planta para una especie bajo dos ambientes diferentes: elevado potencial hídrico del medio de crecimiento y baja demanda evaporativa (A), bajo potencial hídrico del medio de crecimiento, y elevada demanda evaporativa (B) (Adaptado de McDonald y Running, 1979).

El PHP es dinámico, y cambia con el tiempo, conforme la humedad del suelo y la demanda atmosférica cambian. Los patrones diarios típicos para el potencial hídrico de la planta son proporcionados en la figura 4.2.4 para dos combinaciones distintas de humedad en el medio de crecimiento y de demanda atmosférica. En un día típico, considerando un sustrato bien irrigado (A, en la fig. 4.2.4), una planta comienza a transpirar tan pronto como el sol aparece, y su PHP disminuye (aumenta la tensión) hasta que los estomas se cierran, punto en el cual los niveles de PHP se mantienen estables. Alrededor del ocaso, el PHP comienza a aumentar conforme declina la demanda atmosférica, y la planta recarga su contenido de humedad con el agua del sustrato. La segunda curva (B, en la fig. 4.2.4), muestra el patrón de PHP para una planta bajo una elevada demanda evaporativa y en un sustrato moderadamente seco. El PHP comienza a un nivel inicial bajo, porque la planta no ha sido capaz de recargar completamente su abasto de humedad por la noche y, por tanto, su PHP declina a menores niveles (elevada tensión) durante la tarde. Si este patrón permanece, pueden desarrollarse niveles de tensión hídrica dañinos para la planta.

El PHP puede ser medido a través de varias técnicas, pero la más práctica en un vivero es la cámara de presión (fig. 4.2.5) (nota del traductor: también conocida como cámara de Scholander).

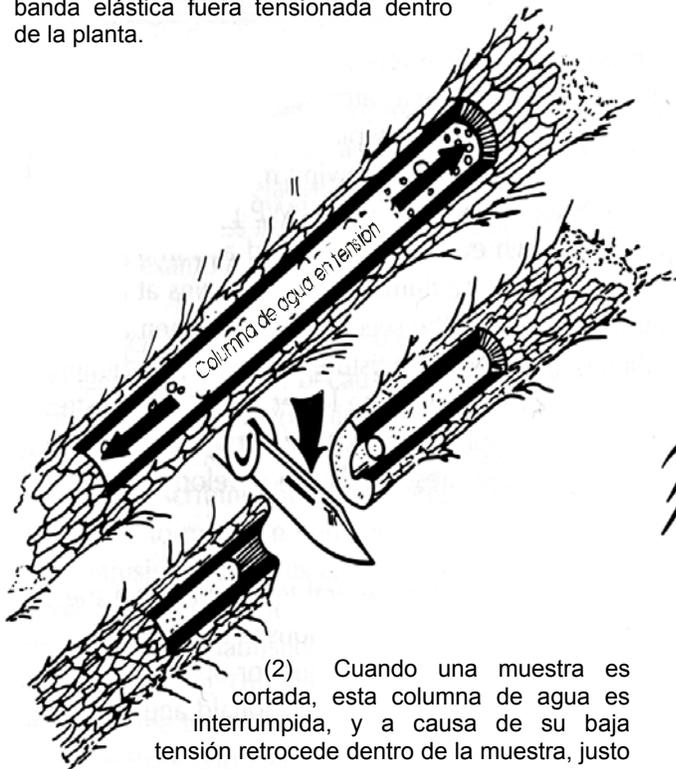
La técnica para operar este instrumento, está bien descrita por McDonald y Running (1979):

Corte una pequeña ramilla o acícula y colóquela en la cámara, con el extremo (corte) sobresaliendo de la tapa. Una analogía útil, es imaginar la columna de agua en la planta como una banda elástica. Conforme la tensión hídrica aumenta en la planta, esta banda elástica se contrae. Cuando la ramilla o la acícula se corta de la planta, la tensión en la banda elástica (columna de agua), origina que el agua se retraiga de la superficie cortada. Mediante la lenta aplicación de presión de gas al extremo contrario, el agua es forzada a retroceder a la superficie de corte en la ramilla. Cuando la presión de gas es exactamente igual a la tensión (PHP) que se está ejerciendo sobre la columna de agua, el agua aparecerá en la superficie de corte; la lectura de la escala de la cámara de presión en ese preciso instante indica el PHP.

Han sido desarrolladas nuevas técnicas para la medición del PHP. Dixon y Tyree (1984), describen un higrómetro que puede ser fijado al tallo de plantas leñosas, el cual es capaz de medir directamente el PHP. El higrómetro es una pequeña cámara de metal, la cual alberga unos sensores termopares minúsculos, que se puede fijar al tronco durante varias semanas. Una limitante de esta técnica es que el diámetro óptimo del tronco es de aproximadamente 8 a 10 mm (0.31 a 0.39 pulgadas), valor superior al diámetro de la mayoría de las plantas empleadas en la reforestación. Aunque se ha desarrollado en la actualidad investigación básica, las modificaciones que en el futuro se harán a esta tecnología podrían producir una técnica para el seguimiento continuo del PHP en un vivero en operación.

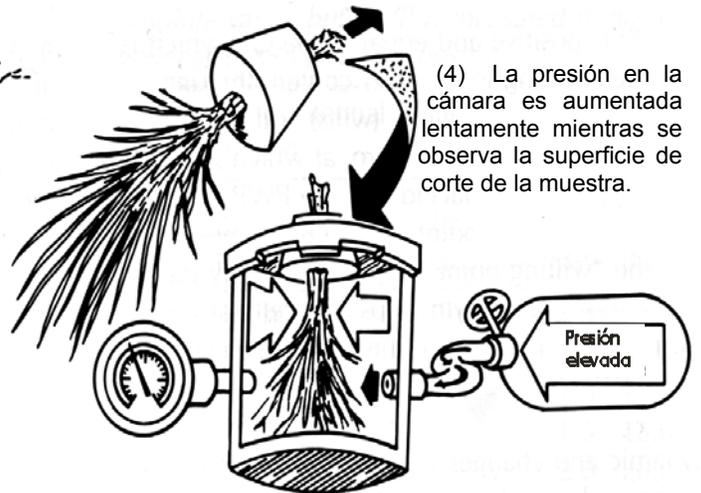


(1) La columna de agua en una planta está casi siempre bajo tensión, como si una banda elástica fuera tensionada dentro de la planta.



(2) Cuando una muestra es cortada, esta columna de agua es interrumpida, y a causa de su baja tensión retrocede dentro de la muestra, justo como los extremos de una banda elástica cortada.

(3) La muestra es colocada en la cámara, con la superficie de corte sobresaliendo de una cavidad. La presión es entonces aumentada en el interior de la cámara, y la columna de agua dentro de la muestra es entonces forzada hacia la superficie de corte. La presión requerida para hacer esto, es igual a la tensión de la columna de agua al momento que la muestra fue cortada.



(4) La presión en la cámara es aumentada lentamente mientras se observa la superficie de corte de la muestra.

(5) Cuando el agua aparece en la superficie cortada, se registra la presión (THP) de la cámara.

Figura 4.2.5. La cámara de presión ofrece una medida directa del PHP o de la THP (cortesía de PMS Instrument Company, Corvallis, OR, E.U.A.).

4.2.2.4 Potencial hídrico del medio de crecimiento.

A causa de las grandes variaciones en la densidad, espacio poroso, y tamaño y distribución de los poros, el agua en el medio de crecimiento se describe mejor mediante potenciales, más que con base en el peso. Un sustrato con textura fina, usualmente contiene más agua en peso que otro de textura gruesa, pero menos agua estará disponible para la absorción por la planta, y para el crecimiento (Bunt, 1976). El potencial hídrico, por otro lado, da una indicación del agua disponible para el cultivo de las plantas, independientemente de la textura del sustrato.

El potencial del agua en la solución del sustrato, es denominado potencial hídrico del medio de crecimiento (PHMC), y está compuesto de dos partes: El PO, que refleja la influencia de sales disueltas, y el PM, el cual mide la atracción de las moléculas de agua por las superficies y poros pequeños en el sustrato (cuadro 4.2.1). El PO de la solución del medio de crecimiento aumenta (se hace más negativo) conforme el contenido de humedad del suelo disminuye debido a la evaporación o la transpiración, y la salinidad de la solución del medio de crecimiento aumenta -una reducción de 50% en el contenido de humedad del suelo duplicará, aproximadamente, la concentración de sales (Bunt, 1976) (Los efectos de la elevada salinidad en el cultivo de plantas son discutidos en la sección 4.2.4.2).

El PM refleja la energía con la cual el agua es retenida por fuerzas mátricas en el sustrato, y está relacionado con el tamaño de los poros en el medio de crecimiento. El volumen de los poros en el sustrato, es función del tamaño de las partículas y de su arreglo, y está compuesto de aire y agua, que cambian en proporción inversa uno con respecto al otro. Después del riego, el exceso de agua es drenado fuera del contenedor por gravedad, dejando el sustrato esencialmente saturado; este punto es denominado "capacidad del contenedor", y difiere del término tradicional capacidad de campo, debido al efecto del contenedor (ver sección 4.3.2.2). A capacidad de contenedor, el PM es muy elevado (la tensión hídrica es muy baja), y el agua rápidamente está disponible para la planta. Conforme el sustrato pierde humedad a través de la evaporación y la transpiración, los poros grandes se drenan primero, y son llenados con aire. Sin embargo, los poros nunca se drenan por completo, pues una película de agua cada vez más delgada rodea a las partículas del medio de crecimiento. Tanto más delgada sea esta película, será menor el PM

(mayor la tensión hídrica) y menor humedad estará disponible para la planta. Los poros más pequeños son los últimos en perder su humedad. Eventualmente, el contenido de humedad del medio (y el PM) será tan bajo, que la planta es incapaz de obtener agua tan rápido como la pierde por transpiración, y ésta comenzará a perder turgencia y a marchitarse. El punto de marchitez permanente, ocurre cuando la planta es incapaz de recargar sus reservas de humedad en la noche, y se mantiene flácida (Bunt, 1976).

El PHMC y el PHP están muy relacionados; el patrón del PHP para una planta en un sustrato húmedo (elevado PHMC), pero que no es regado, se muestra en la figura 4.2.6. Conforme el sustrato se seca, el PHMC disminuye gradualmente. La curva normal del PHP ocurre cada día (fig. 4.2.4A), pero el PHP disminuye a un nivel mínimo cada día, porque la planta no es capaz de recargar su abasto de humedad del sustrato cada vez más seco. El PHP se hace más y más negativo, hasta que por fin la planta es incapaz de recuperarse.

La mayoría de los instrumentos miden sólo el PM, e ignoran el PO, el cual puede ser un componente significativo en los sustratos fuertemente fertilizados, como los empleados en invernadero (fig. 4.2.7). El PM puede ser medido directamente con una membrana de presión, en un laboratorio de análisis, o con un tensiómetro en el vivero. El mejor método para medir el PHMC, parece ser la técnica de psicrómetro termopar de alambre pequeño. Estos pequeños psicrómetros, están contenidos en bulbos porosos y son fijados a conductores eléctricos; el PHMC puede ser medido directamente, con un microvoltímetro (Kramer, 1983). Estos psicrómetros, pueden colocarse dentro del sustrato, en el contenedor, y el PHMC se mide fácil y simultáneamente. Esta técnica no se había usado operativamente en ninguno de los viveros que respondieron la encuesta, pero su uso puede ser promisorio como una forma para revisar la humedad del suelo en contenedores (Las formas comunes para la supervisión del riego, son discutidas en la sección 4.2.6).

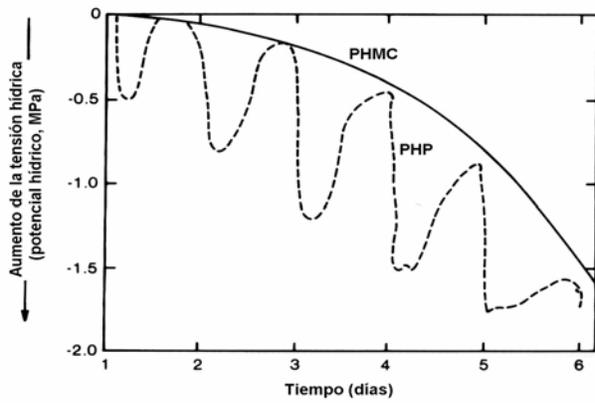


Figura 4.2.6 La relación entre el potencial hídrico de la planta (PHP) y el potencial hídrico del medio de crecimiento (PHMC), en un contenedor sin riego: el patrón diario del PHP disminuye gradualmente conforme el medio de crecimiento (sustrato) se seca, y el PHMC disminuye (adaptado de Slatyer, 1967).

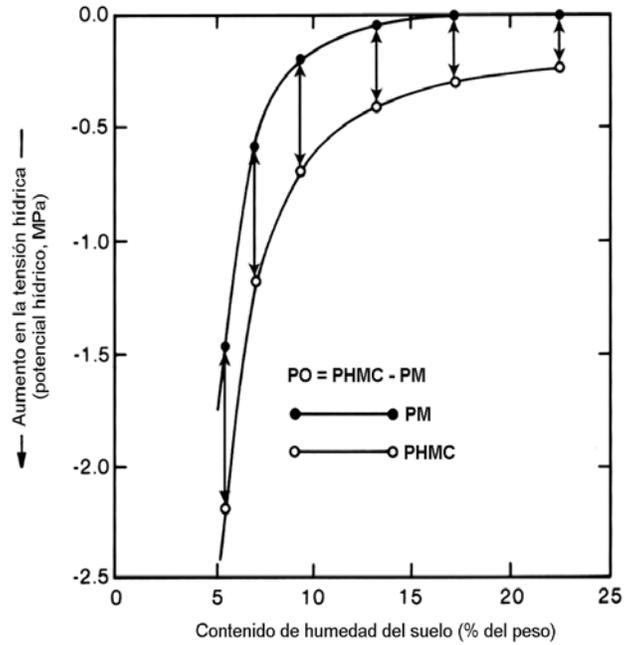


Figura 4.2.7 La fertilización pesada del sustrato en el contenedor, produce un potencial osmótico significativo (PO), que aumenta con los contenidos de humedad bajos. El PO es la diferencia entre el potencial hídrico del medio de crecimiento (PHMC) y el potencial mátrico (PM) (Adaptado de Newman, 1966).



4.2.3 Factores que Afectan la Disponibilidad de Agua en los Contenedores

4.2.3.1 Características del sustrato artificial.

El uso de "suelo artificial", compuesto de materiales como la turba de musgo y la vermiculita, afecta muchas propiedades del agua en los medios de crecimiento, como es la capacidad de retención de humedad, y el movimiento del agua.

Elevada capacidad de retención de humedad.

La mayoría de los medios de crecimiento usados en los viveros forestales que producen en contenedor, como la mezcla de turba de musgo y vermiculita, tienen la propiedad de absorber y retener un mayor porcentaje de agua, en comparación con los suelos minerales de los viveros que producen a raíz desnuda. La forma más precisa de ilustrar esta diferencia, es con una curva de retención de humedad del suelo, que muestra la relación entre la humedad gravimétrica del suelo, y el PM. Las curvas de retención de humedad en el suelo, son desarrolladas en un laboratorio edafológico usando un aparato de placa de presión; pueden desarrollarse curvas diferentes para cada tipo de suelo o de medio de crecimiento, porque las relaciones cambian significativamente con base en las características físicas, particularmente textura y estructura. La figura 4.2.8 muestra dos curvas de retención de humedad para suelo de textura fina de un vivero que produce a raíz desnuda, y para un sustrato a partes iguales de turba-vermiculita; observe que el sustrato a base de turba-vermiculita retiene considerablemente más agua en todo el intervalo del PM. Las propiedades del sustrato de turba-vermiculita, son discutidas más adelante, en el capítulo relativo a medios de crecimiento, en el volumen dos de esta serie.

Movimiento del agua en los sustratos artificiales.

La tasa de infiltración y la conductividad capilar del sustrato de turba-vermiculita, cambia con el contenido de humedad. Cuando el agua de riego es aplicada a la superficie de un contenedor, la tasa a la cual es absorbida dentro del medio de crecimiento, es denominada tasa de infiltración. Esta, para el sustrato de turba-vermiculita, es relativamente elevada, pues la mayoría de los medios de crecimiento tienen una buena porosidad. Sin embargo, si a un medio se le permite secarse, la tasa de infiltración puede ser severamente restringida, pues las partículas secas de turba repelen el agua y se vuelven hidrofóbicas (Furuta, 1978). Los agentes humectantes (surfactantes) están disponibles comercialmente, y pueden ser aplicados a los sustratos para incrementar la tasa de infiltración; estos productos

químicos son detergentes que rompen la tensión superficial del agua, y provocan que ésta penetre el sustrato mucho más fácilmente. Los agentes humectantes con frecuencia son empleados durante el periodo de endurecimiento, para restaurar el sustrato después de que ha sido secado para inducir tensión hídrica en la planta (ver sección 4.2.7.3).

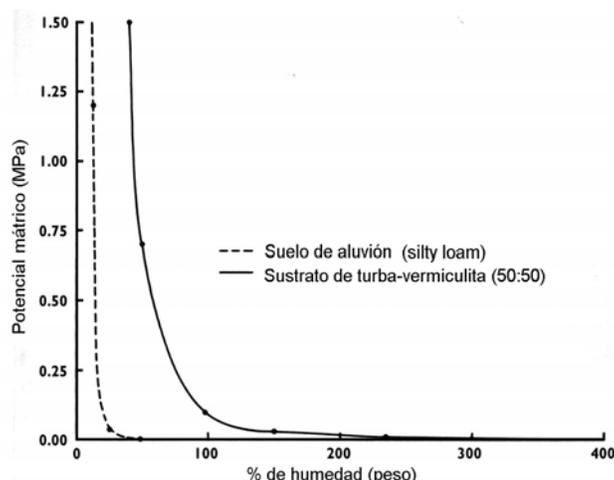


Figura 4.2.8 La comparación entre las curvas de retención de humedad del suelo típico (silty loam) empleado en un vivero que produce a raíz desnuda, y del sustrato de turba-vermiculita, muestra que el sustrato artificial retiene considerablemente más agua en todos los potenciales mátricos.

La conductividad capilar se refiere a la tasa del movimiento del agua en el medio de crecimiento, especialmente en respuesta a la absorción por la planta. Durante el riego, la conductividad capilar del sustrato de turba-vermiculita es elevada en dirección hacia abajo, debido a la gravedad, pero después del riego, la conductividad capilar puede ser limitada en varios sustratos porosos (Furuta, 1978). Hanan *et al.* (1978), estudió la conductividad capilar de dos sustratos con diferentes texturas, y encontró que las plantas cultivadas en mezclas muy porosas, podrían experimentar severa tensión hídrica, aunque el agua fuera exprimida manualmente. El movimiento del agua en el sustrato puede ser incrementado usando componentes que proporcionen una mezcla de tamaños diferentes de partículas, y asegurándose de que el sustrato esté firmemente apisonado dentro del contenedor durante el llenado y acomodo. No obstante, el uso de sustratos que estén muy finos, o excesivamente compactados, puede originar condiciones de saturación de humedad, con serias reducciones en el crecimiento de la planta.

4.2.3.2 Efectos del contenedor.

El agua en el contenedor se comporta de manera diferente que el agua en el suelo no confinado; este hecho deberá entenderse por los viveristas porque afecta el manejo del agua, y las prácticas de riego resultantes. La aplicación de una cantidad dada de agua a una cantidad fija de sustrato en un contenedor pequeño, produce un contenido de humedad diferente, diferente movimiento de la humedad, y por tanto una diferente respuesta de la planta, que la misma cantidad de agua aplicada al mismo volumen de suelo no confinado (Furuta, 1978).

Cuando el riego es aplicado a un contenedor lleno, el agua se percola hacia abajo, por la fuerza de gravedad, hasta que alcanza el fondo del contenedor; en este punto, el flujo de agua cesa porque la fuerza de gravedad es menor que la de las fuerzas de adhesión y cohesión combinadas con la columna de agua. El drenaje sólo se produce en el fondo del contenedor cuando la fuerza debida a la altura de la columna de agua es suficiente para superar estas fuerzas de adhesión y cohesión. El significado biológico de este patrón de drenaje es que siempre existe una zona con sustrato saturado en la interfase sustrato/aire, en el fondo del contenedor (Furuta, 1978). La profundidad de esta capa saturada, está en función de la textura del sustrato, como se presenta en la figura 4.2.9. La profundidad de esta zona saturada será mayor en los sustratos de textura fina, en comparación con los de textura gruesa, porque las fuerzas de capilaridad son mayores en los poros más pequeños.

La altura del contenedor determina la proporción del sustrato con drenaje libre que éste contiene, asumiendo que la textura del sustrato sea la misma (Whitcomb, 1984). Un contenedor con 10.2 cm (4 pulgadas) de altura, tendrá la misma profundidad de sustrato saturado, que uno con 25.4 cm (10 pulgadas) de altura, pero el contenedor más pequeño tendrá proporcionalmente menos sustrato de drenado libre (fig. 4.2.10). Este efecto de "capilaridad adicional" es independiente del diámetro del contenedor o de su forma. Para un contenedor dado, la única forma de modificar la profundidad de esta capa saturada, es cambiar la textura del sustrato a una mezcla más gruesa (Furuta, 1978). La presencia de esta franja saturada tiene serias implicaciones para la aireación del medio de crecimiento; Bunt (1976) muestra que cambiando la altura del contenedor, de 5 a 20 cm (2 a 7.9 pulgadas) aumentó el volumen de aire en el contenedor, de 4 a 8% (fig. 4.2.11).

Los contenedores que son empleados en muchos viveros forestales, tienen un diámetro relativamente pequeño y un volumen limitado. El diámetro pequeño es importante operativamente porque es extremadamente difícil distribuir el riego uniformemente entre contenedores, lo cual acarrea una considerable variación en el contenido de humedad del sustrato. Este problema de distribución se hace aún más crítico cuando las plantas crecen y su follaje comienza a interceptar el riego antes de que el agua alcance la parte superior del contenedor. La interceptación del follaje es particularmente seria para las especies latifoliadas. A causa de que los contenedores pequeños tienen un volumen correspondientemente más pequeño de sustrato, éstos tienen reservas de humedad limitadas, y requieren de frecuentes riegos, especialmente en los momentos de elevadas pérdidas evapotranspirativas (Furuta, 1978).

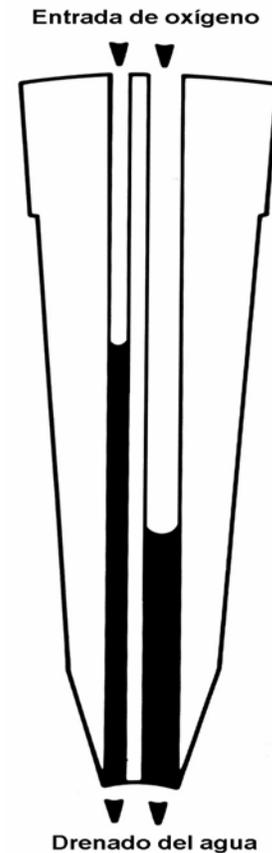


Figura 4.2.9 El efecto de capilaridad del agua en el sustrato, está influenciado por el tamaño promedio de los poros del mismo. Un sustrato con textura fina, con poros promedio pequeños (tubo delgado), puede retener más agua que un sustrato con textura gruesa (tubo grueso) (modificado de Whitcomb, 1984).

4.2.3.3 Pérdida de humedad de las plantas en contenedor.

Junto con el agua en exceso que drena por gravedad, existen dos formas de pérdida de agua en contenedores de paredes sólidas en los viveros forestales que producen en contenedor: la evaporación de la superficie del sustrato, y la transpiración de la planta. Las tasas de evapotranspiración están relacionadas con la entrada de energía, principalmente radiación solar en un invernadero. La evapotranspiración aumenta con las temperaturas elevadas, bajas humedades relativas, e incremento en el movimiento del aire. Las pérdidas de agua por la planta son mayores, por tanto, cuando las temperaturas elevadas conllevan a la abertura de ventilas en un invernadero cerrado. Las elevadas temperaturas y vientos desecantes, pueden también aumentar el uso del agua en estructuras de ambiente semi-controlado. Aunque han sido desarrolladas muchas ecuaciones para predecir matemáticamente la cantidad de agua perdida a partir de factores climáticos en cultivos agrícolas, éstos resultan muy imprecisos para efectos prácticos en el manejo del riego en los viveros forestales que producen en contenedor.

Las pérdidas evapotranspirativas en los viveros que producen en contenedor, pueden ser divididas en dos periodos de tiempo generales. La evapotranspiración de la superficie del sustrato representa la mayor pérdida en la etapa temprana de crecimiento (fig. 4.2.12A). Sin embargo, conforme las plántulas crecen la transpiración foliar es responsable de una gran proporción de las pérdidas de humedad, porque el sistema radical puede extraer agua del sustrato; al mismo tiempo, el follaje sombrea la superficie del sustrato, lo cual reduce la evaporación (Furuta, 1978). Este cambio en el uso del agua afecta su estado en el medio de crecimiento, y las prácticas de riego resultantes. Durante la germinación y la emergencia, el sustrato se seca sólo en la capa superficial, mientras que después en la etapa de crecimiento, la humedad del sustrato será mermada en todo el contenedor (fig. 4.2.12). Las diferentes especies de plantas usan el agua a diferentes tasas; Ballard y Dosskey (1985), hallaron que plantas de *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) usan más agua que cualquiera de las dos especies de *Tsuga* (hemlock) (fig. 4.2.13). Las prácticas de riego que son empleadas para manejar estos modelos cambiantes del uso del agua, son discutidas en las secciones 4.2.6 y 4.2.7.

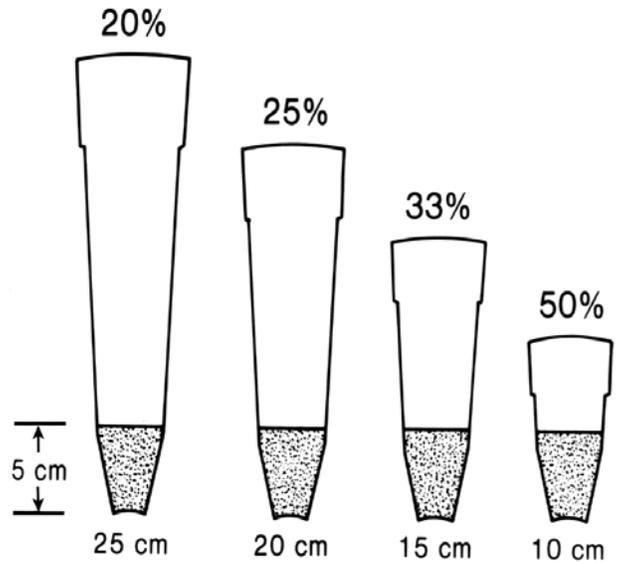


Figura 4.2.10 La profundidad de la capa saturada del sustrato, en el fondo del contenedor, es proporcionalmente mayor en los contenedores pequeños, cuando se tiene el mismo tipo de sustrato (modificado de Whitcomb, 1984).

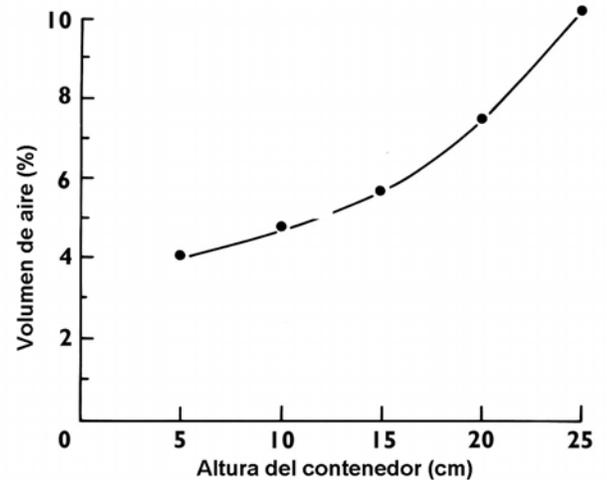


Figura 4.2.11 El volumen relativo de espacios con aire (porosidad de aireación) en un sustrato, aumenta con la altura del contenedor (Bunt, 1976).

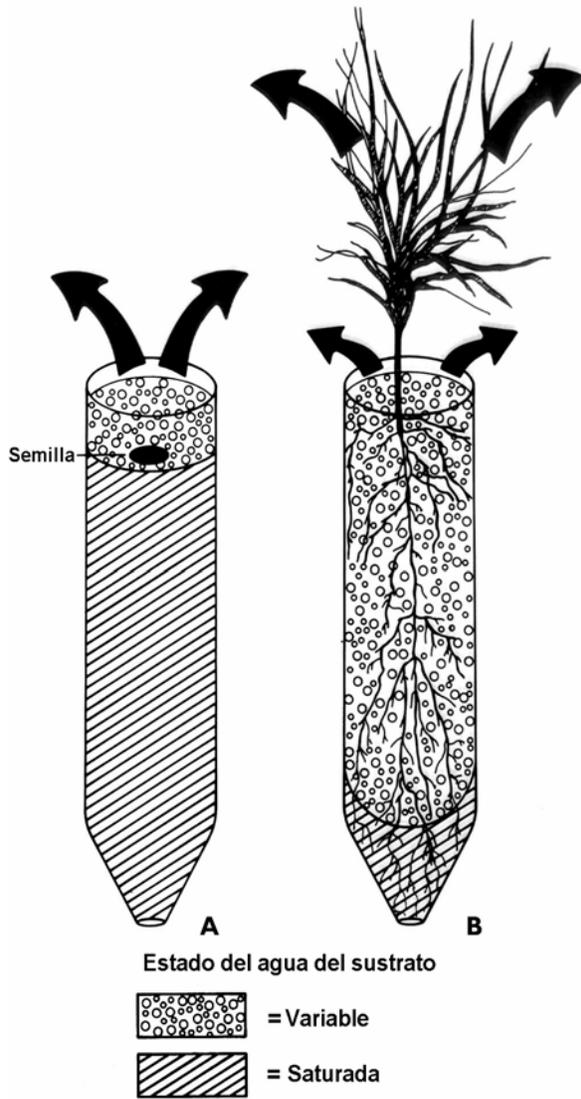


Figura 4.2.12 Existen dos etapas de pérdida de humedad por evapotranspiración en los viveros que producen en contenedor. La evaporación (A), es la fuerza primaria durante la germinación y la emergencia de la plántula, pero la transpiración (B), se hace dominante después de que la raíz ocupa el contenedor.

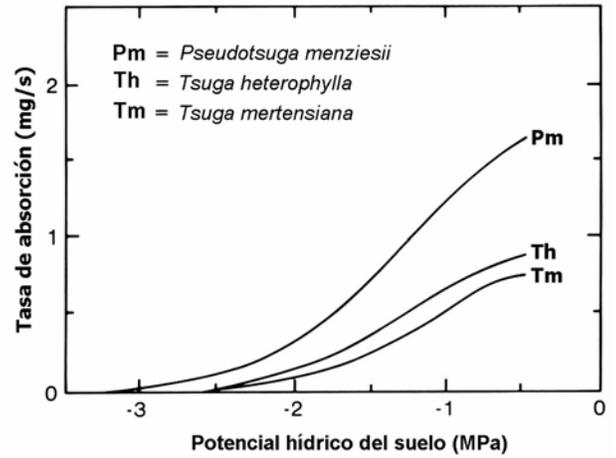


Figura 4.2.13 Las diferentes especies de plantas absorben agua a diferentes tasas (Ballard y Dosskey, 1985).



4.2.4 Cantidad y Calidad del Agua de Riego

Puesto que el agua es considerada el factor biológico más importante que controla el crecimiento de la planta, la cantidad y especialmente la calidad del agua de riego es el factor individual ambiental más importante en la operación de viveros que producen en contenedor. Un vivero exitoso debe contar con un abastecimiento permanente de agua de buena calidad para el riego, disponible a lo largo del ciclo de cultivo. Gartner (1981), establece la importancia de la calidad del agua en la elección del sitio para establecer el vivero, y discute las características de diferentes fuentes de agua de riego. Tanto la cantidad como la calidad del agua de riego, de fuentes potenciales, deberán ser verificados del todo antes del establecimiento de un vivero (Los criterios para la elección del sitio son discutidos en el volumen uno de esta serie).

4.2.4.1 Cantidad del agua requerida para viveros que producen en contenedor.

Básicamente hay dos fuentes de agua de riego para abastecer los viveros forestales: agua subterránea y agua superficial. Ambas fuentes han sido empleadas exitosamente, aunque los arroyos, reservorios o lagos, son fácilmente contaminables por agentes fitopatógenos o semillas de malezas.

La primera consideración en la selección de la fuente de agua de riego, es asegurarse que estará suficientemente disponible durante todo el ciclo de cultivo, para todos los usos posibles en el vivero. La disponibilidad de agua con frecuencia es un problema al inicio de la primavera y al final del otoño, si el riego es requerido para protección ante heladas en complejos de cultivo a la intemperie, o en áreas de endurecimiento de la planta. La disponibilidad de agua superficial puede ser más variable que la de pozo, aunque la confiabilidad de cualquier fuente de agua de riego deberá ser bien investigada antes de que el vivero sea construido.

La cantidad de agua necesaria para producir especies forestales en contenedor, depende de muchos factores, como el clima, el tipo de estructura, el tipo de sistema de riego, el sustrato, y las características de la planta. Matthews (1983), calculó que 1 000 plantas de coníferas en bloques de poliestireno expandido (Styroblock 2®, con $41 \text{ cm}^3 = 2.5$ pulgadas cúbicas de capacidad), requieren de 45.4 litros (12 galones) de agua por semana, dependiendo del tipo de sistema de riego. En el vivero Mt. Sopris, en Colorado, EUA, un

cultivo de 1 000 plantas de coníferas en celdas individuales (Ray Leach Single Cell®), con 164 cm^3 (10 pulgadas cúbicas), requirieron de 56.8 litros (15 galones) en la etapa inicial, hasta más de 189.3 litros (50 galones) por semana durante la etapa de crecimiento. El Vivero Forestal de Investigación de la Universidad de Idaho, en Moscow, Idaho, EUA, utiliza de 42.6 a 54.7 litros (11.2 a 14.4 galones) de agua de riego por semana, para 1 000 plantas de coníferas en contenedores tipo (Ray Leach Pine Cell®), con 65 cm^3 (4 pulgadas cúbicas) de capacidad. El Vivero Forestal del Estado de Colorado, en Ft. Collins, utiliza de 75.8 a 94.6 litros (20 a 25 galones) de agua de riego por semana para un millar de sus contenedores grandes de espuma de poliestireno expandido (Styrofoam®), con 492 cm^3 (30 pulgadas cúbicas) de capacidad.

4.2.4.2 Calidad del agua.

La calidad el agua de riego, es otro factor importante en la selección y manejo del vivero forestal. La calidad del agua deberá ser una de las primeras consideraciones en la evaluación del sitio para el establecimiento de un nuevo vivero, debido a que no existe una forma económica de mejorar la calidad del agua de riego.

El término calidad del agua, significa distintas cosas para diferentes personas, porque la calidad depende del uso pretendido. Para propósitos domésticos, factores como el color, sabor, turbidez, olor, y concentraciones de iones tóxicos, determinan la calidad del agua, mientras que para propósitos de riego, la calidad está determinada por dos factores:

1. La concentración y la composición de sales disueltas (salinidad total e iones tóxicos individuales).
2. La presencia de hongos fitopatógenos, semillas de malezas, algas, y posible contaminación con plaguicidas.

Efectos de las sales en la calidad del agua de riego. La salinidad está considerada como el factor principal en la determinación de la calidad del agua en la agricultura (Richards, 1969). Para nuestros propósitos, una sal puede ser definida como un compuesto químico que libera partículas cargadas, denominadas iones, cuando es disuelta en agua: por ejemplo, el nitrato de potasio (KNO_3) libera dos iones, un catión, cargado positivamente

(K⁺) y otro cargado negativamente, un anión (NO₃⁻). Las sales pueden ser benéficas o perjudiciales, dependiendo de las características de los iones específicos involucrados, así como de la concentración total de sales. El KNO₃ es una sal fertilizante, y ambos, el K⁺ y el NO₃⁻ son iones nutrientes, mientras que otras sales, como el cloruro de sodio (NaCl), consisten de iones perjudiciales (Na⁺ y Cl⁻), que dañan o incluso matan el tejido vegetal. Se proporciona una lista de los principales iones que afectan la calidad del agua de riego en el cuadro 4.2.3.

Muchos términos y unidades han sido usados para describir la salinidad (cuadro 4.2.4). Puesto que una solución acuosa de iones disueltos conduce la electricidad, la salinidad tradicionalmente es expresada como conductividad eléctrica (CE); tanto mayor la concentración de sales, mayor el valor de CE. La CE es medida en unidades de conductancia eléctrica sobre una distancia específica (usualmente 1 cm), y a una temperatura estándar [25°C (77°F)]. Las unidades más comúnmente empleadas en la estimación de la calidad del agua de riego, son los micromhos por centímetro (que se abrevian μmho), y las unidades del sistema internacional, los microsiemens por centímetro, que son equivalentes. Los microsiemens por centímetro (abreviados como μS/cm), serán utilizados como unidad estándar de CE en esta publicación.

Otro sistema para reportar el contenido total de sales del agua de riego son los sólidos disueltos totales (SDT), los cuales pueden ser determinados mediante la evaporación de una cantidad (en peso) conocida de agua, y pesando el depósito de sales resultante (California Fertilizer Association, 1985). Los SDT en partes por millón, pueden ser estimados multiplicando la CE (en microsiemens por centímetro) por 0.64 (cuadro 4.2.4).

Cuadro 4.2.3 Cationes y aniones que afectan la calidad del agua de riego.

Nombre del ión	Símbolo químico	Peso equivalente
Cationes		
Calcio	Ca ²⁺	20
Magnesio	Mg ²⁺	12
Sodio	Na ⁺	23
Potasio	K ⁺	39
Aniones		
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	61
Carbonato	CO ₃ ²⁻	30
Cloro	Cl ⁻	36
Sulfato	SO ₄ ²⁻	48
Boro ¹	--	--

¹ El boro se presenta en varias formas iónicas diferentes en el agua de riego, y por tanto, no puede ser proporcionado en una fórmula iónica específica, o un peso equivalente.

Fuente: California Fertilizer Association (1985).

Cuadro 4.2.4 Términos y unidades utilizados para describir los efectos de la salinidad en el agua de riego.

Unidades	Abreviaturas	Factores de conversión
Sales totales		
Conductividad eléctrica (CE)		
sistema mhos		
mho/cm a 25°C	mho/cm	
milimho/cm	mmho/cm	1 mmho = 10 ⁻³ mho
micromho/cm	μmho/cm	1 μmho/cm = 10 ⁻⁶ mho
mhos/cm x 10 ⁻⁵	mhos/cm x 10 ⁻⁵	
sistema siemens*		
milisiemens/cm	mS/cm	1 mS = 1 mmho
microsiemens/cm	μS/cm	1 μS/cm = 1 mcmho = 10 ⁻³ ms
decisiemens/m	dS/m	1 dS/m = 1 mS/cm
Sólidos disueltos totales (SDT)		
partes por millón	Ppm	SDT (ppm) = (μS/cm) x 0.64
miligramos por litro	mg/l	1 ppm = 1 mg/l
Iones específicos		
miliequivalentes por litro	meq/l	Para sales totales: 1 meq/l = μS/cm dividido por 100
miligramos por litro	mg/l	1 ppm = 1 mg/l
partes por millón	Ppm	ppm = meq/l x PE
peso equivalente	PE	PE = peso atómico entre valencia
granos por galón	gpg	gpg x 17.2 = ppm

*Las unidades siemens son estándares en el sistema internacional, y los microsiemens por centímetro (μS/cm) son las unidades preferidas al evaluar la calidad del agua de riego.

Los iones específicos, generalmente son descritos en unidades de miliequivalentes por litro (meq/l) o en partes por millón (ppm) (cuadro 4.2.4). Las primeras son las unidades preferidas para propósitos de determinación de calidad de agua, mientras que los últimos son más prácticos para cálculos de fertilización, así que ambos deberán ser solicitados cuando se mandan hacer pruebas de calidad de agua de riego. Aunque la conversión exacta varía con los iones involucrados, 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de salinidad son aproximadamente iguales a 640 ppm de sales totales, y el total de sales en meq/l puede ser estimado dividiendo la CE, en $\mu\text{S}/\text{cm}$, por 100 (cuadro 4.2.4) (California Fertilizer Association, 1985).

La localización topográfica de un vivero, puede tener un efecto sobre la calidad del agua de riego, debido a influencias climáticas locales o geológicas. El agua de riego puede ser contaminada con agua salada en áreas costeras. En climas áridos o semiáridos, donde la evapotranspiración excede la precipitación, las sales se acumulan en forma natural en el suelo, y los depósitos geológicos y las fuentes subterráneas de agua para el riego, con frecuencia tienen un elevado contenido de sales. Matthews (1983a), reporta que la calidad del agua de riego fue mucho mejor en viveros costeros que producen en contenedores, en Columbia Británica, que en los del interior de la provincia. Hallett (1987), probó 32 fuentes de agua de riego en las relativamente húmedas Provincias Marítimas de Canadá, y encontró un promedio de CE de 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en comparación con un valor medio de CE igual a 507 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para 15 viveros, en el interior semiárido del oeste de los Estados Unidos (Landis, 1982). No obstante, existe una significativa variación local, pues los valores variaron de 19 a 787 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las Provincias Marítimas, y de 58 a 1 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el oeste de los Estados Unidos.

Efectos de la salinidad en el crecimiento de las plantas. Las sales solubles pueden afectar el crecimiento de las plantas en varias formas distintas. Fuller y Halderman (1975), discuten cuatro efectos: 1) la salinidad total puede reducir la disponibilidad de agua, 2) los iones sodio disminuyen la permeabilidad del suelo, 3) ciertos iones específicos son tóxicos, y 4) se altera la disponibilidad de otros nutrientes. Otro efecto no biológico de las sales disueltas, es el efecto “costras de sales” sobre el follaje, que puede afectar la posibilidad de venta de las plantas. Los iones específicos involucrados y los criterios de evaluación para estas cinco categorías de daño en las plantas, son referidas en el cuadro 4.2.5.

Efecto de la salinidad en la disponibilidad del agua. La salinidad total de una fuente de agua medida con la CE, ejerce un efecto osmótico en la solución del medio de crecimiento, que puede reducir el agua disponible para el crecimiento de la planta. Las sales reducen el potencial osmótico, y por tanto el potencial hídrico en la solución del medio de crecimiento: un valor de 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ representa una fuerza osmótica de 0.1 MPa. Aunque esto aparenta no ser particularmente elevado, puede resultar significativo en etapas críticas, como durante la germinación de la semilla, especialmente si se permite que el sustrato se seque, lo cual puede incrementar grandemente la concentración osmótica. Whitcomb (1984), reporta que el nivel de sales solubles se duplica cuando se reduce el contenido de humedad en el sustrato de 50% a 25%. Las elevadas tasas de fertilización, pueden sumarse a los problemas de salinidad. El PO se hace un factor cada vez más significativo que el PHMC total, conforme el contenido de humedad del sustrato se reduce (fig. 4.2.7).

Muchas plantas de especies leñosas, y las coníferas en particular, son extremadamente sensibles al daño por salinidad. El daño principal de esta elevada salinidad, es una reducción en la tasa de crecimiento, la cual usualmente sucede mucho antes de que sean evidentes los síntomas foliares visuales. Las especies muy sensibles, como *Picea pungens* (blue spruce) y *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir), pueden sufrir reducciones en el crecimiento de hasta 50% cuando la CE del sustrato es tan baja como 2 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (cuadro 4.2.6). Los síntomas de daño por sales varían con las especies, y pueden incluir uno o más de los siguientes: quema de la punta del follaje (fig. 4.2.14A), quemaduras o color azulado; “achaparramiento”; crecimiento deficiente, y eventualmente la muerte. El agua con elevados niveles de sales también puede originar depósitos blanquecinos sobre las superficies de las hojas (fig. 4.2.14B), que aunque no son dañinos directamente, pueden reducir el valor comercial del cultivo. Los depósitos de sales también pueden acumularse en las boquillas de los aspersores, reduciendo su efectividad.

En el cuadro 4.2.7 se proporciona una guía de calificación de la salinidad en el agua de riego, para viveros forestales que producen en contenedor. La CE puede ser verificada fácilmente en el vivero, empleando un medidor de conductividad, y las pruebas de salinidad deberán ser llevadas a cabo al menos cada mes, porque la calidad del agua de riego puede cambiar significativamente en el transcurso de un año. La CE y el pH del agua de riego en un vivero de California fueron

supervisados mensualmente, y se halló que los valores varían considerablemente a causa de diferencias en la calidad del agua proveniente de distintos pozos de riego (fig. 4.2.15). Aunque no hay una forma económica de remover las sales del agua de riego, las prácticas de cultivo como el aumento de la porosidad el sustrato, y un lixiviado más frecuente, pueden ayudar a reducir los efectos del agua salina.

Cuadro 4.2.5 El exceso de sales solubles afecta el crecimiento de plantas en cinco formas

Efecto	Iones involucrados	Criterio de evaluación
Disponibilidad de agua	Todos	Conductividad eléctrica (CE)
Permeabilidad del suelo	Sodio Calcio Magnesio Carbonato Bicarbonato	Tasa ajustada de adsorción de sodio (TAAS)
Toxicidad directa	Sodio	Concentración del ión (ppm)
	Cloro	Concentración del ión (ppm)
	Boro	Concentración del ión (ppm)
Disponibilidad de nutrientes	Hierro	Sin pruebas específicas
	Fósforo	Sin pruebas específicas
	Calcio	Concentración del ión (ppm)
	Magnesio	Concentración del ión (ppm)
Manchado foliar	Hierro	Concentración del ión (ppm)
	Bicarbonato	Concentración del ión (ppm)
	Calcio	Dureza total (ppm)
	Magnesio	--

Aunque el agua de riego muy salina no es deseable, el agua pura también puede causar problemas; en efecto, el agua destilada o desionizada no es recomendable para el riego de especies forestales en cultivo. El agua con un muy bajo nivel de sales disueltas, lixiviará iones fertilizantes conforme pase a través del sustrato. Vetanovetz y Knauss (1988), definen al agua de riego "muy pura" como la que tiene un bajo nivel de sales solubles totales ($CE < 200 \mu S/cm$), y bajos contenidos de calcio y magnesio. Tales autores establecen que el uso de agua muy pura con sustrato artificial, puede lixiviar los nutrientes de los correctores de fertilizantes que se aplican, como son la caliza y la dolomita, resultando en deficiencias de calcio o de magnesio. Sin embargo, esto no será un problema serio si en los viveros forestales agregan sales fertilizantes al agua de riego a través de la inyección de fertilizante.

Cuadro 4.2.6 Salinidad (medida como conductividad eléctrica) del sustrato, que produjo reducciones de 0 a 50% en la tasa de crecimiento (TRC)

Clase de tolerancia a la salinidad	Especies Representativas	Conductividad del medio ($\mu S/cm$) ^a			
		0% TRC	10% TRC	25% TRC	50% TRC
Muy sensible	<i>Picea pungens</i>	1,000	1,400	1,800	2,500
Sensible	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1,400	2,000	3,000	4,600
	<i>Juniperus virginiana</i> <i>Magnolia grandiflora</i>				
Moderadamente tolerante	<i>Pinus ponderosa</i> <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	2,500	3,400	4,800	7,000
Tolerante	<i>Eleagnus angustifolia</i> <i>Pinus halepensis</i>	4,500	5,800	8,000	12,000
Muy tolerante	<i>Atriplex spp.</i> <i>Casuarina cunninghamiana</i>	8,000	10,000	13,000	18,000

^a = Conductividad eléctrica de un extracto de saturación (CEe) del sustrato, medida en microSiemens por centímetro (= micromhos por centímetro). Fuente: modificado de Ayers (1977), y Handreck y Black (1984).



4.2.14A



4.2.14B

Figura 4.2.14 Las sales disueltas, independientemente de que provengan de fuentes naturales o de fertilizantes agregados, pueden afectar a las plantas en varias formas: necrosis de márgenes foliares, o "quemadura de puntas" (A), o punteado en las hojas (B).

Cuadro 4.2.7 Estándares de calidad del agua de riego, para especies forestales producidas en contenedor.

Índice de calidad	Unidades	Clasificación por calidad		
		Buena	Marginal	Pobre
Salinidad	$\mu\text{S/cm}$	0-500	500-1,500	>1500
	$\mu\text{mhos/cm}$			
Efecto del sodio en la permeabilidad del suelo ¹	RAAS	0-6	6-9	>9
Umbral de toxicidad				
Iones tóxicos				
Sodio	ppm		50	
	meq		2.2	
Cloro	ppm		70	
	meq		2.0	
Boro ²	ppm		0.75	
	meq		--	
Iones nutrientes				
Calcio	ppm		100	
	meq		5.0	
Magnesio	ppm		50	
	meq		4.2	
Sulfato	ppm		250	
	meq		5.2	
Iones que producen manchado foliar				
Bicarbonato	ppm		60	
	meq		1.0	
Dureza total (Ca + Mg)	ppm		206	
Hierro	ppm		0.1	

¹ La razón ajustada de adsorción de sodio (RAAS), no es importante en los viveros que producen en contenedor, a menos que se utilice suelo como medio de crecimiento.

² El boro existe en varias formas iónicas, y por ello los miliequivalentes no pueden ser determinados con precisión.

Fuente: modificado de Ayers (1977), Bunt (1976), Swanson (1984), Fitzpatrick y Verkade (1987), Vetanovetz y Knauss (1988).

Efecto del sodio en la permeabilidad del medio de crecimiento.

Aunque el sodio (Na^+) es tóxico para las plantas, este ion tiene igualmente un serio efecto en la estructura del sustrato. Un exceso de iones Na^+ en relación a la concentración de iones calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), puede originar que las partículas de arcilla se dispersen y sellen los poros, reduciéndose seriamente la permeabilidad y el intercambio gaseoso. Este efecto del sodio, usualmente se mide en términos de la razón de adsorción de sodio (RAS), la cual da un índice relativo de la concentración de iones Na^+ a Ca^{2+} y Mg^{2+} . En la actualidad, una revisión de los índices de RAS, denominada la razón ajustada de adsorción de sodio (RAAS), es preferida porque también considera el efecto de los iones carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-) (cuadro 4.2.5). Los estándares de la RAAS para el agua de riego en viveros, son proporcionados en el cuadro 4.2.7. Afortunadamente los problemas de permeabilidad inducidos por el sodio sólo afectan suelos naturales y por ello, no cuentan en los sustratos "artificiales" (aquellos que no contienen suelo), que comúnmente son empleados en la mayoría de los viveros forestales que producen en contenedor.

Toxicidad de iones específicos.

El tercer efecto de la salinidad es la toxicidad directa de ciertos iones, especialmente el sodio, el cloro y el boro, sobre el crecimiento de la planta (cuadro 4.2.5). Las especies vegetales en forma individual, varían considerablemente en su sensibilidad a estos iones, pero todas las plantas producidas en contenedor deberán ser consideradas muy susceptibles, a causa de su pequeño tamaño y succulencia. Ayers (1977), proporciona guías de calidad de agua para cualquiera, la absorción de la

raíz o foliar, de estos tres iones potencialmente tóxicos, y Bunt (1976) también publicó estándares de calidad de agua (cuadro 4.2.7). Otros iones, incluyendo cualquiera de los iones metales pesados, como el manganeso o el zinc, pueden ser también tóxicos si están presentes en concentraciones suficientemente elevadas. No obstante, estos problemas deberán identificarse en las pruebas iniciales de calidad del agua de riego.

Disponibilidad de nutrientes minerales. El exceso de ciertos iones, por ejemplo calcio y magnesio, en el agua de riego, pueden producir desbalances en la solución del medio de crecimiento, y acarrear problemas con la absorción de nutrientes y su utilización por algunas plantas (Fitzpatrick y Verkade, 1987) (cuadro 4.2.5). Vetanovetz y Knauss (1988), establecen que si el agua de riego contiene más de 100 ppm de Ca^{2+} , este nutriente mineral puede acumularse en el sustrato y causar deficiencias de Mg^{2+} o de hierro. Más de 50 ppm de Mg^{2+} en el agua, pueden originar deficiencias de otros nutrientes minerales, como el Ca^{2+} y el potasio (cuadro 4.2.7). Estos desbalances nutricionales son complicados y particularmente difíciles de diagnosticar, pero no deberán ser un problema en los viveros forestales que producen en contenedor que emplean sustratos artificiales, así como un régimen de fertilización bien balanceado.

Residuos foliares. Ciertos compuestos, como el hierro y el carbonato de calcio, pueden causar la decoloración o manchado en puntos del follaje de las plantas (cuadro 4.2.5, fig. 4.2.14B). Aunque estos manchados no afectan directamente el crecimiento de la planta, pueden afectar el interés del cliente. Algunas aguas buenas contienen hierro disuelto en forma ferrosa; cuando estas aguas son aplicadas mediante riego con aspersores, el hierro es convertido a su forma férrica, la cual tiene un típico color óxido que puede manchar el follaje (Swanson, 1984) u obstruir las boquillas de riego (Fitzpatrick y Verkade, 1987). El agua de riego "dura" contiene elevados niveles de iones calcio, magnesio, carbonato o bicarbonato. Cuando ésta es asperjada sobre el follaje de la planta, produce depósitos blancos de carbonato de calcio o de carbonato de magnesio, después de la evaporación. Estos depósitos de carbonato también pueden acumularse en las boquillas de riego. Los estándares de calidad del agua, en relación a iones que manchan el follaje, se mencionan en el cuadro 4.2.7.

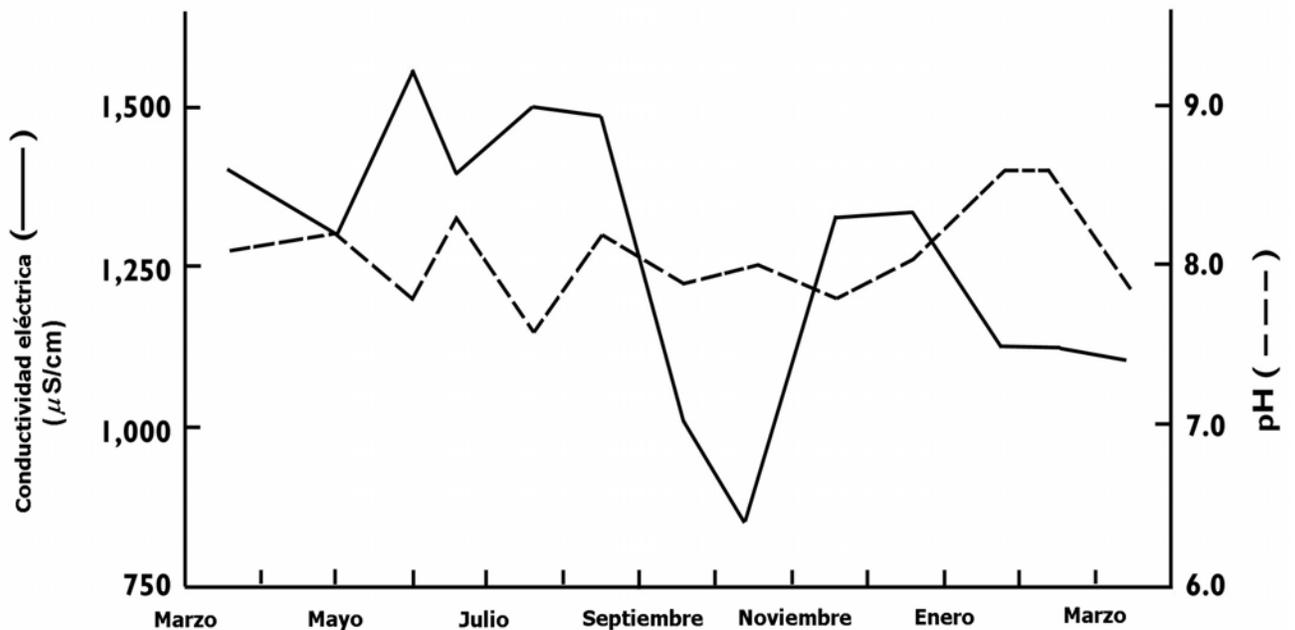


Figura 4.2.15 La calidad del agua de riego, medida en términos de conductividad eléctrica y pH, puede variar significativamente a lo largo del año, según se demuestra con estos datos de un vivero forestal de California, EUA, que produce en contenedor.

Plagas y enfermedades en el agua de riego. Los viveros que producen en contenedor que usan agua de riego de fuentes superficiales, como pozas (fig. 4.2.16), lagos, o ríos, pueden tener problemas con malas hierbas, hongos fitopatógenos, musgos, algas o hepáticas (Baker y Matkin, 1978). El agua superficial originada de otros viveros o de tierras de cultivo, es particularmente susceptible de ser contaminada con mohos del agua, como *Pythium* y *Phytophthora*, que pueden ocasionar la "chupadera" (Whitcomb, 1984). El agua de riego reciclada de viveros, podría presentar estos problemas. Este tipo de hongos pueden aislarse de las fuentes de agua de riego del vivero usando "cebos" de fruta verde como peras o manzanas (McIntosh, 1966). Muchas semillas de malas hierbas y esporas de musgos y algas, son lo suficientemente pequeñas para pasar a través del sistema de riego, y pueden originar problemas serios en los viveros que producen en contenedor. El agua de riego fue considerada como la fuente de problemas con algas azules en un vivero de Columbia Británica que produce en contenedor (Vance, 1975).

Las plantas que se desarrollan en el agua, pueden ser eliminadas mediante la cloración, y algunos sistemas de filtración especializados pueden remover muchos organismos que causan enfermedades (Ver la siguiente sección para más información acerca de la cloración y de la filtración).



Figura 4.2.16 Las fuentes de agua superficial, como esta poza, pueden ser portadoras de semillas de malezas, algas y hongos fitopatógenos.

Contaminación con plaguicidas. El agua de riego, especialmente en las áreas agrícolas, puede haber sido contaminada con plaguicidas residuales. Urbano (1987), reporta que la contaminación del agua subterránea por plaguicidas, se está volviendo un problema serio en los Estados Unidos.

En 1979, el ingrediente activo (aldicarb) del herbicida Temik® fue identificado en agua de pozo en Long Island, Nueva York, EUA; y la contaminación del agua subterránea es considerada una amenaza potencial en muchas otras áreas. Los herbicidas aplicados en áreas de cultivo adyacentes, o para el control de malezas acuáticas en reservorios, puede afectar la calidad del agua de riego. Vance (1975) reporta pérdidas sustanciales de planta en contenedor, debido al control de malezas acuáticas, mediante herbicidas, en un reservorio de agua de riego. Las fuentes potenciales de agua de riego deberán ser probadas en cuanto a contaminación con plaguicidas cuando un sitio está siendo evaluado para establecer un vivero.

Análisis de la calidad del agua. Idealmente, las pruebas de calidad del agua son llevadas a cabo durante la etapa de selección del sitio para establecer el vivero, y a intervalos regulares en lo sucesivo, pero muchos viveros forestales nunca han realizado un detallado análisis del agua. Un análisis completo de la calidad del agua de riego, deberá consistir en una evaluación de la salinidad, enlistando las concentraciones de ocho iones específicos que deberán reportarse en miliequivalentes por litro (meq/l), y en partes por millón (ppm) (cuadro 4.2.8). Por una pequeña cuota adicional, es posible probar los iones nutrientes remanentes al mismo tiempo. En adición a las concentraciones de iones, el laboratorio de análisis de agua deberá también reportar tres índices estándares de calidad del agua: conductividad eléctrica, razón ajustada de adsorción de sodio, y pH. La CE y el pH pueden ser medidos directamente, de la muestra de agua, y la RAAS puede ser calculada a partir de las concentraciones de iones específicos, en miliequivalentes por litro (cuadro 4.2.9).

El agua de riego deberá también probarse en cuanto a la presencia de hongos fitopatógenos, preferentemente durante el proceso de selección del sitio, pero también si se observara algún problema en fecha posterior. La mayoría de los laboratorios de fitopatología pueden realizar bioensayos del agua de riego. La búsqueda de herbicidas residuales también es posible, pero puede resultar onerosa, a causa de los sofisticados procedimientos de análisis requeridos. Debido a las diferentes estructuras químicas de los varios plaguicidas, se requiere de un análisis individual para cada producto sospechado. Por tanto, las pruebas especializadas para detectar plaguicidas generalmente son consideradas sólo cuando se sospecha de un problema definido.

Fitzpatrick y Verkade (1987), discuten el procedimiento adecuado para coleccionar una muestra de agua de riego para su análisis: use una botella de plástico limpia con una tapa firme, deje correr el agua durante varios minutos y enjuague bien la botella de muestra, antes de obtenerla. Chu (1986), establece que una muestra de 500 ml (aproximadamente 1 pinta) es suficiente para la mayoría de las pruebas de agua, pero que 1 000 ml (aproximadamente 1 cuarto) son requeridos para el análisis de plagas. Etiquete la botella de muestra adecuadamente, con un marcador a prueba de agua, antes de enviarla al laboratorio de análisis. La muestra deberá ser analizada tan pronto como sea posible, pero puede ser almacenada en refrigeración durante periodos cortos, si es necesario. Sin embargo, los parámetros de calidad del agua pueden cambiar con el tiempo; Chu (1986) reporta que los valores de algunos parámetros de prueba, como el pH y el cloro, pueden cambiar después de sólo unas pocas horas (cuadro 4.2.10).

Cuadro 4.2.8 Componentes de una prueba de calidad de agua de riego en cuanto a sales solubles.

Parámetro de prueba del agua	Unidades de reporte
Índices de calidad	
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm
Razón ajustada de adsorción de sodio (RAAS)	Ninguna
Ph	Ninguna
Concentraciones de iones específicos	meq/l y ppm
Sodio	
Calcio	
Magnesio	
Cloro	
Carbonato	
Bicarbonato	
Sulfato	
Boro	
Concentraciones de fertilizante	Ppm
Nitrógeno amoniacal	
Nitrógeno nítrico	
Fósforo	
Potasio	
Micronutrientes	

Tratamientos correctivos para el agua de riego.

Cualquier sistema de tratamiento al agua de riego requiere de un gasto inicial significativo, siendo prudente determinar la calidad del agua de riego antes de que el vivero sea establecido. No obstante, a veces no hay opción porque es menos caro tratar el agua de riego que intentar cambiar de sitio un vivero ya establecido. Existen seis procedimientos estándar para tratamiento del agua.

Acidificación. El agua de riego con frecuencia es tratada con ácido para reducir el nivel de pH hasta

un intervalo ideal de 5.5 a 6.5. Los ácidos fosfórico y sulfúrico son los comúnmente usados, aunque otros ácidos como el nítrico o el acético, también han sido empleados. La acidificación no cambiará la salinidad del agua de riego pero si puede remover los iones carbonato y bicarbonato, lo que se refleja con el menor pH. El ácido fosfórico fue utilizado para acidificar el agua de riego en viveros forestales que producen en contenedor en el Canadá; el pH fue reducido de 8.8 hasta 6.1, pero la salinidad total, según se reflejó en las lecturas de CE, no fue cambiada apreciablemente (cuadro 4.2.11) (La acidificación también es discutida en la sección 4.1.3.3).

Ósmosis inversa. Este tratamiento consiste en forzar el agua de riego a través de una membrana semipermeable, para que los iones de sal sean retenidos. Este proceso es relativamente caro, pero existen sistemas disponibles para viveros. Como ejemplo del costo involucrado, un vivero forestal de California, EUA, que produce especies forestales en contenedor, recientemente adquirió un sistema de ósmosis inversa, con un costo inicial de más de US \$50 000, diseñado para producir 40,000 galones por día de agua tratada, a un costo de operación de aproximadamente US\$0.80 por millar de galones. Este sistema está diseñado para mejorar significativamente la calidad del agua de riego, de un pH inicial de 8.1, y una CE de 2 218 µS/cm, hasta un pH de 5.8 y una CE de 312 µS/cm. Los sistemas de ósmosis inversa, requieren de mantenimiento regular, pero representan un sistema práctico para tratar el agua de riego, si los costos iniciales pueden ser justificados.

Cuadro 4.2.9 Cálculo de la razón ajustada de adsorción de sodio (RAAS).

$$RAAS = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}} * [1 + (8.4 - pHc)]$$

Na = concentración de iones sodio en miliequivalentes por litro (meq/l)

Ca = concentración de iones calcio en meq/l

Mg = concentración de iones magnesio en meq/l

pHc, es un índice relativo, calculado de las siguientes concentraciones de iones, y es la suma de **A + B + C**:

Ca + Mg + Na (meq/l)	A	Ca+Mg (meq/l)	B	CO ₃ + HCO ₃ (meq/l)	C
0.5	2.11	0.05	4.60	0.05	4.30
0.7	2.12	0.10	4.30	0.10	4.00
0.9	2.13	0.15	4.12	0.15	3.82
1.2	2.14	0.20	4.00	0.20	3.70
1.6	2.15	0.25	3.90	0.25	3.60
1.9	2.16	0.32	3.80	0.31	3.51
2.4	2.17	0.39	3.70	0.40	3.40
2.8	2.18	0.50	3.60	0.50	3.30
3.3	2.19	0.63	3.50	0.63	3.20
3.9	2.20	0.79	3.40	0.79	3.10
4.5	2.21	1.00	3.30	0.99	3.00
5.1	2.22	1.25	3.20	1.25	2.90
5.8	2.23	1.58	3.10	1.57	2.80
6.6	2.24	1.98	3.00	1.98	2.70
7.4	2.25	2.40	2.90	2.49	2.60
8.3	2.26	3.14	2.80	3.13	2.50
9.2	2.27	3.90	2.70	4.00	2.40
11.0	2.28	4.97	2.60	5.00	2.30
13.0	2.30	6.30	2.50	6.30	2.20
15.0	2.32	7.90	2.40	7.90	2.10
18.0	2.34	10.00	2.30	9.90	2.00
22.0	2.36	12.50	2.20	12.50	1.90
25.0	2.38	15.80	2.10	15.70	1.80
29.0	2.40	19.80	2.00	19.80	1.70
34.0	2.42				
39.0	2.44				
45.0	2.46				
51.0	2.48				
59.0	2.50				
67.0	2.52				
76.0	2.54				

Desionización. La desionización es un método efectivo, aunque costoso, para remover sales indeseables del agua, y sólo será práctico para cultivos de muy elevado valor (Furuta, 1978). El proceso consiste en pasar agua sobre resinas con iones intercambiables, las cuales son cargadas con cualquiera de los iones H⁺ o OH⁻; tales iones son intercambiados por el Ca²⁺, Cl⁻, u otros iones

cargados en el agua de riego, resultando agua químicamente pura. Las sales de boro no son removidas por la desionización, aunque todos los iones pueden ser removidos mediante ósmosis inversa (Hartmann y Kester, 1983). Otra desventaja de este proceso, además del costo elevado, es que resulta relativamente lento, y el agua tratada generalmente debe ser acumulada y almacenada para proveer el volumen necesario para los grandes viveros forestales.

Suavizadores de agua. Este tratamiento al agua está incluido sólo como referencia, y nunca deberá ser usado para tratar el agua de riego en los viveros forestales que producen en contenedor. Los suavizadores de agua no pueden mejorar el nivel de salinidad del agua, simplemente convierten el agua "dura", la cual contiene abundancia de iones Ca²⁺ y Mg²⁺, en agua "suave", en la cual predominan los iones Na⁺; este Na adicional, es mucho más perjudicial para las plantas que el Ca y el Mg que fueron reemplazados (Whitcomb, 1984). El beneficio primario del agua suavizada, es que hace que los jabones y los detergentes limpien más efectivamente.

Cloración. La cloración, es un tratamiento de agua viable para viveros que tienen problemas con hongos, bacterias, algas o hepáticas, que son introducidas mediante el sistema de riego. Las dos formas más comunes para introducir cloro en el agua de riego son:

- 1 El hipoclorito de sodio líquido (blanqueador doméstico, NaOCl) o el hipoclorito de calcio en polvo (Ca(OCl)₂), pueden agregarse al agua.
- 2 Gas de cloro presurizado (Cl₂), que puede ser inyectado dentro del sistema de riego.

El gas de cloro es la forma más común y barata de clorar el agua, pero es relativamente peligroso de utilizar, en comparación con el hipoclorito de calcio o de sodio. Cuando el cloro es agregado al agua, éste interactúa para producir hipoclorito (HOCl), e iones clorito (OCl⁻), que son agentes oxidantes en polvo, responsables de la acción desinfectante de la solución. En realidad, sólo parte del cloro aplicado (denominado el cloro residual libre) es efectivo, porque algunos de los iones cloro se combinan con sustancias orgánicas (cloro combinado) y son esencialmente inactivos (Tchobanoglous y Schroeder, 1985). Las diferentes formas de cloro usado en la cloración, no deberán confundirse con el ión cloruro (Cl⁻), el cual es un importante ión que aporta parte de la calidad del agua de riego, pero no tiene propiedades desinfectantes (Green, 1987).

Cuadro 4.2.10 Tratamientos previos, tiempo de almacenamiento, y métodos de almacenamiento para muestras de agua de riego.

Parámetro de prueba del agua	Pretratamiento	Método de almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
pH	Ninguno	Analizar de inmediato	2 h
Conductividad eléctrica	Ninguno	Refrigerar	28 días
Cloro	Ninguno	Analizar de inmediato	2 h
Boro	Ninguno	Refrigerar	28 días
Nitrógeno-total, amonio o nitrato	Agregue ácido sulfúrico para reducir bajo 2.0 el pH	Refrigerar	28 días
Fósforo	Agregue ácido sulfúrico para reducir bajo 2.0 el pH	Refrigerar	3 días
Sulfato	Ninguno	Refrigerar	30 días
Plaguicidas	Ninguno	Refrigerar	7 días

Fuente: modificado de Chu (1986).

Cuadro 4.2.11 Los efectos químicos de la acidificación del agua de riego con ácido fosfórico en los índices de calidad del agua y en iones individuales.

Parámetro de calidad del agua	Niveles en el agua de riego	
	No tratada	Acidificada
pH	8.8	6.1
CE	377	348
RAS ¹	15	15
CSR ¹	3.84	0.28
Ca (ppm)	3.4	3.8
Mg (ppm)	0.43	0.39
Na (ppm)	117	118
CO ₃ (ppm)	24	0
HCO ₃ (ppm)	198	31
B (ppm)	0.06	0.08

¹ La RAS (razón de adsorción de sodio) no es cambiada porque no puede considerarse los niveles de CO₃ o HCO₃, mientras que el índice CSR (carbonato de sodio residual), y la razón ajustada de adsorción de sodio (RAAS), que no ha sido proporcionada aquí, sí lo son.

Fuente: R. D. Hallett, Servicio Forestal del Canadá, Fredericton, NB.

Hay cinco aspectos en la cloración operativa: 1) contacto inicial, 2) tiempo de contacto, 3) forma y concentración del desinfectante, 4) especies y concentración de los patógenos, y 5) factores ambientales, particularmente pH y temperatura (Tchobanoglous y Schroeder, 1985). Por ejemplo, cuando se expone a temperaturas cálidas y a la luz del sol, el hipoclorito se descompone y pierde sus propiedades desinfectantes (Green, 1987). Los aspectos de ingeniería del sistema de cloración son muy complicados para ser discutidos aquí, pero debe mencionarse que para ser efectivo como desinfectante, debe ser mantenida durante un periodo de tiempo específico una concentración crítica de cloro residual libre. Baker y Matkin (1978), reportan que 1 ppm de cloro residual libre matará las zoosporas de *Phytophthora cinnamomi* en un minuto, pero que el micelio del hongo es mucho más resistente.

Un sistema de cloración, sea de inyección de gas de cloro o de adición de hipoclorito, deberá

diseñarse para que las sustancias químicas sean cuidadosamente mezcladas con el agua de riego, y tengan suficiente tiempo para actuar. Debido a que el cloro es desactivado por la materia orgánica en suspensión, el agua de riego deberá filtrarse antes del tratamiento. El gas cloro es también muy peligroso y corrosivo y, por lo tanto, un experto en cloración deberá ser consultado cuando se diseñe un sistema de inyección de cloro. El nivel de cloro en el agua de riego aplicada deberá supervisarse periódicamente, para tener la certeza de que el sistema de cloración está trabajando apropiadamente; esto puede ser hecho con un estuche de pruebas para agua de alberca, el cual está disponible comercialmente, o con un estuche Hach® (Frink y Bugbee, 1987).

La cloración está comenzando a usarse rutinariamente en algunos viveros forestales y ornamentales. El blanqueador doméstico estándar (5.25% de hipoclorito de sodio), en una concentración de 20.4 cm³ por 1 000 litros de agua (2.6 onzas de líquido por 1 000 galones), producirá aproximadamente 1 ppm de cloro (Baker y Matkin, 1978), y los autores recomiendan un tiempo mínimo de contacto de 4 minutos. Bunt (1976), recomienda agregar suficiente hipoclorito de sodio para producir un contenido de cloro de 5 a 20 ppm, pero establece que una concentración de cloro tan baja como 0.5 ppm puede ser efectiva si el agua tratada es almacenada. Handreck y Black (1984) recomiendan agregar suficiente blanqueador para dar 2 ppm de cloro. Daughtry (1984), discute un sistema operativo de cloración, usando inyección de gas cloro, que produce una concentración de 0.3 ppm de cloro residual libre, y un tiempo de contacto de aproximadamente 25 segundos, dentro de la línea de riego.

Muchas plantas son sensibles al cloro, y Bunt (1976) no reportó problemas con el agua que contenía 5 ppm de cloro. El cloro inyectado a 5 o 10 ppm se encontró como no fitotóxico para un

amplio intervalo de especies vegetales, y el nivel mayor controló parcialmente a las hepáticas (Scott, 1980; citado por Whitcomb, 1984). Mucha del agua doméstica está clorada, para el control de patógenos dañinos al hombre, pero este tratamiento usualmente produce un nivel bajo de cloro (aproximadamente 1 ppm), que no es dañino para la mayoría de las plantas (Frink y Bugbee, 1987).

Filtración. Los filtros pueden ser usados para remover partículas coloidales en suspensión, como es la arena muy fina, que puede dañar el equipo de riego o de fertilización, o tapar las boquillas de riego. Además de remover las partículas inorgánicas suspendidas, los filtros pueden ser usados para remover semillas de malezas o algas del sistema de riego (figura 4.2.17).

Comunmente son utilizados dos tipos de filtros para el tratamiento de aguas: filtros con medio granular, y filtros superficiales. Los filtros con medio granular, consisten de camas de partículas granulares que atrapan el material suspendido en los poros entre las partículas, mientras que los filtros superficiales, usan una pantalla porosa o malla, para colar el material suspendido del agua de riego (Tchobanoglous y Schroeder, 1985). Los filtros con medio granular, pueden ser empleados para remover arena fina o materia orgánica, y están contruidos para que puedan ser limpiados con agua en retroflujo. Los filtros superficiales incluyen pantallas o cartuchos de varios tamaños de malla, para remover el material en suspensión; las pantallas deben ser removidas físicamente y

limpiadas, mientras que los filtros con cartucho no son reutilizables y deben ser reemplazados regularmente (Sprinkler Irrigation Association, 1983).

La filtración es recomendable para el agua de riego en viveros forestales que producen en contenedor, y los filtros deberán ser instalados antes de que el agua pase a través del inyector de nutrientes para interceptar las partículas de arena que pueden originar un desgaste excesivo o taponar las válvulas. Jones (1983), recomienda los filtros de cartucho porque son fáciles de cambiar. El retroflujo de filtros con pantallas o con medio granular, no resulta práctico en muchos sistemas de riego en viveros. Se recomienda la instalación de un filtro con cartucho de 25 μm para el inyector de fertilizante Smith Measuremix®. Handreck y Black (1984), recomiendan el uso de filtros lo suficientemente pequeños para remover partículas mayores de 5 μm de diámetro, lo cual retendrá la mayoría de las partículas suspendidas (fig. 4.2.17). Los tipos de filtros usados para albercas son capaces de remover partículas suspendidas mayores de 50 μm de diámetro. Los sistemas de filtración especializados, como el Millipore®, pueden remover partículas de alrededor de 1 μm de diámetro; tal sistema es por lo tanto, capaz de remover algunos organismos que causan enfermedades, así como la mayoría de los sólidos suspendidos (fig. 4.2.17). Desafortunadamente, estos sistemas sofisticados de filtración, son relativamente caros, y requieren de mantenimiento frecuente (Jones, 1983).

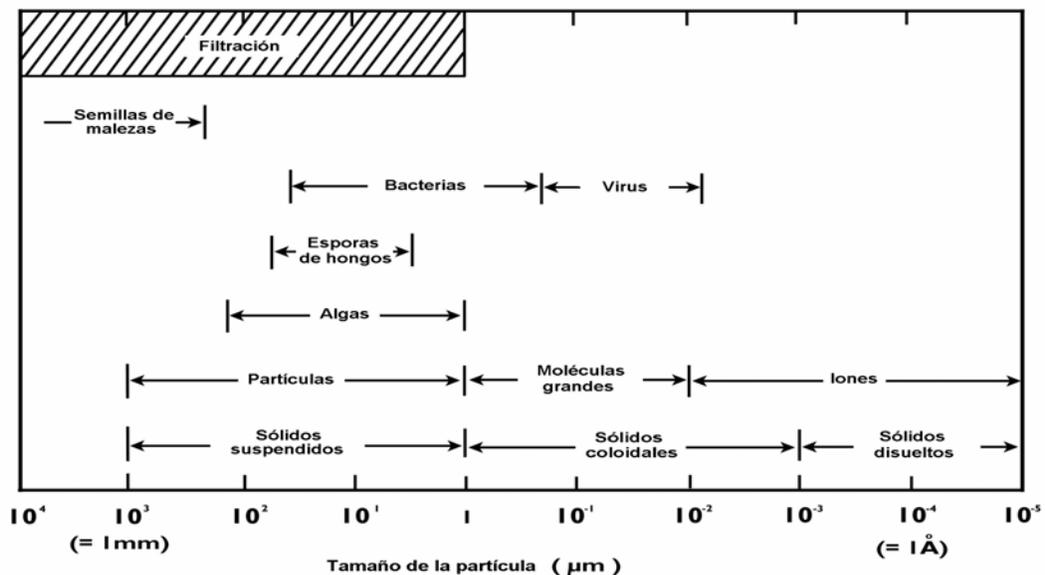


Figura 4.2.17 Partículas inorgánicas y algunos agentes bióticos de muchos tamaños pueden ir en el agua de riego para viveros forestales que producen en contenedor, por lo cual aquélla deberá ser filtrada para remover tales materiales indeseables (modificada de Tchobanoglous y Schroeder, 1985).

4.2.4.3 Temperatura del agua.

Otro aspecto de la calidad del agua que puede ser controlado en los viveros forestales, es la temperatura del agua de riego. El riego con agua fría puede reducir significativamente la temperatura del sustrato, y se ha demostrado que esto produce reducciones en el crecimiento de las plantas, en viveros que producen especies ornamentales en contenedor. Seeley y Steiner (1965), aplicaron agua de riego con diferentes temperaturas a un sustrato a base de suelo, y hallaron que el agua a una temperatura de 4.5°C (40°F), redujo en 4°C (7°F) aproximadamente la temperatura del sustrato en la capa superficial, y en 1.7°C (3°F) a la profundidad de 7.6 cm (3 pulgadas). Carpenter y Rasmussen (1970), estudiaron el efecto del agua fría en el crecimiento de dos cultivos de especies florales, y registraron bajas temperaturas en el sustrato. Estas bajas temperaturas ocasionaron reducción de la altura y peso de la planta, durante la estación de invierno. Hanan *et al.* (1978), recomiendan a los viveristas ornamentales en climas fríos, considerar el uso de agua de riego calentada al intervalo de temperatura ambiente que prevalece durante el día.

No ha sido estudiado a detalle el efecto de usar agua fría en de riego en los cultivos de especies forestales, pero definitivamente el suelo frío puede reducir la absorción de agua de los árboles. Kramer y Kozlowski (1979) reportan que la resistencia al flujo de agua a través de las raíces de los árboles, se duplica conforme la temperatura

desciende de 25 a 5°C (77 a 41°F). Kozlowski (1943), reportó que las plantas de pino sufrieron una reducción del 50% en la tasa de transpiración, y comenzaron a marchitarse a temperaturas del suelo iguales a 5°C (41°F), en comparación con una temperatura control de 30°C (86°F). Sin embargo, las plantas de especies leñosas difieren en su respuesta a las temperaturas del sustrato. Kozlowski (1943) encontró que el *Pinus taeda* (loblolly pine) fue afectado más que el *Pinus strobus* (eastern white pine), y Kaufman (1975) observó que la resistencia de las raíces a la absorción de agua se hizo más limitada en plantas de un cítrico a 13.5°C (58°F), en comparación con los 7.5°C (45°F) para *Picea engelmannii* (Engelmann spruce).

Sobre una base operativa, el efecto de agua fría en el crecimiento de especies forestales no ha sido suficientemente estudiado como para hacer recomendaciones específicas, pero este efecto puede ser significativo para cultivos de invierno, en climas del norte. El riego con agua fría puede ser más dañino durante la germinación de la semilla y durante la emergencia de la plántula. Una de las formas más prácticas de mantener el sustrato a temperaturas ideales, es el proporcionar calentamiento bajo las mesas de cultivo, el cual puede ser más económico que el calentamiento directo de la totalidad del volumen de agua de riego a aplicar.



4.2.5 Tipos de Sistemas de Riego

El método de aplicación del agua de riego en los viveros de contenedores, depende del tamaño del vivero y de las características de las especies en cultivo. La mayoría de los viveros grandes, usan algún tipo de sistema de riego mecanizado; con base en la Encuesta de Viveros que Producen en Contenedor, sólo el 2% de quienes la respondieron, usaban riego manual. El riego manual, sin embargo, es necesario frecuentemente para los viveros forestales pequeños o para los viveros que producen especies con requerimientos de agua radicalmente diferentes (fig. 4.2.18).

Furuta (1978), enlista tres tipos principales de sistemas de riego empleados en los viveros ornamentales que producen en contenedor: asperjado desde del techo, contenedor individual (incluyendo riego por goteo), y subirrigación. El asperjado desde el techo es el único sistema utilizado en los viveros forestales que producen en contenedor, porque los contenedores son muy pequeños para el riego por goteo de contenedores individuales, y la subirrigación limitará la poda de raíces por contacto con el aire, al fondo de los contenedores.



Figura 4.2.18 El riego manual es la única forma de regar pequeños lotes de plantas sensibles al agua, como es el caso de muchas especies de plantas nativas.

4.2.5.1 Sistemas de riego en la parte superior.

La consideración básica de diseño en cualquier sistema de riego empleado en los viveros forestales, es que el agua debe ser aplicada uniformemente a muchos contenedores individuales, que tienen un diámetro relativamente pequeño en relación a su volumen. Para complicar

las cosas, cada contenedor alberga una plántula en crecimiento, que eventualmente producirá suficiente follaje para interceptar una proporción significativa del agua de riego aplicada, dificultando que ésta pueda alcanzar la superficie del sustrato. Este tipo de sistemas también son muy gastadores de agua, pues sólo un porcentaje limitado del agua aplicada alcanza las raíces de las plantas.

Weatherspoon y Harrell (1980), estudiaron la eficiencia de diferentes métodos de riego para plantas ornamentales en contenedores, y hallaron que sólo del 13 al 26% del agua aplicada a través de los aspersores en el techo, fue retenida por el sustrato. Como ventaja, el sustrato artificial utilizado, tiene suficiente capacidad de infiltración, en comparación con la mayoría de los suelos agrícolas naturales, además el arrastre por el viento no es problema en los invernaderos completamente cerrados.

Existen muchos tipos de este sistema de riego, pero en los viveros forestales de contenedores, éstos pueden ser divididos en sistemas móviles y fijos. Los sistemas móviles consisten de un aguillón desplazable, y el 59% de los viveros encuestados, usan este tipo de sistema de riego. Los sistemas fijos de riego, consisten de boquillas espaciadas regularmente, y fueron usados en el 31% de los viveros encuestados, mientras que el 10% restante, usaban alguna combinación de sistemas de riego.

Sistemas de riego móviles. Este popular sistema de riego consiste de un aguillón orientado horizontalmente, el cual lleva una tubería de distribución, conteniendo una serie de boquillas regularmente espaciadas. La estructura es tirada mecánicamente a lo largo del área de cultivo por un motor eléctrico, y normalmente cubre una o más mesas (fig. 4.2.19). El aguillón se regresa mecánicamente cuando alcanza el final de la mesa y las plantas se riegan en dirección opuesta. Normalmente se requiere determinado número de pasos para saturar por completo a los contenedores. Los aguillones pueden estar sujetos por un carril en el techo, o bien estar en un carro sobre el piso; la manguera de conexión es empujada a lo largo de la parte baja del carro que la soporta o de los carriles sobre el piso.

Estos sistemas de riego distribuyen agua muy uniformemente, en comparación con los sistemas fijos, porque proporcionan una cortina móvil de agua sin ninguno de los problemas de distribución inherentes a los aspersores en círculos. Sin

embargo, son relativamente caros, y puesto que se trata de sistemas mecanizados, son susceptibles de descomponerse. Sheareer (1981), puntualiza que los aspersores móviles no son eficientes para la protección ante heladas, puesto que se mueven muy lentamente como para proporcionar una cubierta continua en todas las áreas de cultivo.



4.2.19A



4.2.19B

Figura 4.2.19 Sistemas móviles de riego con aguilón: montado en el piso y cubriendo dos mesas de invernadero (A), y una estructura montada en rieles en un complejo de cultivo al aire libre (B).

Una variedad de tipos de boquillas han sido empleados en estas estructuras de riego, incluyendo circulares, cónicas y abanico plano, aunque la mayoría de los viveros usan alguna variedad de las boquillas de abanico plano (fig. 4.2.20A). Si es posible, deberá usarse una boquilla de aspersión suave, como la empleada para plaguicidas, para minimizar la nebulización, asegurar una buena penetración a través del follaje de la planta, y para aplicar la cantidad requerida de agua de riego en poco tiempo. Algunos viveros tienen tres tipos diferentes de boquillas de riego

montadas sobre los aguilones paralelos: una boquilla en abanico plano para el riego (fig. 4.2.20A), una boquilla nebulizadora (fig. 4.2.20B), y una boquilla en cono hueco para aplicar plaguicidas.



4.2.20A



4.2.20B

Figura 4.2.20 Tipos de boquillas usadas en estructuras móviles de riego: boquilla en abanico plano, para riego de rutina (A), y boquilla nebulizadora, para riego superficial ligero y para mantener la humedad (B).

Una vez que ha sido seleccionada la boquilla de riego, la cobertura del riego es dependiente de: 1) el espaciamiento de las boquillas sobre el aguilón, 2) la distancia entre la boquilla y los contenedores, 3) la presión del agua en la boquilla, y 4) la velocidad del aguilón. El espaciamiento de las boquillas a lo largo del aguilón y la distancia adecuada encima de la cama, pueden ser determinados a partir de las especificaciones de funcionamiento proporcionadas por el fabricante. Hallett (1982a), recomienda las boquillas Teejet 8003® montadas en centros de 31 cm (12.2

pulgadas), sobre un aguilón puesto a 40 o 50 cm (15.7 a 19.7 pulgadas) por encima de las plantas. Willingdon (1987), establece que las boquillas Teejet 8008 ® son las más comúnmente usadas en estructuras de riego de este tipo, en los viveros de Columbia Británica. La presión en las boquillas puede ser medida directamente de la boquilla de riego, con un calibrador de presión, equipado con un tubo "pitot". Tenga presente que la lectura de la presión de agua en el inyector de nutrientes o en la línea superior, puede ser significativamente diferente de la presión real liberada en la boquilla; para supervisar la eficiencia de la boquilla de riego, por lo tanto, la presión del agua debe ser medida en o cerca de las boquillas. El factor final que controla la cobertura del riego, es la velocidad propia del aguilón. Una velocidad de aproximadamente 2.4 a 3.1 m/min (8 a 10 pies por minuto), ha probado ser efectiva en un vivero forestal que produce en contenedor en Idaho, EUA (Myers, 1987).

Muchas estructuras de riego comerciales están equipadas con motores de velocidad variable, para que la velocidad pueda ser ajustada a cada situación requerida en el vivero.

Aspersores fijos en la parte superior. Este tipo de sistema de riego, consiste de una serie de líneas de riego paralelas, usualmente construidas con tubería plástica de PVC, con los aspersores espaciados a intervalos uniformes para formar un modelo en cuadrícula. Los aspersores en la parte superior aplican agua a una velocidad mayor, en comparación con el sistema de riego de aguilón, y es relativamente más barato de instalar y de operar (Davidson y Mecklenburg, 1981). Los sistemas de riego fijos generalmente no aplican agua tan uniformemente como los sistemas móviles, pero harán un trabajo aceptable siempre y cuando estén apropiadamente diseñados, y se les proporcione un buen mantenimiento.

Generalmente la estructura de cultivo es dividida en "bahías" de riego, dependiendo del número de boquillas que la bomba pueda operar a la vez, y de la presión de agua deseada. Las presiones ideales para operación varían con el tipo de aspersor, y las especificaciones están disponibles por parte de los fabricantes. Algunos aspersores vienen con diferentes coberturas, como el círculo total, el medio círculo, y el cuarto de círculo, así que puede ser obtenida la total cobertura con traslapes mediante la colocación de líneas de riego alrededor del perímetro de la bahía de riego. Cada bahía deberá ser controlada en forma individual con una válvula selenoide, la cual puede ser conectada a un reloj medidor del riego, para que la duración y

secuencia del mismo pueda ser programado. El tamaño de cada bahía de riego puede ser diseñado para que las especies con diferentes requerimientos de agua puedan ser cultivadas dentro de una estructura grande. Cuando se diseña un nuevo sistema de riego, es una buena idea obtener ayuda de un especialista en irrigación, para asegurarse de que el sistema está balanceado, en términos de cobertura y de presión del agua.

Varios tipos de boquillas de riego son usadas en los sistemas de riego fijos en la parte superior. Los aspersores en hileras giratorias, que tienen boquillas de compensación al término de la estructura de rotación, forman hileras de agua en círculo cuando se aplica la presión del agua (fig. 4.2.21A). Las boquillas estacionarias (fig. 4.2.21B), no tienen partes móviles pero distribuyen agua en un patrón circular; estas boquillas también vienen en modelos de medio círculo y de cuarto de círculo. Las boquillas nebulizadoras a veces también son instaladas en líneas de riego en la parte superior. Las boquillas nebulizadoras son primeramente utilizadas durante el periodo de germinación, y para control de enfriamiento y de humedecimiento, porque éstas no proporcionan agua lo suficientemente rápido, como el riego normal.

Algunas de las desventajas de los sistemas de riego fijos en la parte superior son:

- 1 Carencia de uniformidad en la cobertura: este problema puede ser evitado mediante un apropiado diseño del sistema de riego, asegurando un adecuado traslape entre las boquillas (ver la sección 4.2.5.2 para consideraciones relacionadas con el diseño del riego).
- 2 Desperdicio del agua de riego: puesto que el agua es aplicada a toda el área de cultivo, incluyendo pasillos y paredes, se desperdicia bastante más que con los sistemas de aguilones. No obstante, en climas áridos esto no representa gran problema, pues este exceso agrega humedad dentro de la estructura de cultivo.
- 3 Goteo de la boquilla: Una cantidad de agua residual se mantiene en las líneas después de que la válvula selenoide ha cerrado, y ésta gotea por las boquillas sobre las mesas de producción, sacando la semilla fuera de los contenedores o favoreciendo problemas de enfermedades al mantenerse saturado el sustrato y el follaje constantemente húmedo. Las líneas de riego deben ser localizadas sobre los pasillos para que las boquillas

drenen sobre el piso. Existen válvulas especiales antigoteo (fig. 4.2.21A), las cuales cierran cuando la presión del agua se reduce, y también pueden ser fijadas unas líneas de goteo en el fondo de la boquilla, para drenar el exceso de agua. El agua residual que se mantiene en las líneas de riego, también puede ser un problema durante el invierno, cuando su congelamiento puede romper las tuberías.



4.2.21A



4.2.21B

Figura 4.2.21 Tipos de boquillas de riego empleadas en sistemas fijos en la parte superior: boquilla tipo giratoria (spinner-type), equipada con válvula antigoteo (A), y boquilla de riego estacionario (B).

Furuta (1978), Langhans (1980), y Davidson y Mecklenburg (1981), presentan una buena discusión en relación al diseño y operación de los sistemas de riego enclavados en la parte superior.

Aspersores basales fijos. Estos sistemas son comúnmente usados en áreas de cultivo a la intemperie, o en áreas de carga; éstos son similares a los sistemas en la parte superior, por cuanto toca a diseño y operación, pues usan una cuadrícula regular de líneas de riego permanentes o móviles, con aspersores espaciados regularmente (fig. 4.2.22A). El tipo principal de boquilla aspersora es la de impacto rotatorio (fig. 4.2.22B); esta boquilla gira lentamente debido al impacto de un brazo saltador recargado que se mueve hacia dentro y fuera del chorro de la boquilla. Los aspersores de impacto rotatorio están disponibles con muchos proveedores en una gran variedad de tamaños de boquilla y coberturas. Debido a que el brazo de impacto es conducido por la presión del agua fuera del chorro de la boquilla, el patrón de distribución del agua de estos aspersores, es particularmente dependiente de la apropiada presión del agua. Los aspersores estacionarios pueden también usarse en sistemas basales de riego.

Una gran ventaja de los sistemas de riego basales, es que los aspersores de impacto tienen áreas de cobertura relativamente grandes, lo cual significa que se requerirá de menos boquillas y de menos tubería de riego. Los aspersores de impacto, típicamente tienen mayor tamaño de gota, en comparación con los sistemas de aguilón o los enclavados en estructuras aéreas, y pueden ocasionar daños por salpicadura sobre la semilla en germinación. El agua residual drena por un desagüe, aunque aún así ésta puede seguir siendo un problema (fig. 4.2.22B). Sin embargo, todas las líneas de riego deben correr a lo largo de o bajo el piso, creando obstáculos para los trabajadores, y haciendo difícil de operar la maquinaria. Los sistemas de riego basales comúnmente no son tan efectivos como los sistemas móviles en la aplicación uniforme del agua; no obstante, un adecuado diseño y un buen mantenimiento, pueden dar como resultado un sistema aceptable.

4.2.5.2 Principios en el diseño de sistemas de riego fijos.

La eficiencia de un sistema de riego, en primer término depende de su diseño original, y habrá pocos procedimientos operativos que puedan mejorar un sistema pobremente diseñado. Las consideraciones ingenieriles básicas, como la pérdida por fricción en las tuberías o uniones, y su

efecto en la presión del agua para la función de los aspersores, deben ser incorporados como parte del diseño del sistema de riego. Por tanto, es importante consultar a un ingeniero en irrigación durante las etapas de planeación. Una excelente referencia general para el diseño de sistemas de riego con aspersores, está disponible en la Asociación de Irrigación (Irrigation Association) (Pair *et al.*, 1983).



4.2.2A



4.2.2B

Figura 4.2.22 Los sistemas de riego basales, consisten de líneas de riego fijas o móviles (A), ajustadas con boquillas enclavadas a espacios regulares, como las de tipo de impacto rotatorio (B).

La aplicación uniforme del agua esta en función de cinco factores:

1. Diseño de la boquilla
2. Tamaño del orificio de la boquilla
3. Presión del agua en la boquilla
4. Espaciamiento y patrón de distribución de las boquillas
5. Viento

El tamaño de la boquilla aspersora y su patrón de cobertura resultante, puede ser determinado

mediante la consulta de especificaciones de funcionamiento que proporcionan los fabricantes. Los viveristas que producen en contenedor, deberán seleccionar un tamaño de boquilla que sea lo suficientemente grueso para penetrar el follaje de las plantas, y para minimizar el arrastre por el viento, pero no tan grande como para crear problemas de salpicado.

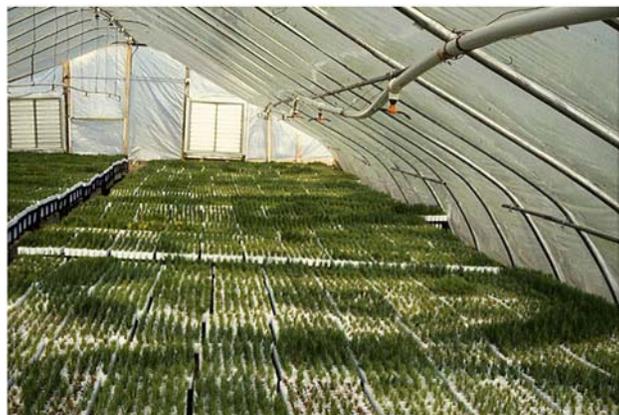
La presión del agua en la boquilla tiene un mayor efecto en la función del aspersor y en su eficiencia, y debe ser considerada durante la planeación inicial. Las especificaciones de funcionamiento para cada tipo de aspersor, pueden obtenerse con los fabricantes. La presión del agua deberá ser supervisada regularmente con un calibrador montado permanentemente cerca de la boquilla (fig. 4.2.23), o con un calibrador de presión equipado con un tubo "pitot", directamente del orificio de la boquilla aspersora. La presión deberá verificarse en varias boquillas, incluyendo la más alejada de la bomba. La importancia de las verificaciones regulares en la presión del agua, no debe ser subestimada, porque muchos factores pueden originar cambios en la presión de la boquilla. La presión del agua que sea muy alta o muy baja, puede causar patrones de distribución erráticos, como los mostrados en la figura 4.2.24 (Compare el patrón de la figura 4.2.24A, con el diagrama de distribución de agua obtenido en computadora, que se muestra en la figura 4.2.28A).



Figura 4.2.23 La presión del agua deberá verificarse regularmente en o cerca de la boquilla de riego.

Tanto el tipo de boquilla como la presión del agua, afectan el tamaño de la gota de riego, y el tamaño promedio de ésta disminuye conforme se reduce el tamaño de la boquilla, y conforme aumenta la presión del agua. Las gotas que son muy grandes pueden causar daño físico por salpicado entre las semillas en germinación, mientras que las gotas muy pequeñas de boquillas "nebulizadoras", están sujetas a arrastre por el viento, y a pérdidas por evaporación en las áreas de cultivo a la intemperie. Handreck y Black (1984), estiman que hasta el 90% del agua de una boquilla nebulizadora puede ser perdida durante un día cálido y con vientos. Las boquillas de riego por nebulización pueden ser corregidas reduciendo la presión del agua o cambiando el tamaño del orificio de la boquilla. Un procedimiento simple para medir el tamaño de la gota, consiste en poner un plato con aceite SAE 90 bajo el chorro de riego, y medir el tamaño de las gotas. Una gota de riego con un diámetro en el intervalo de 1.0 a 1.5 mm (0.04 a 0.06 pulgadas), es recomendable para la mayoría de las situaciones en viveros que producen en contenedor (Handreck y Black, 1984).

El espaciamiento y el patrón de distribución de los aspersores en los sistemas de riego fijos, está relacionado con la función de los aspersores, y con el efecto del viento. Independientemente del tipo de aspersor usado, la distribución del agua nunca es del todo uniforme sobre el área de cobertura, así que los sistemas de riego deberán diseñarse para proporcionar un traslape adecuado entre los aspersores. Esto es especialmente importante en las "casas de sombra" o en las áreas de cultivo al la intemperie, donde el arrastre del viento puede representar un problema (figs. 4.2.19B y 4.2.25). Furuta (1978), establece que el máximo espaciamiento entre aspersores de impacto rotatorio, deberá ser desde el 65% del diámetro del asperjado, sin viento, hasta 30% con vientos superiores a 13 kilómetros por hora (8 millas por hora). Los aspersores fijos no deberán espaciarse más allá del 50 a 65% del diámetro de cobertura del aspersor. El espaciamiento de un aspersor giratorio no deberá ser superior al 40% del diámetro del asperjado en la hilera, ni mayor al 60% del diámetro entre hileras (fig. 4.2.26), y deberá producir una eficiente cobertura en las condiciones de viento que normalmente se tienen en los viveros forestales. Con mucha frecuencia, los aspersores están espaciados a intervalos mayores que los referidos, en un esfuerzo de costo/eficiencia, pero esto es una falsa economía, considerando el alto efecto del agua y de los nutrientes inyectados en el crecimiento de las plantas.



4.2.24A



4.2.24B

Figura 4.2.24 La baja presión del agua, o las boquillas inadecuadamente ajustadas, pueden originar patrones de distribución de agua irregulares, como el denominado en "buñuelos", de los sistemas fijos (A), o en hileras, característico de sistemas de riego móviles (B).

Los dos patrones de distribución comunes de aspersores para los sistemas de riego fijo, son la caja (rectangular), y el diamante (triangular). Shearer (1981), concluye que no hay diferencia real entre el patrón de rociado rectangular estándar y el patrón triangular, bajo condiciones normales.



Figura 4.2.25 Cualquier sistema de riego deberá diseñarse para proporcionar traslape entre las cabezas individuales de rociado, particularmente en las áreas de cultivo a la intemperie, donde la interferencia del viento es probable.

4.2.5.3 Probando la eficiencia de los sistemas de riego.

Tanto los sistemas nuevos como los ya establecidos, deberían ser probados periódicamente, para ver si están funcionando apropiadamente. Muchos viveristas asumen que los sistemas nuevos funcionarán acorde con las especificaciones de ingeniería, pero esto deberá verificarse bajo condiciones normales de operación. Fischer (1987), encontró que los patrones de riego teóricos, diferían de los patrones reales, y atribuye esta discrepancia a dos factores:

1. Los patrones de distribución teóricos asumen que la presión del agua será idéntica en cada boquilla, lo cual es imposible porque la presión se reduce dentro de las líneas de distribución laterales.
2. La colisión de las gotas entre aspersores adyacentes, afectará su distribución.

Los sistemas de riego necesitan verificarse cada cierto tiempo porque las boquillas pueden taponarse o deteriorarse, hasta el punto en que no puedan operar más adecuadamente.

Los sistemas de riego pueden verificarse fácilmente corriendo una "prueba de copa", la cual consiste en medir el agua de riego captada en una serie de copas (recipientes), colocadas sobre un sistema regular en cuadrícula a través del área de cultivo (fig. 4.2.27). Los recipientes para la prueba de copas deberán tener una abertura circular que cuente con un borde angosto; la forma del recipiente bajo la abertura no es importante, siempre que éste sea estable y con suficiente altura para almacenar varios centímetros de agua sin pérdidas por salpicado. La cantidad de agua colectada en cada recipiente, puede ser convertida a tasa de precipitación en pulgadas por hora, con el uso de la siguiente fórmula (Furuta, 1978):

$$P = (C \times 7620) / (D^2 \times T)$$

Donde:

P = agua de riego aplicada por hora (cm)

C = agua recogida en el recipiente (ml)

D = diámetro interior de la abertura del recipiente (mm)

T = tiempo del periodo de riego (min).

Especificaciones para la boquilla Roberts® # 4

Presión de la boquilla	(Mpa) (psi)	0.11 16	0.14 20	0.16 24	0.19 28	0.22 32	0.25 36	0.28 40	0.30 44
Diámetro de asperjado	(m) (pies)	7.9 26	8.2 27	8.5 28	9.2 30	9.4 31	9.8 32	10.1 33	10.4 34
Descarga de agua	(lpm) (gpm)	2.72 0.72	3.18 0.84	3.60 0.95	3.97 1.05	4.28 1.13	4.54 1.20	4.81 1.27	5.07 1.34

Espaciamiento recomendado:

En hileras 40% del diámetro del asperjado
 Entre hileras 60% del diámetro del asperjado

Ejemplo:

Presión de la boquilla (medida) = 0.19 MPa
 Diámetro del asperjado (gráfico) = 9.2 m

$9.2 \text{ m} \times 0.40 = 3.7 \text{ m}$ en hileras (124% de traslape)
 $9.2 \text{ m} \times 0.60 = 5.5 \text{ m}$ entre hileras (84% de traslape)

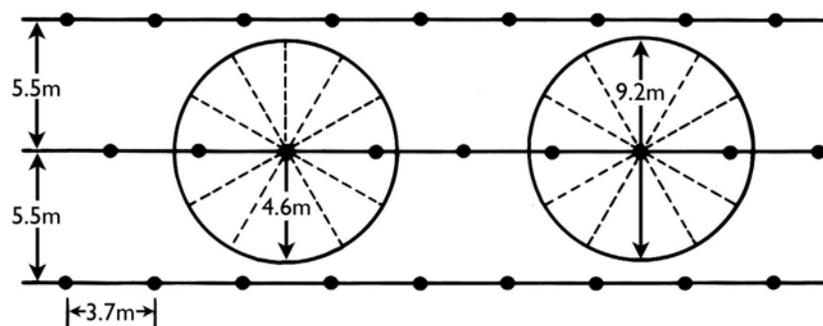


Figura 4.2.26 Muestra de los cálculos para determinar el adecuado traslape entre aspersores, con sistemas de riego fijos, usando las especificaciones para un tipo de boquilla de riego.

El método clásico para determinar la variabilidad en la aplicación del agua de riego, fue desarrollado por Christensen (1942), mediante el cálculo de un índice numérico que él llamó coeficiente de uniformidad (CU). El CU es calculado mediante la ejecución de la prueba de copas, y empleando los datos en la siguiente fórmula (Furuta, 1978):

$$CU = 100 [1.0 - (B/A)]$$

Donde:

CU = coeficiente de uniformidad (%)

B = suma de las desviaciones de los valores individuales, con respecto al valor promedio

A = suma de los valores individuales.

Un patrón de distribución completamente uniforme, producirá un CU de 100%, y tanto menor sea el CU, más variable el riego. El objetivo estándar para la mayoría de los sistemas agrícolas de riego, es un CU de 85% (Zimmerman, 1966), el cual también representa el valor mínimo aceptable que Shearer (1981) sugiere para cultivos de especies forestales en vivero.

distribución del agua alrededor del perímetro del área de cultivo.

4.2.5.4 Sistemas de riego automáticos.

Varios tipos de controladores automáticos están disponibles, algunos usan relojes y uno utiliza el peso de los contenedores, de modo que el riego puede ser aplicado automáticamente (Hanan *et al.*, 1978). Este equipo permite al viverista programar previamente periodos de riego, y representa un gran ahorro de trabajo. El viverista prudente, sin embargo, nunca se confiará del todo a los sistemas automáticos, y continuará supervisando directa y regularmente la eficiencia en el riego, y su efecto en el crecimiento de las plantas.

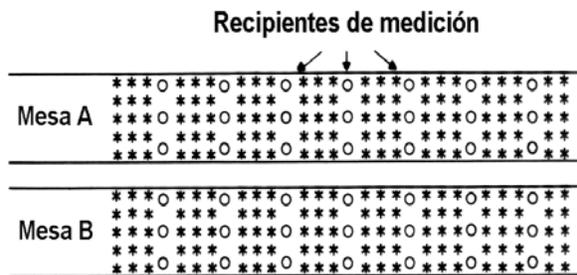


Figura 4.2.27 La eficiencia real de un sistema de riego, deberá verificarse periódicamente, con la "prueba de copas", la cual consiste en medir el agua captada en una serie de copas graduadas, arregladas en un patrón de distribución regular, sobre las mesas de producción.

En la Universidad de California, en Davis, recientemente ha sido desarrollado un programa de cómputo para modelar el riego con aspersores, utilizando como información la altura del agua obtenida en la prueba de copas para generar gráficas tridimensionales (Fischer, 1987). Usando esta información, los problemas de distribución del agua pueden ser fácilmente identificados, como en el caso de los "buñuelos" derivados de baja presión del agua en una boquilla (fig. 4.2.28A), o el patrón en "barra de pan" (fig. 4.2.28B), el cual es característico cuando se hace una pobre

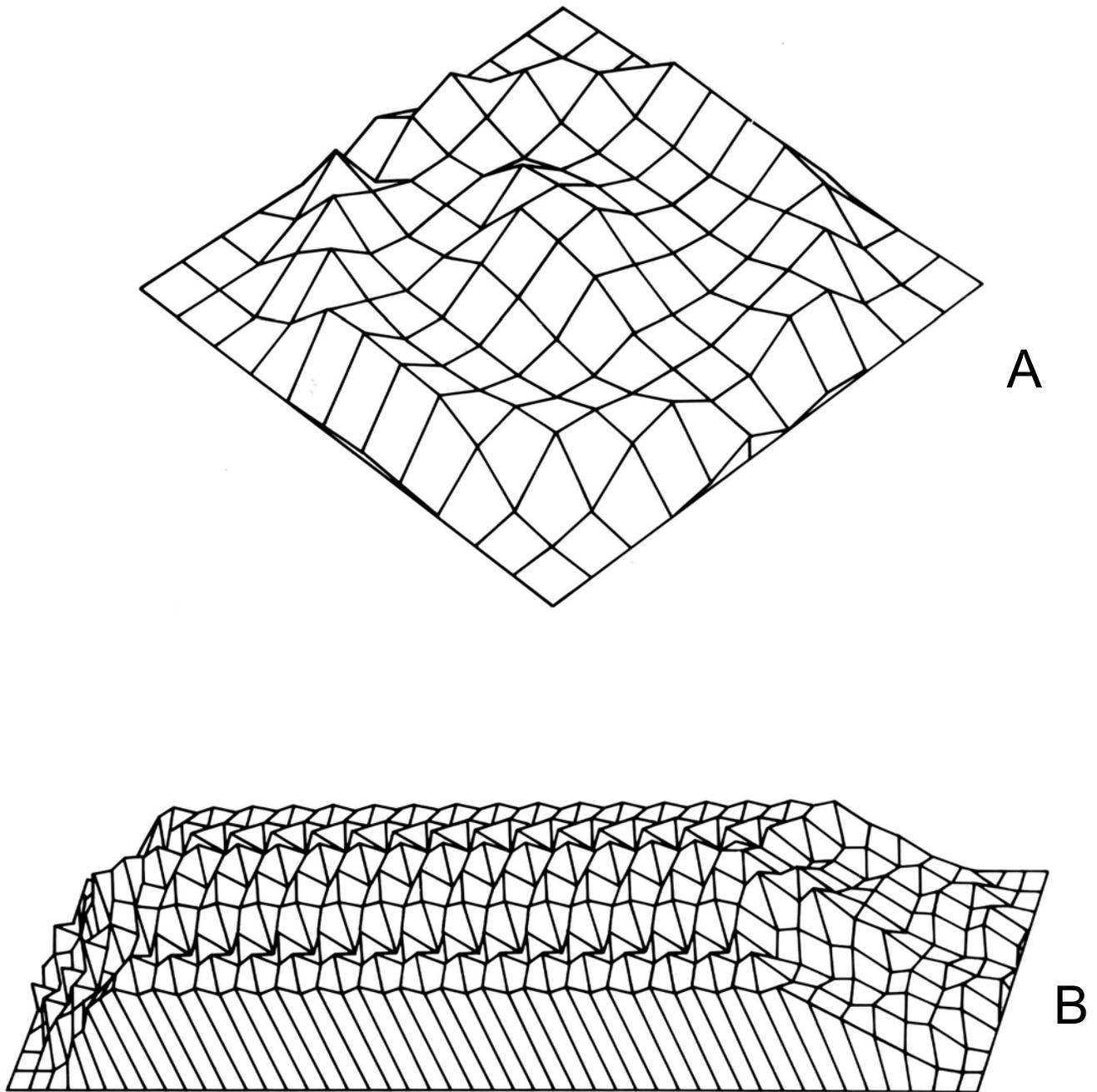


Figura 4.2.28 Los patrones de distribución de los aspersores, pueden ser modelados con el uso de computadoras, empleando los datos de la denominada prueba de copas. Estas gráficas tridimensionales ilustran dos problemas comunes, encontrados en los sistemas de aspersión fijados en la parte superior: un patrón en "buñuelos", resultante de una baja presión del agua en una boquilla (A), y un patrón de "barra de pan", el cual es característico cuando hay un pobre traslape entre rociadores, y efectos del viento alrededor del perímetro del área de cultivo (B) (Fisher, 1987).



4.2.6 Supervisando el Agua en los Contenedores- Determinando Cuándo Regar.

El determinar el estado de la humedad del sustrato, en la mayoría de los contenedores usados en los viveros forestales, es un problema porque es difícil observar o muestrear el sustrato en los contenedores pequeños. Algunos contenedores, como el tipo "libro", pueden ser abiertos y permiten hacer observaciones directas del contenido de humedad del medio, definitivamente una ventaja. A reserva de las dificultades operativas, es absolutamente necesario supervisar regularmente el nivel de humedad del medio de crecimiento en el contenedor, a causa del volumen limitado de las reservas de humedad en los pequeños contenedores, lo que significa que pueden desarrollarse rápidamente tensiones hídricas críticas.

Hanan *et al.* (1978) y Furuta (1978) discuten varias técnicas para la revisión de la humedad, las cuales pueden ser usadas en los viveros ornamentales que producen en contenedor. White (1964), evaluó dos métodos estándares, con tensiómetros e instrumentos electrométricos (bloques de yeso), para cultivos en contenedor, y concluyó que éstos no fueron apropiados por tres razones: 1) falta de respuesta por arriba de la capacidad de campo, 2) deterioro debido a la fertilización frecuente, y 3) su relativo gran tamaño, que limita su uso en contenedores pequeños. Hanan *et al.* (1978) concluyeron que no hay instrumento económico, ni preciso, que pueda medir el contenido de humedad del sustrato en contenedores; cualquier método debe estar basado en observaciones reales y en la experiencia de los viveristas.

Dos investigaciones sobre supervisión del riego han sido dirigidas en los años recientes. McDonald (1978), investigó sobre plantas producidas en contenedor en viveros forestales en el oeste de los Estados Unidos, y encontró que el 60% usó una revisión táctil y visual del medio de crecimiento y de la condición de la planta, 22% supervisó el peso del contenedor, y el 18% restante usó otros métodos, incluyendo la cámara de presión. La Encuesta de Viveros encontró que la mayoría de los viveros forestales que producen en contenedor en los Estados Unidos y Canadá, usaron algún tipo de sistema de supervisión del riego, incluyendo: peso del contenedor (48%), métodos táctiles y visuales (33%), medidores de humedad comerciales (8%), y una combinación de métodos, incluyendo la cámara de presión (11%); 13% de los viveros reportaron no usan sistema de seguimiento del riego.

4.2.6.1 Revisión visual y táctil.

Esta técnica consiste en las observaciones directas del sustrato y en la condición de la planta, para determinar las necesidades de riego. McDonald y Running (1979), describen un sistema para estimar el contenido de humedad en suelos de viveros que producen a raíz desnuda, usando la "palpación" o la "apariencia" del suelo, pero estas guías no son aplicables para los medios de crecimiento artificiales. La mejor técnica es observar la relativa facilidad con que el agua puede ser exprimida del medio, e intentar correlacionar esta condición de humedad con la apariencia y crecimiento de la planta; este proceso requiere mucha experiencia, y es muy subjetivo. A reserva de sus obvias limitaciones, la técnica visual y táctil aún es ampliamente utilizada, y puede resultar muy efectiva cuando es usada por un viverista con experiencia y conocimientos.

4.2.6.2 Mediciones del peso del contenedor.

Con base en los resultados de la Encuesta en Viveros, actualmente la medición del peso del contenedor es la técnica más popular. El principio básico detrás de esta técnica es simple: dado que el agua es relativamente pesada en relación a otros componentes de los contenedores, el contenido de humedad de una charola o bloque de contenedores puede ser determinado mediante el peso. El peso del contenedor disminuye entre riegos conforme el agua de riego se pierde a través de la evaporación y la transpiración, y el cultivo de plantas es regado cuando el peso del contenedor alcanza un nivel determinado (fig. 4.2.29).

El peso de una charola varía por muchos factores, como el tipo del contenedor, el tipo de sustrato, el grado de compactación del sustrato, la especie cultivada, y la etapa de desarrollo de la planta, pero uno de los factores más significativos es el contenido de humedad. Matthews (1983b) reporta que un contenedor "Styroblock 2A ®", saturado, conteniendo sustrato compactado a una densidad promedio de 0.1 g/ml (peso anhidro), pesará entre 7.00 y 8.25 kg. Desarrollando una serie de pesadas a contenedores, correspondientes al contenido de humedad disponible y a la condición de la planta, un viverista puede usar ésta información para determinar cuándo regar, y aún para manipular el crecimiento y desarrollo de la planta.

La única pieza de equipo necesaria para determinar los pesos de los contenedores, es una báscula de precisión (fig. 4.2.30); algunos viveros usan más de una báscula, dejando los contenedores sobre éstas en el área de cultivo, para que puedan hacerse lecturas rápidamente. Los contenedores deberán pesarse inmediatamente después del riego, para que los resultados puedan ser comparados con precisión. El procedimiento de pesado del contenedor debe ser también ajustado en relación al peso de la planta. Conforme la planta se hace más grande, ésta tendrá cada vez una mayor influencia en el peso del contenedor (tanto como 10 a 15% del peso total del contenedor). Los pesos recientes en húmedo de los contenedores, tomando en consideración los pesos de las plantas, deberán ser calculados a intervalos regulares durante la estación de cultivo.

Los pesos de contenedores regados variarán significativamente entre especies, debido a la respuesta fisiológica de cada una a la tensión hídrica. Matthews (1983b) desarrolló una detallada escala de pesos de contenedores para viveros forestales que producen en contenedores en Columbia Británica, para tres diferentes "grupos de

plantas" (cuadro 4.2.12). Él ha distinguido tres tipos diferentes de contenedores y tres "niveles" de tensión hídrica: baja tensión para la fase de crecimiento rápido, tensión moderada para la reducción del crecimiento, y tensión mediante sequía para inducir dormición durante la fase de endurecimiento. El tensionamiento mediante sequía es efectivo en algunas especies, como *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir), *Picea sitchensis* (Sitka spruce), *Larix occidentalis* (western larch) y *Thuja plicata* (western redcedar) (grupo 3), las cuales son muy sensibles al riego excesivo, y producirán un excesivo crecimiento en altura, a expensas del crecimiento en diámetro y del crecimiento de la raíz. Otras especies, como *Tsuga heterophylla* (western hemlock), *Tsuga mertensiana* (mountain hemlock), *Abies spp.*(fir), *Picea glauca* (white spruce) y *P. engelmannii* (Engelmann spruce) (grupo 1), pueden ser dañadas permanentemente por la tensión con sequía indiscriminada (cuadro 4.2.12). Krizek (1985) concluyó que el procedimiento de contención del agua para inducir tensión hídrica en la planta es muy difícil de controlar operativamente, a causa de la dificultad para alcanzar y mantener el nivel especificado de humedad disponible en el sustrato.

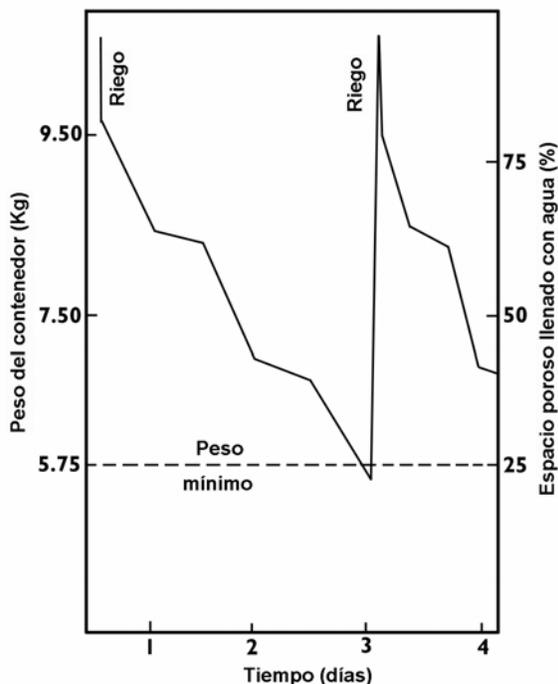


Figura 4.2.29 El peso del contenedor disminuye después del riego hasta que alcanza algún valor mínimo predeterminado, punto en el cual deberá aplicarse riego (cortesía de Tony Willingdon, Surrey Nursery, BC).



Figura 4.2.30 A causa del relativamente gran peso del agua, el riego puede ser supervisado a través de pesadas repetidas en contenedores seleccionados, para determinar la pérdida de agua en peso.

Existen dos formas para desarrollar una escala que relacione pesos de contenedores con demanda de riego: 1) a través de la experiencia y 2) usando mediciones del potencial mátrico del sustrato. Antes de desarrollar una escala de peso para el contenedor, deben ser definidos ciertos términos:

Peso húmedo = el peso de un contenedor llenado y sembrado, después de que ha sido saturado, y después de que se le ha permitido drenar libremente. El medio estará a "capacidad de contenedor", que conceptualmente es lo mismo que la capacidad de campo del suelo natural.

Peso de riego = el peso del contenedor cuando la irrigación es requerida. Este valor variará con el tamaño de la planta y con los objetivos de cultivo.

Desarrollo de una escala de pesos para los contenedores a través de la experiencia. El primer paso consiste en medir los pesos de los contenedores en varios momentos después del riego, y en intentar correlacionar estos pesos con el contenido de humedad disponible del sustrato, y

con la condición de la planta. El método visual y táctil de observar directamente la cantidad de humedad en el medio de crecimiento, puede ser usado para estimar los niveles de humedad disponible, y el punto de marchitez puede ser establecido mediante la observación de la turgencia de las plantas durante los periodos de medición.

Cuando se ha recabado suficiente información de pesos de contenedores, los datos pueden ser convertidos a una escala de peso de contenedores, la cual muestra el peso del riego como un porcentaje del peso húmedo. McDonald y Running (1979), sugieren que el peso del riego está alrededor del 75 u 80% del peso en húmedo. Con suficiente experiencia, una escala puede ser desarrollada para que el momento de riego pueda ser programado en varias etapas de cultivo, durante la etapa de crecimiento, e incluso durante el empaque y el almacenamiento (cuadro 4.2.13). Cada vivero deberá desarrollar sus propias escalas de peso de los contenedores, pues puede existir variación entre tipos de sustratos, características de los contenedores, además de la respuesta individual de la planta.

Cuadro 4.2.12 Pesos de contenedores para especies arbóreas^a de Columbia Británica, con base en la pérdida de peso del agua.

Tipo de contenedor	Peso del contenedor (Kg)								
	Plantas Grupo 1			Plantas Grupo 2			Plantas Grupo 3		
	Tensión hídrica escasa	Tensión hídrica moderada	Tensión hídrica severa	Tensión hídrica escasa	Tensión hídrica moderada	Tensión hídrica severa	Tensión hídrica escasa	Tensión hídrica moderada	Tensión hídrica severa
Styroblock 2A ®	1.50	1.75	2.25	1.75	2.00	2.50	2.00	2.25	2.75
Styroblock 4A ®	2.00	2.50	3.00	2.25	2.75	3.15	2.75	3.00	3.25
Spencer-Lemaire 5 ®	---	---	---	0.80	0.90	1.00	0.90	1.00	1.10

^a Grupo de plantas 1 = *Abies amabilis* (Pacific silver fir), *Tsuga mertensiana* (mountain hemlock); grupo de plantas 2 = *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) de la franja interior seca, *Pinus contorta* (lodgepole pine), *Pinus ponderosa* (ponderosa pine), *Chamaecyparis nootkatensis* (Alaska-cedar), *Abies grandis* (grand fir), *Tsuga heterophylla* (western hemlock), *Picea glauca* (white spruce), *Picea engelmannii* (Engelmann spruce); grupo de plantas 3 = *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) de la costa, *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) de la franja húmeda interior, *Larix occidentalis* (western larch), *Picea sitchensis* (Sitka spruce), *Thuja plicata* (western redcedar). Fuente: Matthews (1983b).

Cuadro 4.2.13 Escala de pesos de contenedores, desarrollada para plantas de coníferas en el Pacífico Noroeste.

Etapas de cultivo de la planta	Peso del riego (% del peso húmedo)
Germinación	90
Crecimiento rápido	80
Endurecimiento	65-70
Posterior al desarrollo de yema	75
Empaque y almacenamiento	80-85

Fuente: James Sedore, Washington Department of Natural Resources, Webster Forest Nursery, Olympia, Wa.

Desarrollando de una escala de pesos de los contenedores usando el potencial mátrico del sustrato. Un método más científico y menos consumidor de tiempo, para determinar el peso del riego de un contenedor, está fundamentado en el potencial mátrico del sustrato (PMMC), el cual es una medida de la energía requerida para absorber humedad del medio de crecimiento. Los valores de PMMC, pueden ser obtenidos de curvas de retención de humedad del suelo, que ilustran la relación entre porcentaje de humedad del suelo, por peso, y el PMMC (Ver sección 4.2.2, para mayor discusión acerca de la terminología

relacionada con el potencial hídrico, y la sección 4.2.3.1 para mayor información sobre las curvas de retención de humedad del suelo). Aunque esta técnica no es posible ajustarla por compactación del sustrato, y por el efecto del contenedor, es el medio más empírico para estimar el PMMC en los contenedores pequeños en la actualidad. La tecnología del futuro puede producir sensores lo suficientemente pequeños para supervisar directamente el PMMC, dentro del contenedor.

Una curva típica de retención de humedad en el suelo, para un sustrato formulado con 50% de turba de musgo y 50% de vermiculita, se muestra en la figura 4.2.8. Una vez que la curva está estable, los valores de PMMC que tiene significancia biológica ("valores objetivo") pueden ser leídos de la curva, junto con los contenidos de humedad del sustrato correspondientes; los contenidos de humedad exactos para valores específicos de PMMC pueden también ser determinados con pruebas de laboratorio, mientras se desarrolla la curva. Los valores objetivo de PMMC dados en el cuadro 4.2.14, fueron tomados de la literatura. Day (1980) proporciona una excelente discusión acerca del seguimiento del riego en viveros que producen a raíz desnuda, y recomienda mantener un PMMC de entre -0.010 a -0.075 MPa para asegurar un buen balance de aireación y humedad. McDonald y Running (1979), recomiendan que el sustrato sea irrigado entre -0.050 y -0.080 MPa, en comparación con la recomendación de -0.055 MPa para un sustrato grueso con vermiculita (Puustjarvi *et al.*, 1972; citado por Hallett, 1982b). Con base en estas recomendaciones, los límites de la irrigación objetivo fueron establecidos en -0.010 MPa para el peso húmedo, y -0.050 MPa para el peso de riego (cuadro 4.2.14).

Una vez que los valores objetivo de PMMC y de contenido de humedad del medio de crecimiento han sido establecidos (cuadro 4.2.14), las pérdidas de agua en peso del contenedor en cada uno de los puntos pueden ser calculados usando la siguiente relación, la cual es también la base para la curva de retención de humedad:

$$\% \text{ Contenido de humedad} = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso anhidro del sustrato}}$$

En cuanto las pérdidas de agua en peso han sido calculadas para cada uno de los valores objetivo, una escala sensible de pesos en contenedor puede ser desarrollada, de modo que sea específica para cada tipo de contenedor (cuadro 4.2.14). Para las super celdas (Super Cells), las plantas en la fase de crecimiento rápido deberán ser mantenidas

entre -0.01 y -0.05 MPa de PM del sustrato, que equivale a pérdidas de peso en agua de entre 4.04 y 5.77 kg. Para inducir la tensión hídrica (-0.10 MPa) durante el periodo de endurecimiento, se puede permitir que los pesos del contenedor desciendan por debajo de las condiciones ideales de humedad, aproximadamente 6.26 kg para las super celdas (Super Cells) (cuadro 4.2.14). Sin embargo, es imposible prescribir con precisión un PM del medio de crecimiento para la fase de endurecimiento, porque la tensión hídrica de la planta es una función de la demanda evaporativa y de la fisiología de la misma, en adición a los niveles de humedad del suelo (ver sección 4.2.7.3).

El desarrollo de una escala de peso para los contenedores, requiere de un gran esfuerzo y de mucha toma de datos, pero el peso de los contenedores es una de las pocas técnicas objetivas, no destructivas y repetibles, para la revisión del riego en los viveros que producen en contenedor. El peso del contenedor es también la mejor manera para determinar las necesidades de riego temprano en la etapa de crecimiento, antes que las plantas sean lo suficientemente grandes para mostrar tensión hídrica, o para usar la cámara de presión.

4.2.6.3 Supervisando el potencial hídrico de la planta con la cámara de presión.

Las lecturas de potencial hídrico de la planta (PHP), representan la forma más precisa para determinar el estado de la humedad de una planta y las mediciones con una cámara de presión (fig. 4.2.5), antes del alba, pueden dar una excelente indicación de las necesidades de riego (ver la sección 4.2.2.3 para obtener información básica del PHP). Day (1980), recomienda que en cada vivero obtenga y use la cámara de presión; McDonald (1978) reporta que las cámaras de presión comenzaron a ser usadas en un 10 a 15% de los viveros forestales en el oeste de los Estados Unidos.

La principal limitante de esta técnica es que es destructiva, y que las plantas deben ser lo suficientemente grandes para ajustarse en el orificio de la cámara, lo cual significa que no puede ser usada al inicio del ciclo de cultivo. Cuando se trata de plantas de mayor tamaño, pueden ser usadas acículas individuales o fascículos de acículas; Ritchie (1984), ilustra una modificación a la cámara de presión que acomoda acículas individuales de coníferas y que permite realizar mediciones de PHP en la misma planta. McDonald y Running (1979), describen un método para relacionar lecturas en la cámara de presión con

requerimientos de humedad, y la dificultad para interpretar valores de PHP realizados al medio día.

Day y Walsh (1980), desarrollaron un manual para el uso de cámaras de presión en viveros y trabajos de reforestación, el cual incluye procedimientos para obtener material de muestra, y para operar la cámara:

1. Los tallos u otras partes de la planta a ser probadas, deben ser obtenidas con un corte limpio, y no deben ser vueltas a cortar.
2. La corteza alrededor del tallo de la planta debe ser removida, antes de la prueba; se recomienda una longitud estándar de 2 cm (0.8 pulgadas).
3. La parte de la planta no debe sobresalir de la tapa de la cámara de presión más de 1 ó 2 cm (0.4 a 0.8 pulgadas).
4. Las mediciones de PHP deben ser hechas no más de 5 minutos después del corte del tallo de la planta.
5. El gas comprimido debe ser aplicado a una tasa constante de 0.04 a 0.07% MPa (5 a 10 psi) por segundo.
6. Las partes de la planta deben ser medidas sólo una vez, para luego ser desechadas.

A reserva de la conveniencia de la técnica con cámara de presión, para el seguimiento del riego en los viveros, existen pocos estándares publicados para su uso por los viveristas. Un esquema generalizado de respuesta de la planta a un intervalo de valores de PHP tomados antes del alba, se proporciona en el cuadro 4.2.15. Las lecturas de la cámara de presión deberán ser obtenidas siempre que sea posible, antes del alba, pues éstas representan la más estable indicación del estado de humedad que guarda la planta. Algunos científicos recomiendan lecturas al medio día, pero estos valores son muy variables como para ser usados con fines operativos (ver figura 4.2.4, para observar un patrón diurno típico de PHP). Aunque existen algunas diferencias significativas entre especies, una regla general puede ser el regar cuando los valores de PHP, tomados antes del alba, excedan de -0.5 MPa. Cleary *et al.* (1978), establece que los periodos de tensión hídrica escasa (alrededor de -0.5 MPa), promueven la robustez y un mejor acondicionamiento de las plantas, en comparación con las sobreirrigadas. Nunca debe permitirse que la tensión hídrica en las plantas exceda de -1.0 MPa, a menos que se desee inducir una reducción en el crecimiento o la dormición.

Cuadro 4.2.14 Escala de peso para contenedores de dos tipos, desarrollada de una curva de retención de humedad para el suelo, para un sustrato formulado con 50% de turba de musgo y 50% de vermiculita.

Valores objetivo		Pérdida de agua en la bandeja de contenedores (kg)		Guías de condición de la planta y de riego
Potencial mátrico del sustrato (Mpa)	Contenido de humedad del sustrato (%)	Ray Leach Pine Cells ®	Ray Leach Super Cells ®	
0.00	482	0.00	0.00	Medio saturado-muy húmedo
-0.01	235	3.49	4.04	Límite superior para la fase de crecimiento rápido-peso húmedo
-0.05	130	4.94	5.77	Límite inferior para la fase de crecimiento rápido-peso de riego
-0.10	98	5.40	6.26	Fase de endurecimiento-tensión hídrica
---	0	6.76	7.89	Medio anhidro

Fuente: Burr (1982).

Cuadro 4.2.15 Respuesta en crecimiento e implicaciones de cultivo al inducir tensión hídrica en plantas de coníferas del oeste, en viveros del noroeste.

Potencial hídrico de la planta (antes del alba)		Calificación de tensión hídrica	Respuesta de la planta / implicaciones de Cultivo
Mpa	Bars		
0.0 a -0.5	0-5	Somera	Crecimiento rápido
-0.5 a -1.0	5-10	Moderada	Crecimiento reducido/buena para endurecimiento en general
-1.0 a -1.5	10-15	Alta	Crecimiento restringido /resultados variables en el endurecimiento
-1.5 a -2.5	15-25	Severa	Potencial de daño
< -2.5	>25	Extrema	Daño o mortalidad

Fuente: modificado de Cleary *et al.* (1978).



4.2.7 El Riego como Tratamiento de Cultivo - Determinando qué tanto Regar

Una vez que se ha tomado la decisión de regar, el siguiente paso es determinar qué tanta agua deberá aplicarse por evento de riego. La cantidad de agua puede ser descrita en términos de profundidad (centímetros) o de volumen de agua (litros) por unidad de área, y las estimaciones sobre qué tanta agua aplicar, se dan en la sección 4.2.4.1. No obstante, sobre una base operativa, los eventos de riego normalmente son controlados por relojes, en el caso de sistemas de riego fijos, o por el número de pasos, en el de sistemas móviles. Ambos necesitan ser determinados empíricamente para las condiciones de cada vivero.

El concepto más importante en el riego de contenedores, es aplicar suficiente agua durante cada evento, un poco más de lo necesario para saturar el medio, de modo que ocurra una poca de lixiviación. Debido a las propiedades únicas de los sustratos en contenedores (ver sección 4.2.3.2), debe ser aplicada suficiente agua en la superficie, para forzar al aire a salir de los poros del sustrato. Ya que el riego en los viveros forestales que producen en contenedores sólo es aplicado desde arriba, este "frente" de agua se mueve hacia abajo, a través sustrato, tanto como continúe el riego; si el periodo de riego es muy breve, el agua nunca alcanzará el fondo del contenedor, y resultará una tabla de agua suspendida, con una capa de sustrato seco. A causa de esto, es importante no regar parcialmente el cultivo de plantas en contenedores, porque sólo la parte superior del sustrato será humedecida (Nelson, 1978).

Si el sustrato de los contenedores no está completamente saturado después de cada riego, la planta nunca desarrollará raíces en el sustrato seco en el fondo del contenedor, resultando un cepellón pobremente formado. Otro peligro es que las sales fertilizantes se acumularán en el sustrato, y originarán daños por salinidad, o "quema por fertilizantes". La regla general es aplicar aproximadamente 10% de agua adicional, con respecto a la requerida para saturar el perfil entero del medio de crecimiento, en cada riego. El mejor procedimiento es verificar, para estar seguros, que el drenaje esté ocurriendo durante o inmediatamente después del riego, esto mediante inspección directa, o fijando un frasco o una bolsa de plástico al fondo del contenedor, para coleccionar el lixiviado (Para obtener más información acerca de la salinidad y de un procedimiento para determinar el lixiviado adecuado, ver las secciones 4.1.3.4 y 4.1.9.2).

La cantidad de riego a aplicar varía durante la etapa de cultivo, debido a las diferentes etapas de desarrollo de la planta, y a los objetivos de cultivo del viverista. Puesto que el agua es tan esencial para el crecimiento de la planta, el régimen de riego puede ser manipulado para controlar el crecimiento de la misma.

4.2.7.1 Regando durante la fase de establecimiento.

Inmediatamente después que los contenedores ya sembrados son colocados en el área de crecimiento, el sustrato deberá estar completamente saturado. Antes de la germinación de la semilla, la mayor pérdida de humedad es por evaporación de la parte superior del contenedor (fig. 4.2.12A). El riego durante este período, sin embargo, debe ser aplicado para rehumedecer esta delgada capa superficial, lo cual se cumplirá de mejor forma a través de las frecuentes nebulizaciones o de los riegos ligeros. Los riegos poco frecuentes, facilitarán que la semilla se seque y que pueda reducirse la germinación, mientras que el riego excesivo puede causar condiciones excesivamente húmedas alrededor de la semilla, y promover la "chupadera".

El riego puede ser también usado para controlar la temperatura alrededor de las semillas en germinación. Éstas, particularmente aquellas con cubiertas seminales de color oscuro, pueden ser dañadas por elevadas temperaturas en el sustrato. Matthews (1983b) recomienda riegos si las temperaturas superficiales exceden los 30°C (86°F).

4.2.7.2 Regando durante la fase de crecimiento rápido.

Una vez que el sistema radical de la plántula se ha establecido, el patrón de uso del agua cambia y la transpiración gradualmente reemplaza a la evaporación como la principal fuente de pérdida de agua (fig. 4.2.12B). Cuando la planta se hace lo suficientemente grande para sombrear completamente la parte superior del contenedor, la superficie de evaporación declina y se hace insignificante, en comparación con la transpiración. Debido al "efecto de contenedor" (ver sección 4.2.3.2), una pequeña zona con medio de crecimiento saturado puede existir al fondo del contenedor, la profundidad dependerá de la porosidad del sustrato (fig. 4.2.9) y de la longitud del contenedor (fig. 4.2.10). Puesto que el agua

disponible será removida de la parte superior del contenedor en primer término, la salinidad se hará mayor en el reservorio pequeño de solución del sustrato en el fondo, lo cual remarca la necesidad de un frecuente lixiviado. En efecto, uno de los signos aparentes de problemas de salinidad, es la costra de sal alrededor de la perforación de drenaje del contenedor.

La mayoría de los manuales de contenedores existentes (Carlson, 1983; Tinus y McDonald, 1979), recomiendan mantener el sustrato a "capacidad de campo" para maximizar las tasas de crecimiento. Sin embargo, algunos especialistas de vivero, creen que los periodos regulares con ligera tensión hídrica resultarán en un crecimiento más robusto de las plantas. Cleary *et al.* (1978), recomienda inducir periodos con una "moderada tensión hídrica" entre riegos para las plantas de *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) costero, permitiendo que el PHP alcance más de 0.5 MPa antes del riego. Este concepto está reflejado en los intervalos de PHP recomendados en el cuadro 4.2.15. Matthews (1983b) es partidario de un programa de riego con periodos alternos húmedos-secos, para minimizar la proliferación de musgos, algas y hepáticas. No obstante, los viveristas deberán estar conscientes de que cada especie reacciona de manera diferente a cualquier práctica de cultivo, así que deberán ser conducidas unas pruebas operativas antes de adoptar la aplicación de tensión hídrica como una práctica estándar.

Otro factor que debe ser considerado cuando se programa la irrigación, es el efecto de la intercepción del follaje. Aunque el follaje de una plántula joven está limitado en cobertura, las hojas de plantas más grandes, especialmente de especies de latifoliadas, pueden causar una reducción significativa en la cantidad de riego que alcance la superficie del sustrato. La duración del periodo de riego debe, por tanto, ser ajustada periódicamente durante la estación de cultivo, para compensar las pérdidas debidas a intercepción.

4.2.7.3 Regando durante la fase de endurecimiento.

Se ha encontrado que la manipulación del régimen de riego es una de las formas más efectivas para iniciar el endurecimiento de plantas antes de su almacenamiento o embarque. Dado que el crecimiento de las plantas está tan críticamente relacionado con los niveles de tensión hídrica, un viverista puede reducir el crecimiento en altura, inducir desarrollo de yemas, o iniciar el desarrollo de resistencia al frío, en muchas especies producidas en contenedor, mediante la práctica de

cultivo de inducir tensión hídrica (fig. 4.2.31). Este procedimiento de "tensionamiento por sequía" consiste en retener el riego durante periodos cortos de tiempo, hasta que las plantas comiencen a mostrar marchitez, o hasta que se alcance alguna tensión hídrica predeterminada. Después de este tratamiento tensionante, el cultivo es reincorporado a su programa de riego. Matthews (1983b) recomienda un tratamiento de tensión hídrica para inducir el desarrollo de yemas después de que se alcanza un adecuado crecimiento en altura (cuadro 4.2.12); este periodo de tensión hídrica puede durar hasta 14 días, dependiendo de la especie. Timmins y Tanaka (1976), encontraron que las plantas sometidas a tensión hídrica fueron más pequeñas en diámetro y que tuvieron menores pesos anhidros de la raíz y de la parte aérea, en comparación con las plantas sin tensión, pero que también tuvieron significativamente más yemas terminales, las cuales también se formaron más temprano. Estos autores concluyen que los niveles moderados de tensión hídrica incrementaron la capacidad de endurecimiento de las plantas ante el frío.



Figura 4.2.31 La tensión hídrica puede ser usada para controlar el crecimiento de la parte aérea de algunas plantas producidas en contenedor, aunque esta práctica de cultivo puede ser difícil de ser aplicada uniformemente.

En una revisión reciente acerca de los efectos de la tensión hídrica en la calidad de las plantas, Joly (1985) enlista dos efectos fisiológicos y morfológicos del déficit de humedad en plantas producidas a raíz desnuda, que pueden ser de utilidad para los viveristas que producen en contenedor:

1. Un incremento en la tensión hídrica puede ser usada para inducir dormición en la planta durante el inicio del verano, hasta mediados de éste (Zaerr *et al.*, 1981).
2. Los valores medios de PHP (-0.5 a -1.0 MPa), durante mediados del verano, iniciarán la

secuencia de eventos que conduzcan a la adquisición de resistencia ante el frío (Blake *et al.*, 1979).

Pueden ser agragados dos efectos más:

3. Los niveles moderados de tensión hídrica (-1.0 a -1.5 MPa), pueden ser usados para retardar el inconveniente crecimiento tardío de la parte aérea, aunque este tratamiento reduzca el endurecimiento ante el frío (Blake *et al.*, 1979).
4. Christenson (1976), demostró que tanto las plantas de Pino como de Picea, producidas en contenedor, podían ser endurecidas gracias a la imposición de un periodo de tensión hídrica, y que estas plantas endurecidas podían tolerar una más severa tensión hídrica (-3.5 MPa), en comparación con las plantas no endurecidas (-2.5 MPa).

La tensión hídrica, como tratamiento de cultivo, puede ser afectada por otras condiciones ambientales. Blake *et al.* (1979), puntualizan que los efectos de los tratamientos de tensión hídrica sobre el endurecimiento de las plantas, están afectados por el fotoperíodo. Las tensiones hídricas moderadas sólo resultaron efectivas bajo los largos días del verano, o el equivalente fotoperíodo extendido en el ambiente de un invernadero.

También es importante considerar que los tratamientos de cultivo mediante riego pueden tener resultados detrimentales. La irrigación frecuente prolongada hasta finales del verano, puede retrasar el desarrollo normal de la resistencia a las heladas (Lavender y Cleary, 1974). La aplicación de un tratamiento de tensión hídrica bajo un fotoperíodo corto, puede inhibir el desarrollo de la resistencia ante heladas (van den Driessche, 1969).

Un problema con el establecimiento operativo de la tensión hídrica como práctica de cultivo, es el que puede ser considerable la variación en la humedad del sustrato entre contenedores adyacentes. Debido a las diferencias en la aplicación del riego, y en el uso del agua por la planta, es difícil alcanzar un nivel promedio uniforme de potencial hídrico en las plantas, en un invernadero. Otro problema operativo, es que si se permite que el sustrato se seque en exceso, puede hacerse hidrofóbico y dificultar así su rehumedecimiento, aún con el empleo de agentes humectantes.

La mayoría de las investigaciones acerca de estas técnicas han sido realizadas con *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) de la costa, o con otras

especies costeras, así que los viveristas deberán considerar este hecho al interpretar los resultados. Matthews (1986), reportó recientemente que la tensión hídrica puede no funcionar bien con las especies de *Picea* (spruce) del interior, en los viveros de Columbia Británica, y concluye que esta importante práctica de cultivo aún debe ser considerada "más un arte que una ciencia". Los viveristas deberán conducir sus propias pruebas de tensionamiento hídrico a escala operativa, para determinar el efecto sobre sus propias especies, en sus respectivos ambientes de cultivo. A reserva de estas advertencias, la inducción de tensiones hídricas moderadas, como las presentadas en el cuadro 4.2.15, deberán ser consideradas como una técnica de cultivo para manipular la fisiología y la morfología de la planta. Una discusión posterior del proceso de endurecimiento, incluyendo la tensión hídrica, se proporciona en el capítulo de endurecimiento, en el volumen seis de esta serie.

4.2.7.4 Regando como protección ante heladas.

Las plantas en contenedor que son producidas en áreas de cultivo a la intemperie, o almacenadas bajo cubiertas, pueden requerir protección contra las temperaturas congelantes durante el otoño o primavera, en los climas con temperaturas de endurecimiento, ayudará a proteger la parte aérea contra el daño por helada, aunque un tiempo atmosférico inusualmente frío a veces puede ocurrir repentinamente, antes que la planta haya tenido tiempo de adquirir suficiente rusticidad. Las raíces no pueden alcanzar un alto grado de resistencia ante el frío, y siempre deberán ser aisladas cuando las plantas van a ser almacenadas bajo condiciones expuestas (más información sobre el proceso de endurecimiento puede ser encontrada en el capítulo de endurecimiento, en el volumen seis de esta serie).

Una excelente discusión sobre el uso de riego con aspersores, para protección ante heladas en viveros forestales que producen a raíz desnuda, es proporcionada por McDonald (1984), y los mismos principios básicos se aplican a los viveros que producen en contenedor. El riego mediante aspersores protege contra el daño por frío porque se libera calor cuando el agua se congela sobre el follaje de la planta, y la capa de hielo proporciona algún grado de aislamiento. Sin embargo, la principal protección viene del calor liberado por el agua en congelación, y este efecto protector dura sólo tanto como el riego continúe siendo aplicado. El riego deberá comenzar tan pronto como la temperatura descienda bajo el punto de congelación, y continuar hasta que el hielo se

derrita. En algunos viveros, se prueba a las plantas en cuanto a resistencia contra heladas, y se basan en estas pruebas para determinar cuándo debería comenzar la protección. La protección ante heladas mediante riego con aspersores, no puede proteger contra las severas heladas "duras", pero se han logrado salvar cultivos agrícolas sometidos a temperaturas tan bajas como -8°C (17°F). La cantidad de agua a aplicar como protección ante heladas, varía con la temperatura y con la velocidad del viento. Algunas sugerencias respecto a tasas de riego a aplicar, son proporcionadas en el cuadro 4.2.16 (Hansen *et al.*, 1979).

Cuadro 4.2.16 La cantidad de riego necesario como protección ante heladas, varía con la temperatura y con la velocidad del viento (se muestran tres intervalos de 0 a 5 km/h)

Temperatura de la planta ($^{\circ}\text{C}$)	Tasa de riego (mm/h)		
	0-0.05 km/h	1.0-2.5 km/h	3.0-5.0 km/h
-3	2.5	2.5	2.5
-4	2.5	3.5	5.5
-5	3.0	5.0	--
-6	3.5	6.5	--
-8	5.0	--	--

Fuente: Hansen *et al.* (1979).



4.2.8 Disposición del Agua de Riego Residual

4.2.8.1 Eficiencia del riego con aspersores.

El riego con aspersores que es comúnmente usado en la mayoría de los viveros forestales que producen en contenedor, es muy ineficiente. Handreck y Black (1984), estimaron que menos de un tercio del agua de riego aplicada con aspersores, alcanza el sustrato. No existen datos publicados para viveros forestales, pero Weatherspoon y Harrell (1980) compararon aspersión desde arriba y riego por goteo en un vivero ornamental: los aspersores de impulso tuvieron una eficiencia de riego (esto es, el porcentaje de agua aplicada retenida por el sustrato) de 26%, y los aspersores giratorios tuvieron una eficiencia todavía menor de 13%. El riego móvil de aguilonos puede ser más eficiente que los sistemas de riego fijos, pues el agua es aplicada sólo a las plantas, más que a toda el área de cultivo. La eficiencia del riego gradualmente disminuirá durante la etapa de crecimiento, conforme las copas de las plantas intercepten y derramen una cada vez mayor cantidad del agua aplicada. Muchos viveros ornamentales que producen en contenedores, han adoptado el riego por goteo o subirrigación, para incrementar sus eficiencias de riego, pero los pequeños contenedores usados en los viveros forestales, y la necesidad de podar raíces mediante contacto con el aire, hacen imprácticos a estos sistemas de riego.

4.2.8.2 Manejando agua residual de un vivero.

El problema de una pobre eficiencia de riego, involucra más que simplemente agua de desecho, porque en muchos viveros que producen en contenedor aplican algunos o todos sus fertilizantes y plaguicidas mediante los sistemas de riego. El fertilizante líquido usualmente es aplicado en exceso, con respecto a la cantidad de agua requerida para saturar el sustrato y para estimular el lixiviado del exceso de sales. La mayoría de los plaguicidas son aplicados en el agua a través del sistema de riego, y algunos de estos productos químicos inevitablemente finalizan en el agua de desecho; los sustratos empapados resultan particularmente serios en este aspecto.

Pruebas recientes han revelado que los nutrientes de las excesivas fertilizaciones y los plaguicidas, se lixivian y contaminan las fuentes de agua subterráneas. Originalmente se pensaba que el suelo filtraba estas impurezas, y que por tanto las

aguas subterráneas se mantenían puras, pero esta teoría recientemente ha sido refutada. Una investigación de la "Organización de Contabilidad Gubernamental (GAO)" (Government Accounting Organization), encontró que el 29% de los 65 000 sistemas de agua comunitarios en los Estados Unidos, eran incapaces de cumplir con los estándares federales mínimos de calidad del agua potable. La "Agencia de Protección Ambiental (EPA)" (Environmental Protection Agency), actualmente está conduciendo una investigación nacional sobre plaguicidas en el agua potable, que cuando sea concluida proporcionará buenos datos para visualizar este problema (Urbano, 1987).

Dos elementos fertilizantes, el nitrógeno y el fósforo, han sido identificados como particularmente peligrosos para el ambiente o para la salud del ser humano. El nitrógeno nítrico (NO_3^-) es particularmente peligroso: el agua conteniendo más de 10 ppm de NO_3^- puede causar una enfermedad en los niños, denominada metemoglobinemia (methemoglobinemia), la cual involucra la incapacidad de usar el oxígeno (Rosen *et al.*, 1986). El agua de desecho de los viveros forestales que producen en contenedor, indudablemente contendrá cantidades significativas de fertilizante nitrogenado, si el anión NO_3^- no es absorbido por el sustrato y se lixivia de los contenedores con el agua de riego. Mucha de la solución de fertilizante líquido aplicada, es derramada por el follaje de las plantas grandes, o cae fuera del área de cultivo y va directamente al agua de desecho. Urbano (1987), reporta que de un tercio a un medio de los nitratos aplicados como fertilizantes, están finalizando en las fuentes de agua subterránea. El fósforo lixiviado en los lagos puede causar un proceso de incremento de algas y malas hierbas acuáticas, denominado eutroficación. Se desconoce qué tan serio es el problema de la cantidad de fertilizante con P lixiviado de los viveros, porque el P se fija e inmoviliza en el suelo. En un estudio sobre escorrentía de tormentas hacia uno lagos en Minneapolis, MN, se encontró que el contenido de P no se podía incrementar con el P de la fertilización (Roser *et al.*, 1986).

Urbano (1987), reporta que la cantidad de herbicidas y plaguicidas que alcanzan el agua subterránea, es mucho más pequeña (0.1%) que la cantidad de nutrientes de fertilizantes, aunque se desconoce la toxicidad de muchos de estos productos químicos. El problema no es hipotético, porque en 1979 se encontró una extensiva

contaminación de pozos de riego con el herbicida Temik® (aldicarb) en Long Island, NY, y se sospecha la contaminación de aguas subterráneas con este plaguicida en otros estados (Urbano, 1987).

Las implicaciones del exceso de fertilizante y plaguicidas en el agua de desecho son obvias, pero no se han establecido estándares aceptables para muchos plaguicidas. Algunos estándares de calidad para aguas de descarga han sido establecidos en el sur de California (cuadro 4.2.17). Florida tiene uno de los programas más rigurosos de supervisión de aguas subterráneas en los Estados Unidos, haciendo pruebas para 129 productos químicos distintos. La acción del estado más reciente que afectará a los viveristas, es la Propuesta 65 en California (la "iniciativa de tóxicos"), la cual requerirá la regulación de más de 200 sustancias químicas potencialmente peligrosas (Urbano, 1987).

Al aceptar el hecho de que existe una considerable cantidad de agua de desecho, los viveristas están comenzando a considerar las formas para enfrentar el problema. El enfoque de cualquier programa de control deberá fundamentarse en la prevención, porque no hay manera de retirar los productos químicos una vez que han contaminado el agua subterránea (Urbano, 1987). Skimina (1986), estudió tres alternativas para manejar el agua de desecho de riegos en un vivero de California que produce en contenedores: descargarla en alcantarillas, desnitrificarla, y reciclarla. Dicho autor encontró que el reciclamiento fue la única opción práctica, y diseñó una infraestructura de tratamiento de aguas (fig. 4.2.32), que produce agua "lo suficientemente pura para beberla". El agua reciclada fue probada en 106 plantas ornamentales, y la mayoría de las plantas de prueba tuvieron un mejor crecimiento que las plantas cultivadas con el agua de riego original; sin embargo, no es empleada operativamente en estacado ni con otras especies sensibles. El costo de construcción de la planta de tratamiento es de US \$1.3 millones, y los costos de operación son de US\$ 0.08 por kl (US\$ 0.30 por galón) (Skimina, 1986). El programa de tratamiento también ha producido varios beneficios colaterales, como la recuperación de fertilizante, pero uno de los beneficios más significativos, ha sido el de las buenas relaciones comunitarias que han resultado del proyecto de reciclamiento (Urbano, 1987).

La mayoría de los viveros forestales no están enclavados en áreas muy pobladas, y la disposición de las aguas de desecho puede no ser una preocupación seria en la actualidad. Sin

embargo, indudablemente, el problema de la disposición del agua de desecho se hará más significativo en el futuro, y los viveristas deberán estar preparados para lidiar con él.

Cuadro 4.2.17 Estándares de calidad del agua, para desechos de riego, establecidos por la Directiva del Control de Calidad del Agua de Los Ángeles ("Los Angeles Water Quality Control Board").

Parámetros de calidad del agua	Límite*
Sólidos disueltos totales	750 ppm
Nitrógeno nítrico	10 ppm
Cloro	175 ppm
Cloro y sulfato	500 ppm
Cromo	0.01 ppm
Sólidos en suspensión	75 ppm
Demanda biológica de oxígeno	30 ppm
Aceites y grasas	15 ppm
Surfactantes	0.50 ppm
Hidrocarburos clorados	0.004 ppm
Turbidez	75 ntu
Sólidos estabilizables	0.2 ml/l

*1 ppm = 1 mg/l; ntu = unidad de turbidez nefrotometro.
 Fuente: Skimina (1986).

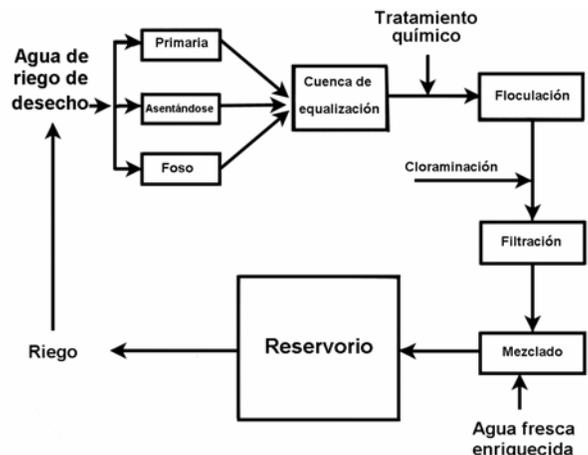


Figura 4.2.32 Esquema del tratamiento de aguas de riego y de la planta de reciclamiento que está en uso en un vivero en California (Skimina, 1986).



4.2.9 Conclusiones y Recomendaciones

A causa de la importancia preponderante del agua para el crecimiento de la planta, el manejo del agua mediante el riego es una de las operaciones de cultivo más críticas en los viveros forestales que producen en contenedor. La comprensión de las relaciones básicas entre planta y agua, es de utilidad en el manejo de los viveros; el estado del agua de una planta forestal puede describirse mejor en términos del potencial hídrico. El potencial hídrico es la forma más práctica para describir el estado del agua en la planta, porque los principios y unidades se mantienen iguales en el sustrato, a través de la planta, y en la atmósfera. El potencial hídrico en el sustrato o en la misma planta, pueden ser separados en componentes que el viverista puede manejar para alcanzar la apropiada cantidad y calidad de crecimiento de la misma.

El agua debe ser manejada diferencialmente en los viveros forestales que producen en contenedores, en comparación con una operación a raíz desnuda. El "suelo artificial", compuesto por materiales como la turba de musgo y la vermiculita, tiene diferentes propiedades físico químicas, en comparación con el suelo natural, incluyendo una mayor capacidad de retención de humedad. El contenedor también tiene un efecto en las propiedades del agua del sustrato, porque el agua no puede drenarse por completo del contenedor, lo cual resulta en una capa saturada en el fondo del medio de crecimiento. La profundidad de esta capa está en función de la longitud del contenedor, y de las propiedades del sustrato.

La cantidad y la calidad del agua de riego es probablemente la consideración más importante en la selección y operación de un vivero forestal que produce en contenedor. Deben estar disponibles suficientes cantidades de agua a través del año para abastecer todos los diferentes usos en el vivero. La calidad del agua de riego en el vivero, primariamente está en función de la concentración y de la composición de las sales disueltas, aunque la presencia de hongos fitopatógenos, semillas de malezas, algas y plaguicidas, también debe considerarse. A causa de que los tratamientos de agua son imprácticos y costosos la mayoría de las veces, las fuentes de agua para riego deberían ser probadas cuidadosamente durante la selección del sitio para instalar el vivero. Las plántulas de especies forestales son muy sensibles a las sales solubles, así que el agua deberá ser probada durante todas las etapas del proceso de riego, a intervalos regulares, durante el periodo de cultivo.

Las plantas forestales en contenedores comúnmente son regadas con algún tipo de sistema de riego con aspersores aéreos, tanto fijos como sobre una estructura móvil. El riego móvil proporciona una cobertura mas uniforme, pero está sujeto a fallas mecánicas. Diferentes tipos de aspersores estacionarios están disponibles y funcionarán satisfactoriamente si son adecuadamente diseñados y mantenidos. Cualquier sistema de riego debe ser probado periódicamente, para estar seguros de que funciona adecuadamente.

La determinación de cuándo y qué tanto regar, es una de las decisiones más importantes que cotidianamente toma el viverista. Debido a las limitaciones físicas de los pequeños contenedores empleados en los viveros forestales, actualmente no hay una forma de verificar directamente el potencial hídrico del sustrato dentro del contenedor. Los viveristas con experiencia, desarrollaron una habilidad intuitiva para determinar cuándo se requiere riego, usando la apariencia y el tacto del sustrato, y el peso relativo del contenedor. Cuando las plantas son más grandes, una cámara de presión puede ser usada para medir directamente el potencial hídrico de las mismas. Debido a las restrictivas características del drenaje en los contenedores, los viveristas deben aplicar suficiente agua durante cada evento de riego, para saturar todo el volumen del sustrato, y que fluya el exceso de sales por el fondo del contenedor. La cantidad de agua proporcionada en cada riego, es función de la etapa de crecimiento de las plantas y de las condiciones ambientales. Además de promover una rápida germinación y crecimiento de la planta, el agua puede ser utilizada como una herramienta de cultivo para ayudar a que las plantas adquieran resistencia y para inducir la dormición. En climas fríos y en cultivos al aire libre, el riego también puede ser usado como protección de las plantas ante las heladas.

Debido a las excesivas cantidades de riego requeridas y a la baja eficiencia de los sistemas aspersores, la disposición del agua de desecho representa una consideración importante en el manejo de los viveros que producen en contenedor. Los fertilizantes inyectados, como el nitrógeno nítrico y el fósforo, y los plaguicidas aplicados con el sistema de riego, pueden afectar la calidad del agua subterránea, y podrían representar un problema en aquellos viveros ubicados en áreas urbanas.



4.2.10 Referencias

- Ayers, R.S. 1977. Quality of water for irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 103(IR2): 135-154.
- Ballard, T.M.; Dosskey, M.G. 1985. Needle water potential and soil-to-foilage flow resistance during soil drying: a comparison of Douglas-fir, western hemlock, and mountain hemlock. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 185-188.
- Baker, K.F.; Matkin, O.A. 1978. Detection and control of pathogens in water. *Ornamentals Northwest Newsletter* 2(2): 12-14.
- Blake, J.; Zaerr, J.; Hee, S. 1979. Controlled moisture stress to improve cold hardiness and morphology of Douglas-fir seedlings. *Forest Science* 25(4): 576-582.
- Bunt, A.C. 1976. *Modern potting composts: a manual on the preparation and use of growing media for pot plants.* University Park, PA: The Pennsylvania State University Press. 277 p.
- Burr, K. 1982. Personal communication. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Flagstaff, AZ.
- California Fertilizer Association, Soil Improvement Committee. 1985. *Western Fertilizer Handbook.* Danville, IL: Interstate Printers and Publishers, Inc. 288 p.
- Carlson, L.W. 1983. Guidelines for rearing containerized conifer seedlings in the Prairie Provinces. Inf. Rep. NOR-X-214E. Edmonton, Alberta: Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre. 64 p.
- Carpenter, W.J.; Rasmussen, H.P. 1970. Temperature effect of greenhouse water on rose and chrysanthemum turgidity, stomate behavior, growth and flowering. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 95(5): 578-582.
- Christersson, L. 1976. The effect of inorganic nutrients on water economy and hardiness of conifers. II. The effect of varying potassium and calcium contents on water status and drought hardiness of pot-grown *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* (L.) seedlings. *Studia Forestalia Suecica* 136: 1-23.
- Christiansen, J.E. 1942. *Irrigation by sprinkling.* Bull. 670. Berkeley, CA: University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station. 124 p.
- Chu, P.C.H. 1986. Your irrigation water sample. *International Plant Propagators Society Combined Proceedings* 35: 682-684.
- Cleary, B. D. 1971. The effect of PMS on the physiology and establishment of planted Douglas-fir and ponderosa pine seedlings. Corvallis, OR: Oregon State University. 85 p. PhD Thesis.
- Cleary, B.D.; Greaves, R. D.; Owsten, P.W. 1978. Seedlings. In: Cleary, B.D.; Greaves, R.D.; Hermann, R.K., comps., eds. *Regenerating Oregon's forests: a guide for the regeneration forester.* Corvallis, OR: Oregon State University Extension Service: 63-97.
- Daughtry, B. 1984. Chlorination of irrigation water. *International Plant Propagators Society Combined Proceedings* 33: 596- 599.
- Davidson, H.; Mecklenburg, R. 1981. *Nursery management: administration and culture.* Englewood. Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 450 p.
- Day, R.J. 1980. Effective nursery irrigation depends on regulation of soil moisture and aeration. In: *Proceedings North American forest tree nursery soils workshop; 1980 July 28-August 1; Syracuse, NY.* Syracuse, NY: State University of New York, College of Environmental Science and forestry: 52-71.
- Day, R.J.; Walsh, S.J. 1980. A manual for using the pressure chamber in nurseries and plantations. *Silv. Rep.* 1980-2. Thunder Bay, ON: Lakehead University, School of forestry. 49 p.
- Dixon, M.A.; Tyree, M.T. 1984. A new stem hygrometer, corrected for temperature gradients and calibrated against the pressure bomb. *Plant, Cell and environment* 7:693-697.
- Fischer, G. 1987. Personal communication. University of California, Davis.
- Fitzpatrick, G.E.; Verkade, S.D. 1987. Monitor your irrigation supply. *American Nurseryman* 165(2): 108-111.

- Frink, C.R.; Bugbee, G.J. 1987. Response of potted plants and vegetable seedlings to chlorinated water. *HortScience* 22(4): 581-583; 1987.
- Fuller, W.H.; Halderman, A.D. 1975. Management for the control of salts in irrigated soils. *Bull. A-43*. Tucson, AZ: University of Arizona. 11 p.
- Furuta, T. 1978. Environmental plant production and marketing. Arcadia, CA: Cox Publishing Company. 232 p.
- Gartner, J.B. 1981. Container nurseries need proper water sources. *American Nurseryman* 153(2): 10, 82.
- Green, J.L. 1987. Personal communication. Corvallis, OR: Oregon State University Horticulture Department.
- Hallett, R.D. 1982a. Contrasting approaches to containerized seedling production. 3. the maritimes provinces. In: Scarratt, J.B.; Glerum, C.; Plexman, C.A., eds. Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium; 1981 September 14-16; Toronto, Ontario. COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. Sault Ste. Marie, Ontario: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Center: 129-138.
- Hallett, R.D. 1982b. Monitoring crop development during the rearing of containerized seedlings. In: Scarrett, J.B.; Glerum, C.; Plexman, C.A., eds. Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium; 1981 September 14-16; COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. Toronto, Ontario. Sault Ste. Marie, Ontario: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre: 245-253.
- Hallett, R.D. 1987. Personal communication.
- Hanan, J.J.; Holley, W.D.; Goldsberry, K.L. 1978. Greenhouse - management. Berlin: Springer-Verlag. 530 p.
- Handreck, K.A.; Black, N.D. 1984. Growing media for ornamental plants and turf. Kensington, NSW, Australia: New South Wales University Press. 401 p.
- Hansen, V.E.; Israelsen, O.W.; Stringham, G.E. 1979. Irrigation principles and practices. New York: John Wiley and Sons. 417 p.
- Hartmann, H.T.; Kester, D.E. 1983. Plant propagation, principles and practices. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 727 p.
- Joly, R.J. 1985. Techniques for determining seedling water status and their effectiveness in assessing stress. In: Duryea, M.L. ed. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Proceedings of the Workshop; 1984 October 16-18; Corvallis, OR. Corvallis, OR: Oregon State University, Forest Research Laboratory; 1985: 17- 28.
- Jones, J.B. Jr. 1983. A guide for the hydroponic and soilless culture grower. Portland, OR: Timber Press. 124 p.
- Kaufmann, M.R. 1975. Leaf water stress in Engelmann spruce: influence of the root and shoot environments. *Plant Physiology* 56: 841-844.
- Kozlowski, T.T. 1943. Transpiration rates of some forest tree species during the dormant season. *Plant Physiology* 18: 252- 260.
- Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. New York: Academic Press. 489 p.
- Kramer, P.J.; Kozlowski, T.T. 1979. Physiology of woody plants. New York: Academic press. 811 p.
- Krizek, D.T. 1985. Methods of inducing water stress in plants. *HortScience* 20(6): 1028-1038.
- Landis, T.D. 1982. Irrigation water quality in tree nurseries in the inland west. In: Proceedings of the 1981 Intermountain Nurserymen's Meeting; 1981 August 11-13; Edmonton, Alberta. Inf. Rep. NOR-X-241. Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre: 60-67.
- Langhans, R.W. 1980. Greenhouse management, second ed. Ithaca, NY: Halcyon Press. 270 p.
- Lavender, D.P.; Cleary, B.D. 1974. Coniferous seedling production techniques to improve seedling establishment. In: Tinus, R.W.; Stein, W.I.; Balmer, W.E. eds. Proceedings of the North American containerized forest tree seedling symposium; 1974 August 26-29; Denver, CO. Great Plains Agricultural Council Publication No. 68: 177-180.

- Matthews, R.G. 1986. Irrigation management. Presented at the Forest Nursery Association of British Columbia Annual Meeting; Harrison, BC; Sept. 15-18.
- Matthews, R.G. 1983a. Seedling production for crown lands in British Columbia: guidelines for commercial container nurseries. Victoria, BC: British Columbia Ministry of Forests, Silviculture Branch: 45 p.
- Matthews, R.G. 1983b. Quality control procedures for container nurseries. Rep. 955-21-1-2. Victoria, BC: British Columbia Ministry of Forests, Silviculture Branch; 36 p.
- Matthews, R.G. 1982. Contrasting approaches to containerized seedling production. 1. British Columbia. In: Scarratt, J.B.; Glerum, C.; Plexman, C.A. eds. Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium; 1981 September 14-16; COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. Toronto, ON. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre: 115-122.
- McDonald, S.E. 1978. Irrigation monitoring in western forest tree nurseries. In: Proceedings of Western Forest Nursery Council and Intermountain Nurseryman's Association Combined Nurseryman's Conference and Site Processing Workshop. 1978 August 7-11; Eureka, CA. San Francisco, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, State and Private Forestry: B-16 to B-49.
- McDonald, S.E.; Running, S.W. 1979. Monitoring irrigation in western forest tree nurseries. Gen. Tech. Rep. RM-61. Ft. Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 8 p.
- McDonald, S.E. 1984. Irrigation in forest-tree nurseries: monitoring and effects on seedling growth. In: Duryea, Mary L.; Landis, Thomas D., eds. Forest nursery manual: production of bareroot seedlings. The Hague: Martinus Nijhoff/Dr W. Junk for Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR: 107-121.
- McIntosh, D.L. 1966. The occurrence of *Phytophthora* spp. in irrigation systems in British Columbia. Canadian Journal of Botany 44(12): 1591-1596.
- Myers, J. 1987. Personal communication.
- Nelson, Paul V. 1978. Greenhouse operation and management. Reston, VA: Reston Publishing Company, Inc. 518 p.
- Newman, E.I. 1965. Relationship between root growth of flax (*Linum usitatissimum*) and soil water potential. New Phytologist 65: 273-283.
- Pair, C.H.; Hinz, W.H.; Frost, K.R.; Sneed, R.E.; Schiltz, T.J. 1983. Irrigation. Arlington, VA: The Irrigation Association. 686 p.
- Richards, L.A., comp. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handb. 60. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 160 p.
- Ritchie, G.A. 1984. Assessing seedling quality. In: Duryea, M. L.; Landis, T.D. eds. Forest nursery manual: production of bareroot seedlings. The Hague: Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, for Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR. 243-259.
- Rosen, C.J.; Taylor, D.H.; White, D.B. 1986. Use fertilizer wisely to combat groundwater pollution. American Nurseryman 164(12): 41-45.
- Seeley, J.G.; Steiner, J.R. 1965. Soil temperature and the growth of greenhouse carnations. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 86: 631-639.
- Shearer, M.N. 1981. Requirements for quality irrigation. In: Proceedings of Intermountain Nurseryman's Association and Western Forest Nursery Council Combined Meeting; 1980 August 12- 14; Boise, ID. Gen. Tech. Rep. INT-109 U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 107-112.
- Skimina, C.A. 1986. Recycling irrigation runoff on container ornamentals. HortScience 21(1): 32-34.
- Slatyer, R.O. 1967. Plant-water relationships. New York: Academic Press. 366 p.
- Spomer, L.A. 1985. Techniques for measuring plant water. Hort Science 20(6): 1021-1028.
- Swanson, B.T. 1984. Irrigation water quality effects a plant's health and salability. American Nurseryman 159(10): 67-69.

- Tchobanoglous, G.; Schroeder, E.D. 1985. Water quality: characteristics, modeling, modification. Menlo Park; CA: Addison-Wesley Publishing Co. 768 p.
- Timmis, R.; Tanaka, Y. 1976. Effects of container density and plant water stress on growth and cold hardiness of Douglas-fir seedlings. *Forest Science* 22(2): 167-172.
- Tinus, R.W.; McDonald, S.E. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouses. Gen. Tech. Rep. RM-60. Ft. Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 256 p.
- Urbano, C.C. 1987. Toxic water: it could be the most pressing problem facing your business and your family. *American Nurseryman* 165(2): 38-44, 48-53.
- Vance, B.F. 1975. Water quality and plant growth. *International Plant Propagators Society Combined Proceedings* 25: 136-141.
- van den Driessche, R. 1969. Influence of moisture supply, temperature, and light on frost-hardiness changes in Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Botany* 47: 1765-1772.
- Vetanovetz, R.P.; Knauss, J.F. 1988. Water quality. *Greenhouse Manager* 6(2): 64-66, 68-69, 72.
- Weatherspoon, D.M.; Harrell, C.C. 1980. Evaluation of drip irrigation for container production of woody landscape plants. *HortScience* 15(4): 488-489.
- Whitcomb, C.E. 1984. Plant production in containers. Stillwater, OK: Lacebark Publications. 638 p.
- White, J.W. 1964. The concept of "container capacity" and its application to soil-moisture-fertility regimes in the production of container-grown crops. The Pennsylvania State University. PhD Dissertation.
- Willingdon, T. 1986. Irrigation management. Presented at the Forest Nursery Association of British Columbia. Annual Meeting; Harrison, BC; Sept. 15-18, 1986.
- Willingdon, T. 1987. Personal communication.
- Zaerr, J.B.; Cleary, B.D.; Jenkinson, J.L. 1981. Scheduling irrigation to induce seedling dormancy. In: *Proceedings of Intermountain Nurseryman's Association and Western Forest Nursery Association Combined Meeting*; 1980 August 12-14; Boise, ID. Gen. Tech. Rep. INT-109. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: 74-79.
- Zimmerman, J.D. 1966. *Irrigation*. New York: John Wiley and Sons, Inc. 516 p.



Índice de Nombres Científicos y Comunes

Árboles

	Páginas
Fresno	
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh (green ash)	90
<i>F. americana</i> L. (white ash)	12
Abedul	
<i>Betula papyrifera</i> Marsh (paper birch)	11,12,14
Casuarina	
<i>Casuarina cunninghamiana</i> Miq (river-oak, casuarina, "beefwood")	90
"Cedro"/Junipero	
<i>Chamaecyparis nootkatensis</i> (D. Don) Spach (Alaska cedar)	111
<i>Juniperus virginiana</i> L. (eastern redcedar)	90
<i>Thuja plicata</i> Donn ex D. Don (western redcedar)	110,111
Cítricos	
<i>Citrus</i> spp. (citrus)	98
Pseudotsuga	
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco (Douglas fir)	23,24,29,63,64,85,89,90,110,111,115,116
Abetos	
<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill (balsam fir)	63
<i>A. grandis</i> (Dougl. ex D. Don) Lindl. (grand fir)	111
<i>A. amabilis</i> Dougl. ex Forbes (pacific silver fir)	111
Abeto americano	
<i>Tsuga mertensiana</i> (Bong.) Carr (mountain hemlock)	110,111
<i>T. heterophylla</i> (Raf.) Sarg. (western hemlock)	110,111
Alerce	
<i>Larix occidentalis</i> Nutt. (western larch)	23,110,111
Magnolia	
<i>Magnolia grandiflora</i> L. (southern magnolia)	90
Maple	
<i>Acer saccharum</i> L. (sugar maple)	12
<i>A. rubrum</i> L. (red maple)	12,63,68
Pinos	
<i>Pinus halepensis</i> Miller (Aleppo pine)	90
<i>P. strobus</i> L. (eastern white pine)	98
<i>P. banksiana</i> Lamb. (jack pine)	13,15,23,25,38,61,64
<i>P. thunbergiana</i> Franco (Japanese black pine)	29
<i>P. radiata</i> D. Don (Monterey pine)	15,70
<i>P. taeda</i> L. (loblolly pine)	51,52,62,63,70,98
<i>P. contorta</i> Dougl. ex Loud. (lodgepole pine)	63,111
<i>P. ponderosa</i> Dougl ex Laws. (ponderosa pine)	62,63,90,111
<i>P. sylvestris</i> L. (Scotch pine)	23,63,67,68,121
<i>P. echinata</i> Mill. (shortleaf pine)	63
<i>P. resinosa</i> Ait (red pine)	59,70

	Páginas
Alamo	
<i>Populus tremuloides</i> Michx. (quaking aspen)	23
Olivo ruso	
<i>Eleagnus angustifolia</i> L. (Russian olive)	90
Atriplex	
<i>Atriplex</i> spp. (saltbush)	90
Piceas	
<i>Picea mariana</i> (Mill.) B.S.P. (black spruce)	12,14,59,64,65
<i>P. pungens</i> Engelm. (blue spruce)	89,90
<i>P. engelmannii</i> Parry ex Engelm. (Engelmann spruce)	98,111
<i>P. abies</i> (L.) Karst. (Norway spruce)	23,68,121
<i>P. rubens</i> Sarg. (red spruce)	10
<i>P. sitchensis</i> (Bong.) Carr. (Sitka spruce)	110,111
<i>P. glauca</i> (Moench) Voss (white spruce)	10,11,15,52,61,63,64,110,111
Hongos y Micorrizas	
<i>Botrytis cinerea</i> Pers. Fr. (grey mold)	51
<i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands	93,96,123
<i>Pythium</i> spp.	93
Otras Plantas	
Algas	87,93,95,97,115,118,120
Hepáticas	93,95,97,115
Musgo	83,93,112,113,115,120
Animales	
Venado	64
Ante	64



Esta publicación contó con la **autorización y apoyo correspondiente** del Servicio Forestal, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.



La edición e impresión de este manual corrió a cargo de la **Dirección General del Programa Nacional de Reforestación**

Tiraje: 1,000 ejemplares

Octubre del 2000