



**MANUAL DE VIVEROS PARA LA
PRODUCCIÓN DE ESPECIES
FORESTALES EN CONTENEDOR**

VOLUMEN 3

**Condiciones Ambientales
del Vivero**

**Capítulo 2
Humedad**

Contenido

3.2.1 Introducción	X
3.2.1.1 Biofísica del vapor de agua	X
3.2.1.2 Definiciones y unidades	X
Presión de vapor	X
Déficit de presión de vapor	X
Humedad absoluta	X
Humedad relativa	X
Temperatura de punto de rocío	X
3.2.2 Papel de la humedad en el crecimiento y desarrollo de plantas	X
3.2.2.1 Crecimiento de la plántula	X
3.2.2.2 Propagación vegetativa	X
3.2.2.3 Manejo de patógenos	X
3.2.3 Niveles óptimos de humedad	X
3.2.3.1 Plántulas	X
Fase de establecimiento	X
Fase de crecimiento rápido	X
Fase de endurecimiento	X
3.2.3.2 Propagación vegetativa	X
3.2.4 Modificando la humedad en los viveros forestales que producen en contenedor	X
3.2.4.1 Estructuras de cultivo	X
3.2.4.2 Humedecimiento	X
Calor de vapor	X
Niebla y asperjado	X
Riego	X
Enfriamiento evaporativo	X
3.2.4.3 Reducción de la humedad	X
Ventilación y calentamiento	X
Reduciendo la humedad de las copas de las plántulas	X
3.2.5 Sistemas de monitoreo y control de la humedad	X
3.2.5.1 Humedad	X
3.2.5.2 Niebla y asperjado	X
3.2.6 Conclusiones y Recomendaciones	X
3.2.7 Literatura Citada	X

3.2.1 Introducción

El mantener la apropiada humedad atmosférica en los viveros forestales que producen en contenedor, es importante desde un punto de vista biológico por varias razones: la baja humedad somete a tensión hídrica a las plántulas, causada por la excesiva transpiración, la adecuada humedad promueve un rápido crecimiento, y el exceso de humedad facilita el crecimiento de hongos fitopatógenos y otras enfermedades en el vivero, como son los musgos y hepáticas. El reto de los administradores de viveros es el mantener humedades tales que sean lo suficientemente elevadas para el buen crecimiento de las plántulas, pero sin promover enfermedades (Fig. 3.2.1).

En este capítulo se introducen los conceptos básicos de la humedad, se discuten las formas en que esta afecta el crecimiento de la plántulas, y se presentan los niveles óptimos para viveros forestales que producen en contenedor. Los métodos de cultivo para modificar la humedad, y el equipo de monitoreo de niveles de humedad, también son incluidos.

3.2.1.1 Biofísica del vapor de agua

En el ambiente de los viveros que producen en contenedor, el agua existe en dos de sus tres estados físicos: el vapor de agua invisible (gas) y el estado líquido. El vapor de agua está sujeto a las mismas leyes físicas que otros gases que componen el aire, como el nitrógeno y el oxígeno. El húmedo puede ser definido como una mezcla de dos componentes de aire seco y vapor de agua. El aire y el vapor de agua ocupan simultáneamente el mismo espacio, pero el vapor de agua actúa independientemente de los otros gases. Por tanto, la presión parcial del vapor de agua es solamente una función de la temperatura, y no está relacionada con la presión atmosférica total (Gaffney, 1978). El aire siempre contiene alguna porción de vapor de agua, pero a cualquier temperatura dada, éste retiene sólo una cantidad finita. Cuando se alcanza tal límite físico, el aire está **saturado**, y cuando es excedido ocurre la condensación.



Figura 3.2.1 Aunque el vapor de agua es un gas invisible, éste puede ser manejado para minimizar la transpiración, como en esta cámara enraizadora (A) o si éste es mal manejado y se facilita su condensación en el follaje de las plántulas (B), puede promover enfermedades.

El agua tiene varias propiedades físicas únicas que afectan el ambiente del vivero que produce en contenedor, incluyendo el más alto calor latente de evaporación conocido. Se requiere de una cantidad extremadamente grande de energía térmica (540 cal/g) para obtener agua líquida a través de la fase de cambio de estado líquido a gaseoso. Esta cantidad es considerablemente mayor a la energía requerida (316 cal/g) para llevar 1 g de hielo del cero absoluto, -273°C (-460°F), al punto de ebullición (Hewitt, 1974). La misma cantidad de energía térmica que es usada cuando el agua se evapora, es liberada cuando el vapor de agua se condensa: la **evaporación** es un proceso endotérmico, mientras que la **condensación** es un proceso exotérmico. Este elevado calor latente de la evaporación resulta significativo operativamente, pues no sólo afecta el calentamiento y el enfriamiento del

ambiente del vivero que produce en contenedor, también enfría las plantas a través de la transpiración.

3.2.1.2 Definiciones y unidades.

Presión de vapor. El vapor de agua en un volumen dado de aire ejerce una presión parcial (e) que depende de la cantidad de vapor y de su temperatura. Es útil pensar en la humedad en términos de una presión o fuerza que es capaz de causar el movimiento del vapor de agua de y hacia objetos en contacto con el aire (Gaffney, 1978). La presión de vapor de agua en el aire de alrededor, denominada **presión de vapor del ambiente** (e_a), varía de cerca de cero en el aire frío y seco, a aproximadamente más de 8 kPa (0.08 atmósferas) en el aire cálido y húmedo (Cuadro 3.2.1). Si la presión de vapor del ambiente es menor que la **presión de vapor en equilibrio** del agua líquida, la evaporación acontece. Cuando la atmósfera comienza a saturarse con vapor de agua, la **presión de vapor de saturación** (e_s) se hace idéntica a la presión de vapor del agua y la evaporación neta cesa.

Tanto mayor sea la temperatura, mayor será la presión de vapor en equilibrio y, en el intervalo común de las temperaturas en un vivero, la presión de vapor de saturación se duplicará aproximadamente por cada aumento en 10°C (20°F) en la temperatura (Cuadro 3.2.1).

Déficit de presión de vapor. Otro concepto importante relacionado con la humedad, es el déficit de presión de vapor (DPV), el cual es igual a la diferencia entre la presión de vapor de saturación, y la presión de vapor en el ambiente, a la misma temperatura:

$$DPV = e_s - e_a$$

El DPV es importante en horticultura porque representa la demanda evapotranspirativa de la atmósfera del ambiente, así como la proximidad del punto de rocío (cuando $e_a = e_s$). Por tanto los viveristas pueden emplear el DPV para determinar que se va a regar, en caso de que la transpiración de la plántula se vaya a

incrementar, o si se proveerá ventilación para evitar la condensación.

La presión de vapor y el déficit de presión de vapor son expresados en unidades de presión estándares (Cuadro 3.2.2). Las unidades métricas son los pascuales (Pa), kilopascuales (kPa), y los megapascuales (MPa), mientras que las unidades inglesas son las atmósferas (atm). Unidades viejas incluyen bars (b), pulgadas o milímetros de mercurio (in. Hg o mm Hg), y libras por pulgada cuadrada (lb/in²).

Humedad absoluta. La cantidad de vapor de agua en un volumen dado de aire es la humedad absoluta; esta está expresada en peso por volumen. Existe una relación directa entre el punto de rocío, la presión de vapor a saturación y la humedad absoluta, ya que cada una depende solamente de la cantidad de agua en el aire a una presión atmosférica determinada (Cuadro 3.2.1). No obstante, la humedad absoluta, raramente es medida en los viveros forestales que producen en contenedor, y la humedad relativa es empleada en su lugar.

Cuadro 3.2.1 Relaciones entre la temperatura de punto de rocío, presión de vapor de saturación, y humedad absoluta.

Punto de rocío		Presión de vapor de saturación	Humedad absoluta
°C	°F	(kPa)	(mg/l)
-40	-40	0.01	0.2
-35	-31	0.02	0.3
-30	-22	0.04	0.5
-25	-13	0.06	0.7
-20	-4	0.10	1.1
-15	5	0.16	1.6
-10	14	0.26	2.4
-5	23	0.40	3.5
0	32	0.60	4.8
5	41	0.86	6.8
10	50	1.21	9.4
15	59	1.68	12.6
20	68	2.31	17.3
25	77	3.13	23.1
30	86	4.19	30.4
35	95	5.42	39.8
40	104	7.28	51.8

Fuente: Schroeder y Buck (1970)

Humedad relativa. El descriptor más común de la humedad, la humedad relativa (HR), es también la medida más práctica en un vivero forestal. La HR puede ser definida como la cantidad de humedad en un volumen de aire, con respecto a la cantidad total de humedad que puede ser retenido a saturación, a una temperatura y presión dadas, y expresada como por ciento. Para calcular la HR, la presión de vapor de agua ambiente se divide entre la presión de vapor a saturación:

$$HR (\%) = \frac{e_a}{e_s} \times 100$$

Dado que tanto la HR como el DPV están relacionados con la temperatura, estos índices de humedad pueden ser obtenidos de cartas de referencia cuando dos de los tres valores son conocidos (Cuadro 3.2.3).

Los viveristas miden en forma rutinaria la humedad relativa con psicrómetros y con higrotermógrafos, y usan esta información

para controlar la humedad en sus estructuras de cultivo. Un **psicrómetro** contiene dos termómetros idénticos, uno mide la temperatura ambiente (**temperatura de bulbo seco**), y el otro mide la temperatura reducida por el enfriamiento evaporativo (**temperatura del bulbo húmedo**). La diferencia entre las dos temperaturas es la **depresión de bulbo húmedo**. Las temperaturas de bulbo húmedo y seco son utilizadas para calcular la humedad relativa y el punto de rocío en cartas psicrométricas (Fig. 3.2.2), o cuadros (Cuadro 3.2.4). La depresión de bulbo húmedo es una medida que puede ser usada con varios propósitos en la operación de invernaderos, como el mostrar la eficiencia teórica de almohadillas (paredes húmedas) para enfriamiento evaporativo (Hanan *et al.*, 1978) (Más información sobre la medición de la humedad puede ser encontrada en la sección 3.2.5).

Cuadro 3.2.2 Unidades utilizadas para medir la presión de vapor y la humedad, y sus conversiones a los sistemas métrico e inglés.

Unidades	
Unidades métricas	Unidades inglesas
Pascales (Pa)	Atmosferas (atm)
Kilopascales (kPa)	Libras por pulgada cuadrada (psi)
Megapascales (MPa)	Pulgadas de mercurio (in Hg)
Bares (b)	
Milímetros de mercurio (mm Hg)	
Factores de conversión	
Métrico a Métrico	Inglés a Inglés
1 kPa = 10 ³ Pa	1 atm = 14.6960 psi
1 MPa = 10 ⁶ Pa	1 atm = 29.921 in Hg
1 Mpa = 10 b	
1 Mpa = 7500.62 mm Hg	
Métrico a Inglés	Inglés a Métrico
1 MPa = 9.8962 atm	1 atm = 0.1013 MPa
1 MPa = 145.04 psi	1 atm = 1.0133 b
1 MPa = 295.30 in Hg	1 atm = 760.0 mm Hg

Fuente: ASHRAE (1989)

Cuadro 3.2.3 La demanda evapotranspirativa, medida por el déficit de presión de vapor, es una función de la humedad relativa y de la temperatura.

Temperatura del aire		Déficit de presión de vapor de agua (kPa)										
		0% RH	10% RH	20% RH	30% RH	40% RH	50% RH	60% RH	70% RH	80% RH	90% RH	100% RH
°C	°F											
0	32	0.61	0.55	0.49	0.43	0.37	0.31	0.24	0.18	0.12	0.06	0
5	41	0.87	0.78	0.70	0.61	0.52	0.44	0.35	0.26	0.17	0.09	0
10	50	1.23	1.11	0.98	0.86	0.74	0.62	0.49	0.37	0.25	0.12	0
15	59	1.71	1.54	1.37	1.20	1.03	0.86	0.68	0.51	0.34	0.17	0
20	68	2.33	2.10	1.86	1.63	1.40	1.17	0.93	0.70	0.47	0.23	0
25	77	3.17	2.85	2.54	2.22	1.90	1.59	1.27	0.95	0.63	0.32	0
30	86	4.24	3.82	3.39	2.97	2.54	2.12	1.70	1.27	0.85	0.42	0
35	95	5.63	5.07	4.50	3.94	3.38	2.82	2.25	1.69	1.13	0.56	0
40	104	7.37	6.63	5.90	5.16	4.42	3.69	2.95	2.21	1.47	0.74	0

El déficit de presión de vapor debería ser mantenido bajo la línea de 1.0 kPa para mantener la tensión hídrica dentro de límites aceptables.

Temperatura de punto de rocío. La saturación ocurre cuando el aire es enfriado hasta el punto en que la presión de saturación de vapor excede la presión de vapor ambiental. La temperatura a la que ocurre esto es llamada **punto de rocío**. El significado práctico del punto de rocío es que éste está directamente relacionado con la cantidad de vapor de agua en un volumen de aire húmedo (Gaffney, 1978). La temperatura de punto de rocío tiene aplicación directa en el manejo de viveros que producen en contenedor debido a su relación con la condensación, la cual acontece cuando el aire húmedo entra en contacto con una superficie más fría, como es la cubierta interior de un invernadero, o una hoja. Los viveristas manejan la humedad en sus viveros para minimizar la condensación, la cual puede originar problemas con enfermedades.

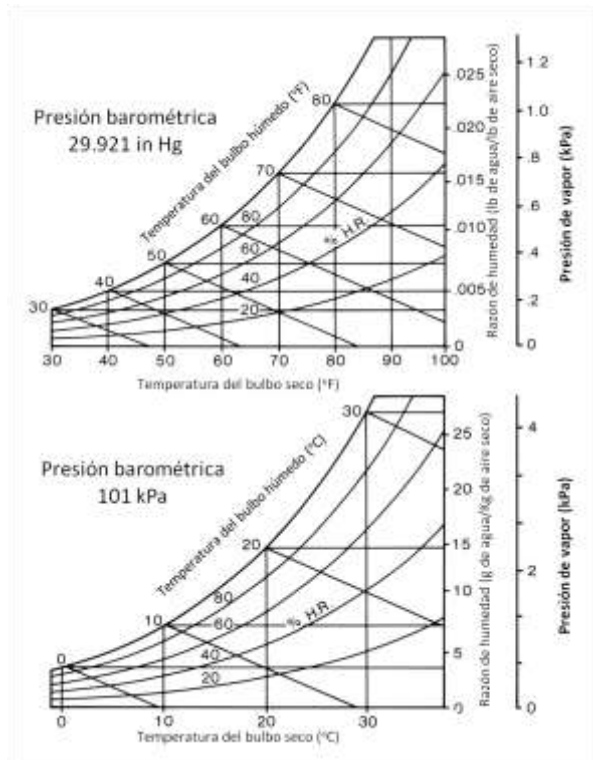


Figura 3.2.2 Una carta psicrométrica, es una representación gráfica de muchas relaciones funcionales que existen entre las varias propiedades físicas y térmicas del aire húmedo. Cuando las temperaturas de bulbo húmedo y de bulbo seco son medidas con un psicrómetro, estas cartas pueden ser utilizadas para estimar la humedad relativa (Modificadas de Gaffney, 1978).

Cuadro 3.2.4A La humedad relativa (%) puede ser calculada a partir de cartas psicrométricas, utilizando las temperaturas del bulbo húmedo y de bulbo seco de un psicrómetro.

Temperatura del bulbo seco		Temperatura del bulbo húmedo																													
		°C	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	31	32			
°C	°F	°F	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90			
17	62	2	10	17	25	33	42	50	60	69	79	89	100	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
18	64	--	5	12	20	27	35	43	52	61	70	80	90	100	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
19	66	--	2	8	15	22	30	37	45	53	62	71	80	90	100	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
20	68	--	--	5	11	18	24	32	39	47	55	63	72	81	90	100	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
21	70	--	--	1	7	14	20	27	34	41	48	56	64	72	81	90	100	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
22	72	--	--	--	4	10	16	22	28	35	42	50	57	65	73	82	91	100	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
23	74	--	--	--	1	7	12	18	24	30	37	44	51	58	66	74	82	91	100	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
24	76	--	--	--	--	4	9	15	20	26	32	39	45	52	59	67	75	83	91	100	--	--	--	--	--	--	--	--			
26	78	--	--	--	--	--	1	6	11	17	22	28	34	40	46	53	60	67	75	83	91	100	--	--	--	--	--	--			
27	80	--	--	--	--	--	--	4	9	14	19	24	30	35	41	48	54	61	68	76	83	92	100	--	--	--	--	--			
28	82	--	--	--	--	--	--	--	2	6	10	16	21	26	31	37	43	49	55	62	69	76	84	92	100	--	--	--			
29	84	--	--	--	--	--	--	--	--	4	8	13	17	22	27	33	38	44	50	56	63	70	77	84	92	100	--	--			
30	86	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	6	10	15	19	24	29	34	40	45	51	57	64	70	77	84	92	100	--		
31	88	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	4	8	12	16	21	26	30	35	41	46	52	58	64	71	78	85	92	100	--	
32	90	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	6	10	14	18	22	27	32	37	42	47	53	59	65	71	78	85	92	100

Temperatura del bulbo seco		Temperatura del bulbo húmedo																													
		°C	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	31	32			
°F	°F	°F	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90			
17	62	-31	-16	-8	-3	0	3	6	9	11	12	15	17	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
18	64	--	-21	-12	-6	-1	2	5	8	10	12	14	16	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
19	66	--	-2	11	22	30	36	41	46	50	54	58	63	64	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
20	68	--	-33	-16	-9	-3	1	3	7	9	11	13	16	17	19	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
21	70	--	-26	4	17	26	33	39	44	49	53	56	60	63	66	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
22	72	--	--	-21	-11	-5	0	3	6	9	11	13	16	17	19	20	22	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
23	74	--	--	--	-6	12	23	31	38	41	48	52	56	60	63	66	69	72	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
24	76	--	--	--	-33	-15	-8	-2	1	5	8	10	12	14	17	19	20	22	23	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
26	78	--	--	--	-27	5	19	28	35	41	46	51	55	58	62	65	68	71	74	--	--	--	--	--	--	--	--	--			
27	80	--	--	--	--	-20	-10	-4	0	3	7	10	12	14	16	18	20	21	22	24	--	--	--	--	--	--	--	--			
28	82	--	--	--	--	-5	14	24	32	39	44	49	53	57	61	64	67	70	73	76	--	--	--	--	--	--	--	--			
29	84	--	--	--	--	-30	-14	-7	-2	2	6	9	11	13	16	18	19	21	22	23	26	--	--	--	--	--	--	--			
30	86	--	--	--	--	-23	7	20	29	36	42	47	52	56	60	63	66	69	72	73	78	--	--	--	--	--	--	--			
31	88	--	--	--	--	-19	-9	-3	1	4	7	10	12	14	17	19	21	22	23	25	27	--	--	--	--	--	--	--			
32	90	--	--	--	--	-2	15	26	34	40	45	50	54	58	62	65	69	72	75	77	80	--	--	--	--	--	--	--			
17	62	--	--	--	--	-28	-12	-6	0	3	7	10	12	14	16	18	20	22	23	25	26	28	--	--	--	--	--	--			
18	64	--	--	--	--	-18	9	22	31	38	44	49	53	57	61	64	68	71	74	77	79	82	--	--	--	--	--	--			
19	66	--	--	--	--	-17	-9	-2	2	5	8	11	13	16	17	19	21	22	24	26	27	29	--	--	--	--	--	--			
20	68	--	--	--	--	--	1	17	27	35	41	47	52	56	60	63	67	70	73	76	79	81	84	--	--	--	--	--			
21	70	--	--	--	--	--	--	-24	-12	-4	0	3	8	10	12	15	17	19	20	22	23	26	27	28	30	--	--	--			
22	72	--	--	--	--	--	--	-12	11	24	32	39	45	50	54	59	62	66	69	72	75	78	81	83	86	--	--	--			
23	74	--	--	--	--	--	--	-16	-8	-2	2	6	9	11	13	16	19	20	21	23	25	27	28	29	31	--	--	--			
24	76	--	--	--	--	--	--	4	19	29	37	43	48	53	57	61	63	68	71	74	77	80	83	85	88	--	--	--			
26	78	--	--	--	--	--	--	--	--	-7	14	26	34	41	47	52	56	60	64	67	71	74	77	79	82	85	87	90			

3.2.2 Papel de la Humedad en el Crecimiento y Desarrollo de las Plantas

La humedad atmosférica puede afectar directamente a las plántulas que crecen en contenedores a través de sus efectos en las relaciones hídricas. El control de la humedad es aún más crítico cuando las plántulas han sido propagadas de forma vegetativa, por estacas o por injertos. Existe además un efecto indirecto de la humedad: muchas enfermedades prosperan en el ambiente de un vivero con elevada humedad, como comúnmente existe en los invernaderos.

3.2.2.1 Crecimiento de la plántula

La humedad afecta principalmente las tasas de evapotranspiración. Bajo tales condiciones, la tasa de evaporación de una superficie húmeda es función de la humedad relativa y de la temperatura, y es proporcional al déficit de presión de vapor. A una temperatura constante, tanto mayor sea la humedad relativa, menor será el déficit de presión de vapor (Cuadro 3.2.3). Bajo condiciones operativas, el aumento de la temperatura es más importante que la humedad para la determinación de la demanda evapotranspirativa. Por ejemplo, cuando la HR del aire disminuye 30% (de 80 a 50%) y la temperatura se mantiene a 30°C (86°F), el DPV incrementa 2.5 veces; sin embargo, si la humedad absoluta se mantiene constante la temperatura foliar incrementa justo 10°C, de 10 a 20°C (50 a 68°F), entonces el DPV aumenta unas 5 veces (Kramer, 1983).

Bajo condiciones de calma, el vapor de agua se acumula cerca de una superficie evaporativa, formando una capa de frontera. Si la humedad de la capa de frontera se aproxima a la saturación, la tasa de evaporación casi cesará, aún cuando el aire de alrededor esté mucho más seco. El viento remueve la capa de frontera y la reemplaza con aire seco, aumentando entonces la tasa de evaporación (Schroeder y Buck, 1970). Por ejemplo, si el aire en la capa de frontera estaba a 20°C (68°F) con 90% de HR, y éste fue reemplazado por aire a la misma temperatura y con una HR de 60%, el DPV podrá incrementar unas cuatro veces, de 0.23 a 0.93 kPa (Cuadro 3.2.3).

Las plántulas de especies forestales desarrollan capas de frontera (Fig. 3.2.3), que pueden reducir significativamente la tasa de evapotranspiración en las copas de las densas plántulas en los agregados de contenedores típicos de un vivero forestal. Las capas de frontera son particularmente significativas en el ambiente amortiguado de una estructura de cultivo cerrada, donde el movimiento del aire está restringido.

Las plantas absorben agua a través de sus raíces, del medio de cultivo, y la pierden a través de sus hojas hacia el aire, mediante un proceso conocido como transpiración, la cual es en esencia evaporación bioregulada. Aunque las pérdidas excesivas por transpiración pueden implicar tensión hídrica, una pequeña cantidad de la transpiración es necesaria para mover los nutrimentos minerales de la savia del xilema, desde las raíces hacia las hojas (Kramer y Kozlowski, 1979). Comúnmente se presenta alguna transpiración mientras el agua esté disponible para las raíces. Con luz intensa, las hojas absorberán la suficiente energía radiante para originar un gradiente transpiracional, de la hoja al aire, aún bajo elevada humedad.

Mucha de la pérdida de agua por transpiración, ocurre a través de los estomas en las hojas, los cuales deben mantenerse lo bastante abiertos para absorber suficiente dióxido de carbono (CO₂) para la fotosíntesis (Fig. 3.1.2). Aunque los estomas ocupan sólo aproximadamente 1% de la superficie foliar, las tasas de transpiración pueden alcanzar el 50% de la tasa de evaporación de una superficie de agua libre (Kramer y Kozlowski 1979). Los estomas se mantienen abiertos mientras su presión de turgencia se mantenga elevada, y mientras se mantengan adecuados los niveles de luz. No obstante, si la tasa de pérdida de agua excede la tasa de absorción, se presenta una tensión hídrica interna. Si tal tensión se hace severa, son afectados adversamente procesos metabólicos como la fotosíntesis. Cuando la tensión hídrica alcanza un nivel crítico, los estomas se comienzan a

cerrar y se reduce la fotosíntesis neta. Con un aún mayor aumento en la tensión hídrica, los estomas se cierran más y eventualmente la fotosíntesis cesa. Esta serie de eventos puede ocurrir regularmente en muchas especies durante los días soleados, aunque las plantas estén bien provistas de agua, porque las raíces no pueden absorberla tan velozmente como las hojas la pierden. Para un máximo crecimiento, los estomas deben mantenerse abiertos tanto como sea posible, así los viveristas pueden promover el crecimiento manteniendo humedades relativamente elevadas en el área de cultivo (Fig. 3.2.4) (Una discusión más detallada de las relaciones hídricas en plántulas, puede hallarse en el volumen cuatro de esta serie).

Una tasa de transpiración moderada es también benéfica, pues enfría la hoja y la mantiene cerca de la temperatura óptima para la fotosíntesis y otros procesos metabólicos (Clawson *et al.*, 1989). Otros procesos del crecimiento de la plántula como la elongación celular, también dependen de una presión de turgencia positiva.

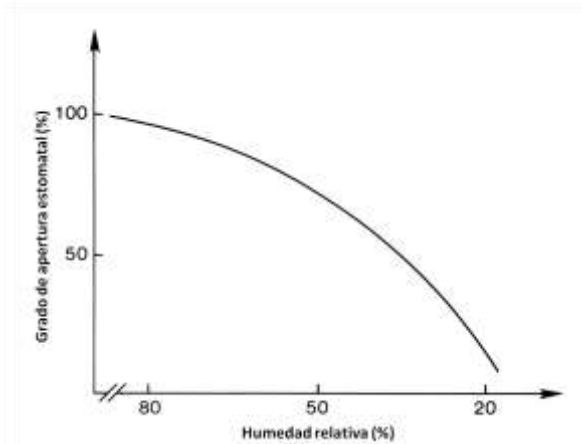


Figura 3.2.4 La tasa de transpiración está relacionada directamente con el tamaño de la apertura estomatal, la cual es regulada por células guarda que responden a la humedad atmosférica y a otros estímulos ambientales (modificada de Jarvis, 1980).

3.2.2.2 Propagación vegetativa

Aunque muchas especies forestales son producidas por semilla, en bastantes viveros se practica también alguna forma de propagación vegetativa. Las existencias de árboles mejorados, en particular, son con frecuencia propagadas vegetativamente para que puedan ser mantenidos los genotipos deseados. Las existencias de huertos semilleros son propagadas por estacas o por injerto, y las existencias de pruebas genéticas pueden ser frecuentemente producidas más fáciles y económicamente con estacas. Muchas especies que son usadas en dasonomía con propósitos de conservación, como los álamos y los sauces, son propagadas vegetativamente.

La manutención de una adecuada humedad es de particular importancia en la propagación vegetativa. La tasa de transpiración de las estacas debe mantenerse baja durante varias semanas, incluso meses, a efecto de que puedan mantener la suficiente turgencia para producir nuevas raíces. Las injertadas, frecuentemente son mantenidas bajo condiciones de invernadero, pues los altos niveles de humedad reducen la tensión hídrica en las púas injertadas (Hartmann y Kester, 1983). Con el propósito de mantenerlas con altos niveles de humedad, se construyen ambientes especiales para el enraizamiento (fig. 3.2.5).

3.2.2.3 Manejo de patógenos

Los altos niveles de humedad pueden ser deseables en los viveros que producen en contenedor, pero no siempre es el caso. Las enfermedades como hongos fitopatógenos, musgos y hepáticas, son estimuladas por tal ambiente, especialmente si está presente el agua libre. Las criptógamas (musgos, algas y hepáticas), prosperan en el ambiente del vivero que produce en contenedores, y pueden incluso cubrir completamente la parte superior del contenedor e interferir con el crecimiento de la plántula. En casos o extremos, estas enfermedades pueden formar una masa gruesa que evita por completo la infiltración de agua y fertilizantes líquidos (Fig. 3.2.6A).

Algunas plagas, inclusive, pueden estar relacionadas con ambientes ricos en humedad. Los jenes *Bradysia* spp. pueden alcanzar niveles poblacionales dañinos en los invernaderos que tengan cantidades excesivas de musgos y algas.

Aunque muchos hongos prosperan bajo elevada humedad, ciertos fitopatógenos son particularmente favorecidos por tal condición; el hongo *Botrytis cinerea* es un ejemplo notable. Sus esporas requieren de humedad libre para germinar y penetrar el follaje de la plántula (Fig. 3.2.6B), y las elevadas humedades conducen la subsecuente dispersión del hongo. En efecto, sólo 3 horas a temperaturas de 15 a 20°C (59 a 68°F) y 98% de HR promueven la infección si hay humedad libre presente. Peterson *et al.* (1988), consideran valores de HR superiores al 90% como ideales para la germinación de esporas de *B. cinerea*, y encontraron que la HR dentro de la copa de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) típicamente supera este umbral por la noche. Este hongo es más de cuidado en el otoño, cuando las frías temperaturas originan la condensación de la humedad en el follaje de las plántulas, especialmente cuando la densidad de plántulas y sus copas es elevada.



A



B

Figura 3.2.5 Algunas especies que son cultivadas con propósitos de conservación, son más fácilmente propagadas a través de estacas en cámaras de enraizamiento especialmente equipadas, las cuales mantienen un alto nivel de humedad para retardar la transpiración (A y B).



A



B

Figura 3.2.6 Los períodos prolongados de elevada humedad pueden causar problemas de plagas, como un crecimiento excesivo de algas, musgos o hepáticas, los cuales pueden cubrir la apertura del contenedor (A). Las esporas de hongos fitopatógenos, como *Botrytis cinerea*, requieren de humedad libre antes de que puedan germinar y causar una infección (B, cortesía de F. Dugan).

El porcentaje del tiempo en que la HR excedió el 90% en un invernadero de fibra de vidrio, aumentó de 59% en agosto a 85% en octubre (Las plagas de viveros son discutidas a detalle en el volumen cinco de esta serie).

3.2.3 Niveles Óptimos de Humedad

Es extremadamente difícil establecer niveles ideales de humedad para los viveros forestales que producen en contenedor, porque la humedad relativa varía mucho con la temperatura. Los niveles óptimos de humedad cambiarán durante la estación de cultivo para las plántulas, y diferirán entre plántulas y estacas.

3.2.3.1 Plántulas

Se tienen pocos experimentos referentes a la determinación de los niveles de humedad óptimos para el cultivo de plantas. En una cámara de ambiente controlado experimental, con temperaturas de 18 a 24°C (65 a 75°F), Krizek *et al.* (1971) encontraron que una HR de 40% reduce severamente el crecimiento de plántulas de tres especies de flores de jardín (Agerato, Petunia y Maravilla). Elevar la HR a 65% resultó en un fuerte incremento en los pesos fresco y anhidro, área foliar y altura; aumentando la HR hasta 90% no se produjeron ya beneficios. Respuestas similares han sido reportadas para *Pinus taeda* L. (Seiler y Johnson, 1984) y plantas de pepino (van de Sanden, 1985). Aparte de estos pocos ejemplos, la investigación en relación a los efectos de la humedad en el crecimiento de las plántulas no es extensa.

Mucho de nuestro conocimiento actual ha sido obtenido a través de la experiencia y observación en la operación de viveros que producen en contenedores. En respuesta a una investigación reciente, los viveristas reportaron que sus niveles ideales de HR se redujeron durante la estación de crecimiento, con intervalos de 60 a 80% en la fase de establecimiento, a 45 a 50% durante la fase de endurecimiento (Cuadro 3.2.5). En varios viveros está establecido que en realidad no pueden tener niveles óptimos de humedad porque son difíciles de controlar, especialmente en estructuras de cultivo que no están del todo cerradas, como las áreas de sombreado. Sin embargo, muchos estuvieron de acuerdo en que las elevadas humedades definitivamente son importantes durante las

etapas de germinación de la semilla y de emergencia.

Fase de establecimiento. El manejo de la humedad es más crítico durante el período de germinación. Las semillas son sembradas en la parte superior del medio de cultivo, bajo una delgada cubierta que debe mantenerse húmeda para que la semilla nunca se seque. En muchos viveros se usan boquillas nebulizadoras especiales durante este período, con el propósito de conservar "húmedo pero no en exceso" el medio de cultivo (Fig. 3.2.7). La conservación de elevadas humedades relativas de 60 a 90% (Cuadro 3.2.6), elimina la necesidad de riego frecuente, pero puede mantener el medio de cultivo tan húmedo, que se promueva la presencia de "damping-off".

Debido a que la humedad relativa varía tanto con la temperatura, es más eficiente el manejar el déficit de presión de vapor. Los valores de DPV correspondientes a las HR que se elijan como ideales (Cuadro 3.2.6) deberían ser considerados solamente como guías aproximadas, considerando la dificultad de tener un ajuste preciso de humedad. El DPV puede ser fácilmente calculado con el uso de mediciones de la HR y de la temperatura de un psicrómetro o de un higrómetro (ver la sección 3.2.5 para más información).

Fase de crecimiento rápido. Tan pronto como las plántulas hayan establecido sus sistemas radicales, la humedad relativa debe ser reducida hasta 50 a 80% (Cuadro 3.2.6). Esto conservará baja la evapotranspiración, pero la superficie del medio de cultivo y el follaje de las plántulas se mantendrán secos. Un DPV de aproximadamente 1.00 kPa es un nivel óptimo razonable para esta fase; la línea coloreada en el Cuadro 3.2.3 delimita las combinaciones de temperatura y de HR que mantendrán la demanda evapotranspirativa bajo tal ideal.



Figura 3.2.7 Un adecuado manejo del agua es crítico durante la fase de establecimiento. Las boquillas nebulizadoras proporcionan períodos cortos con gotas de agua que conserven húmeda a la semilla en germinación, y promueven una emergencia rápida y completa. La elevada humedad resultante también retarda la transpiración hasta que el sistema radical de las jóvenes plántulas consiga establecerse.

Cuadro 3.2.5 Niveles óptimos e intervalos de humedad relativa, para plántulas en sus tres fases de crecimiento en viveros forestales que producen en contenedores.

Cultivo	Estado (EUA)	Estructura de cultivo	Humedad relativa					
			Establecimiento		Crecimiento		Endurecimiento	
			NI	I	NI	I	NI	I
<i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Abies</i> , <i>Larix</i> , <i>Pinus</i>	ID	Totalmente cerrada	75	50-100	70	50-100	50	30-100
<i>Betula</i> , <i>Abies</i> , <i>Juniperus</i> , <i>Larix</i> , <i>Acer</i> , <i>Quercus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Picea</i> , <i>Thuja</i> , <i>Juglans</i> .	MN	Totalmente cerrada	80	80-90	60	50-70	Ambiente	
<i>Cupressus</i> , <i>Juniperus</i> , <i>Pinus</i>	TX	Totalmente cerrada	60	40-80	60	40-80	Ambiente	
<i>Picea</i>	ME	Totalmente cerrada	Na	60-80	Na	50-70	Na	50-70
<i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Eucalyptus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Sequoia sempervirens</i>	CA	Semi-cerrada	70	50-100	55	30-90	45	30-70
<i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Abies</i> , <i>Larix</i> , <i>Pinus</i> , <i>Picea</i>	MT	Semi-cerrada	Na	40-90	Na	20-95	Na	50-95

NI: Nivel óptimo; I: Intervalo; ID: Idaho; MN: Minnesota; TX: Texas; ME: Maine; CA: California; MT: Montana; Na: Ninguna. Fuente: Investigación sobre viveros que producen en contenedores.

Cuadro 3.2.6 Niveles óptimos de humedad relativa y de déficit de presión de vapor (DPV) para viveros forestales que producen en contenedores.

Fase de crecimiento	Humedad relativa (%)		DPV correspondiente a 25°C (kPa)	
	Objetivo	Intervalo	Objetivo	Intervalo
Establecimiento	80	60-90	0.60	1.3 - 0.3
Crecimiento rápido	60	50-80	1.20	1.6 – 0.6
Endurecimiento	Ambiente		Ambiente	

Cuando las temperaturas en el área de cultivo se hacen excesivas, en muchos viveros con frecuencia, aplican una fina neblina en combinación con sombra, para enfriar las plántulas (Fig. 3.2.8). Algo de la neblina se evapora antes de alcanzar el piso, reduciendo así la temperatura. Sin embargo, estas aplicaciones de neblina deberían ser relativamente breves, o la humedad se acumulará en el follaje de las plántulas y esto puede promover enfermedades. Esta precaución es particularmente importante de considerar inmediatamente después de la rutina de riego. La humedad libre en la superficie mantiene el aire casi saturado, dentro de la copa de la plántula, y promueve enfermedades foliares, como el moho gris (*Botrytis cinerea*). Programando los riegos temprano por la mañana, se da tiempo para que la humedad sobre las plántulas se evapore. Un período crítico para el control de la humedad en un invernadero, es cuando las copas de las plántulas se cierran. Durante este período, debe ser mantenida una adecuada circulación de aire en el invernadero para reducir la humedad alrededor de las plántulas; la circulación del aire es aún eficiente durante los períodos de elevada humedad porque el movimiento del aire crea un gradiente de presión de vapor, del follaje a la atmósfera.



Figura 3.2.8 Los riegos breves, o nebulizaciones, pueden proveer enfriamiento cuando la temperatura es excesiva en el área de cultivo. Sin embargo, las aplicaciones deben ser breves, de lo contrario la elevada humedad puede originar condensación y goteo sobre el cultivo, y acumularse así humedad excesiva en el sustrato (flechas).

Fase de endurecimiento. Los objetivos de cultivo de esta fase son hacer más lento el crecimiento en altura, promoviendo la aparición de yemas, así como el

endurecimiento de las plántulas a tensión ambiental. El reducir la humedad a niveles ambientales durante este período (Cuadro 3.2.6) encauza a las plántulas a tolerar una mediana tensión hídrica. No obstante, esto puede ser difícil de lograr en los invernaderos cerrados, pues las bajas temperaturas propias de fines de verano y del otoño, promueven elevadas humedades y con frecuencia condensación, especialmente por la noche. Por esta razón, en muchos invernaderos las plántulas son removidas del invernadero al comienzo de la fase de endurecimiento, y en otros se remueve la cubierta, a menos que las condiciones exteriores sean de mucha tensión (Cuadro 3.2.5). Las estructuras de protección son particularmente benéficas durante este período porque sus lados pueden ser levantados para promover una buena ventilación cruzada (Fig. 3.1.12B).

3.2.3.2. Propagación vegetativa

En todo tipo de propagación vegetativa, se necesitan humedades más elevadas que para el cultivo de plántulas. Con cualquier tipo de estacas, el aprovisionamiento normal de agua ha sido intensificado, y la tensión hídrica rápidamente puede hacerse severa. El problema es crítico con estacas de madera suave, que poseen hojas que están transpirando, así como con las estacas de madera dura, que enraízan lentamente. Ya que la producción de nuevas raíces requiere de una presión de turgencia positiva, la tensión hídrica en las plantas debe ser minimizada manteniendo la presión de vapor ambiental cerca del mismo nivel que en la planta (Hartmann y Kester, 1983). Es deseable el mantenimiento de los valores de humedad relativa tan cerca del 100% como sea posible (Fig. 3.2.1A); una vez que las estacas han arraigado, gradualmente se endurecen a las condiciones ambientales a través de la reducción gradual de la humedad. Las plantas recientemente injertadas también se benefician en ambientes con elevada humedad, hasta que los injertos prenden y se normalizan las relaciones hídricas internas.

3.2.4 Modificando la Humedad en los Viveros Forestales que producen en Contenedor

Muchos viveros que producen en contenedores no están diseñados con equipo específico para el control de la humedad, pero utilizan el equipo existente para el calentamiento, ventilación, e irrigación para mantener la humedad dentro de intervalos deseables. El tipo de estructura de cultivo tiene algún efecto, dado que algunos invernaderos retienen mejor que otros la humedad.

3.2.4.1. Estructuras de cultivo

Las estructuras totalmente cerradas son mejores para el mantenimiento de un determinado nivel de humedad, pues no permiten el intercambio de aire con el ambiente exterior. Todos los invernaderos carecen de aire en alguna medida, así que tanto más hermética la estructura, menor la variación que se puede esperar en la humedad (Hanan *et al.*, 1978). Es difícil mantener elevada la humedad en un invernadero semi-cerrado (como las estructuras de protección) que tiene lados enrollables, los cuales no pueden ser sellados. Sin embargo, esta característica de diseño definitivamente es una ventaja, cuando el objetivo es deshumerar el ambiente con rapidez.

El tipo de cubierta del invernadero también es relevante. Las cubiertas plásticas (polietileno o "poli"), ajustan mejor y tienen pocas arrugas, en comparación con los paneles rígidos, además de que permiten un menor intercambio de aire. Las estructuras de cultivo bien aisladas, como son aquella con cubiertas dobles de polietileno, y las mantas térmicas, tendrán una mayor humedad (Aldrich y Bartok, 1989). Sin embargo, a causa de su pobre aislamiento, los invernaderos con cubiertas de polietileno de una sola capa, frecuentemente facilitan la condensación sobre sus superficies internas, lo cual puede acarrear problemas de goteo (Mastarlez, 1977). Existen diferencias en la transparencia de la luz solar entre las diferentes cubiertas, que pueden afectar las temperaturas internas y por ende, los niveles de humedad relativa.

Para un período de 4 meses, a fines del verano y otoño en la Columbia Británica (Canadá), la HR en estructuras de cultivo de fibra de vidrio fue significativamente mayor que en las estructuras de cultivo con cubiertas de plástico, y esta variación no solamente se debió a diferencias en la temperatura (Fig. 3.2.9). Tales diferencias fueron culturalmente importantes pues las pérdidas por enfermedades fueron 8 veces superiores en el invernadero de fibra de vidrio que en la estructura cubierta con polietileno (Peterson *et al.*, 1988).

3.2.4.2 Humedecimiento

El humedecimiento es usado operativamente para retardar la evapotranspiración bajo las siguientes condiciones:

1. Durante la fase de establecimiento, cuando las semillas en germinación, estacas e injertos recientes, requieren de condiciones "húmedas pero no en exceso".
2. En los tiempos durante la estación de cultivo, en que el aire exterior es mucho más frío que en el invernadero, porque el aire caliente contiene menos humedad.
3. En climas áridos, donde el aire exterior es con frecuencia cálido y seco.

El humedecimiento es más comúnmente necesario en climas áridos, durante tiempo frío, cuando el aire relativamente seco es llevado dentro del invernadero y calentado, lo cual eventualmente reduce la HR. Mientras la reducción de la humedad depende de los sistemas de calentamiento y ventilación para disipar la humedad atmosférica, el humedecimiento requiere de la conservación de la humedad y de la adición de vapor de agua en la atmósfera del invernadero.

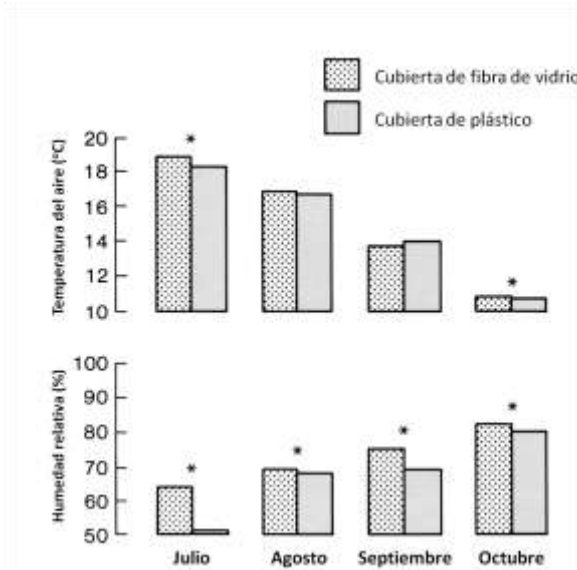


Figura 3.2.9 El tipo de cubierta puede afectar la temperatura y humedad relativa (HR) en el ambiente del invernadero. Los invernaderos de fibra de vidrio tienen humedades significativamente mayores durante fines del verano e inicios del otoño, cuando el "moho gris" (*Botrytis cinerea*) puede resultar un problema. *Significativo con $P=0.05$ (Adaptado de Peterson et. 1988).

La humedad es conservada manteniendo el invernadero cerrado siempre que sea posible. Debido a que la transpiración de la plántula agrega humedad al aire, es mucho más fácil mantener húmedo un invernadero totalmente lleno, en comparación con uno que no lo está. Con tiempo atmosférico frío, el vapor de agua se condensa sobre el lado interno de las cubiertas no aisladas, gotea al piso y se drena, removiendo la humedad de la atmósfera del invernadero. La condensación es reducida en las cubiertas con pared doble, y bien aisladas. En los invernaderos insuficientemente aislados, la manutención de la humedad se dificulta con tiempo atmosférico frío, independientemente del sistema de humedecimiento.

Calor de vapor. La forma más fácil de humedecer un invernadero, es con vapor, pues el agua es ya un vapor. Los invernaderos calentados mediante vapor pueden ser equipados con ventilas en la línea de vapor, las cuales son controladas mediante un mecanismo. **Estas ventilas deben ser ubicadas en un sitio seguro, donde nadie pueda resultar escaldado** y donde el vapor de agua sea rápidamente distribuido a través del invernadero.

Niebla y asperjado. La humedad puede ser agregada mediante el asperjado de pequeñas gotas de agua al aire (Fig. 3.2.10). La diferencia entre niebla y asperjado, está en el tamaño de la gota. Las gotas del asperjado son lo suficientemente grandes para estabilizarse en pocos segundos y humedecer las superficies con las que hacen contacto. Las gotas de la neblina son muy pequeñas, casi invisibles, y pueden mantenerse suspendidas durante varios minutos, durante los cuales muchas se evaporan. Propiamente aplicada, la niebla puede no humedecer el follaje. Con cualquiera, niebla o asperjado, puede ser necesario sombrear el invernadero para mantener la elevada humedad deseada.

Existen dos tipos básicos de boquillas utilizadas para producir niebla y asperjado. La boquilla de impacto dirige un chorro de agua contra una superficie, dispersando el agua en pequeñas gotas. La boquilla centrífuga rota el agua dentro de un orificio, produciéndose el mismo efecto. A causa de la elevada tensión superficial del agua, tanto más pequeña la gota, mayor la energía requerida para producirla. Esta energía puede provenir de varias fuentes. Las boquillas nebulizadoras normalmente operan satisfactoriamente con la presión estándar del agua doméstica de 300 a 450 kPa (45 a 65 lb por pulgada cuadrada). Las boquillas para niebla requieren de una bomba reforzada para alcanzar la presión de 2 700 a 10 000 kPa (400 a 1 500 lb por pulgada cuadrada). Otros sistemas de nebulización emplean motores eléctricos para girar una rueda que tiene orificios sobre su borde. La fuerza centrífuga eleva la presión de agua en el orificio, y con frecuencia es utilizado un ventilador para distribuir la niebla. Un tercer tipo usa aire comprimido para convertir el agua en niebla.



A



B

Figura 3.2.10 Tanto los sistemas para producir asperjado como niebla, pueden ser usados para humedecer el ambiente del invernadero. Las boquillas asperjadoras (A) producen pequeñas gotas de agua que se ubican sobre el follaje de la plántula, mientras que los sistemas de producción de neblina producen partículas de agua lo suficientemente pequeñas para mantenerse suspendidas en el aire (B).

La selección del sistema dependerá del tipo de cultivo, clima, sistema de ventilación en el invernadero, objetivos culturales, y calidad del agua (Weed, 1989). Los sistemas asperjadores son baratos de operar y humedecen el follaje bajo ellos. Esto puede ser benéfico, pues las temperaturas foliares serán reducidas y a través del asperjado, se pueden liberar nutrientes minerales o plaguicidas al cultivo. No obstante, el asperjado excesivo puede lixiviar nutrientes, dejar depósitos minerales, promover el crecimiento de algas, y promover enfermedades fungosas (Hartmann y Kester, 1983). Los sistemas nebulizadores son más caros de instalar y operar, pero han probado ser superiores para el control de la humedad. Son especialmente útiles en la propagación vegetativa, y pueden ser utilizados en el exterior, como protección ante heladas (Gordon, 1989).

Debido a que las boquillas nebulizadoras y asperjadoras tienen orificios pequeños, el agua debe pasar a través de unos filtros con poros muy finos para remover cualquier partícula suspendida que pueda obstruir el orificio (Fig. 3.2.11A). Nebulizar o asperjar con agua salina depositará sales en el follaje (Fig.3.2.11B). Estos depósitos no sólo son desagradables, también pueden causar quemaduras por sales e inhibir la fotosíntesis. Este problema puede ser particularmente serio en los sistemas de propagación vegetativa, por las frecuentes aplicaciones. Los fertilizantes y plaguicidas que contienen partículas suspendidas no deberían ser aplicados a través de sistemas nebulizadores (la calidad del agua de riego y la filtración son discutidas a detalle en el volumen cuatro de esta serie).



A



B

Figura 3.2.11 El agua de riego que será usada para el asperjado o la nebulización, debe ser filtrada o tratada en alguna otra forma para remover los sólidos suspendidos (A), y el agua salina debe ser tratada para prevenir la obstrucción de boquillas o los "depósitos de óxidos" (B).

Riego. Las boquillas estándares de riego también pueden ser empleadas para humedecer un invernadero, si son abiertas por intervalos breves. Sin embargo, el proceso ha de ser monitoreado cuidadosamente, pues la sobre irrigación puede resultar en temperaturas foliares sub-óptimas, follaje húmedo, y saturación del medio de cultivo, condiciones que pueden promover las enfermedades fungosas. Las bombas móviles de riego ubicadas en lo alto, son particularmente efectivas para el humedecimiento, porque proveen cobertura suficiente, y los intervalos de irrigación pueden ser controlados fácilmente (Grazoli, 1988). Algunos viveristas han acondicionado bombas móviles con cabezas múltiples, una de las cuales es una boquilla asperjadora (Fig. 3.1.22B). Sin embargo, la efectividad de enfriamiento con el riego es breve, pues el aumento en HR dura menos de 1 hora (Mastarlez, 1977). No importa qué tipo de sistema de riego se utilice, el agua debería ser filtrada para remover sólidos en suspensión que pueden originar problemas.

Enfriamiento evaporativo. En climas áridos, un sistema de enfriamiento evaporativo (Fig. 3.1.19) puede ser un medio efectivo para el humedecimiento durante el tiempo cálido. Hanan *et al.* (1978) reportan que el enfriamiento evaporativo típicamente aumenta la HR a aproximadamente 70 u 80%, y que el flujo de aire frío y húmedo puede también reducir el DPV. Sin embargo, los sistemas de enfriamiento evaporativo no deberían ser empleados como la principal fuente de humedad, sino más adecuadamente por su efecto benéfico en el control de la temperatura.

3.2.4.3 Reducción de la humedad

Cuando es elevada la humedad atmosférica, es necesario reducirla para prevenir problemas como condensación excesiva. La elevada humedad ocurre con más frecuencia en las siguientes condiciones:

1. Después del riego, especialmente cuando el área de crecimiento no puede ser inmediatamente ventilada.

2. En climas con elevada humedad atmosférica permanente.

Ventilación y calentamiento. La forma más simple y fácil para reducir la humedad del medio de cultivo, es ventilar con aire seco o cálido. Cuando el aire exterior está seco, los viveristas simplemente pueden activar el sistema de ventilación, cualquiera que sea la humedad del invernadero por encima del nivel objetivo (Fig. 3.2.12). Si la ventilación por sí sola no es efectiva, entonces puede ser utilizada una combinación de calentamiento y ventilación, aún cuando el aire exterior sea muy húmedo. Con frecuencia, cuando las condiciones requieren reducción de la humedad, el aire exterior será lo suficientemente frío para que el sistema de calentamiento automáticamente abra las ventanas. También es posible encender los sistemas de ventilación y calentamiento simultáneamente, a efecto de garantizar la reducción de la humedad. Además de reducir la HR ambiental, el flujo de aire cálido sobre el follaje, puede prevenir eficientemente la condensación y eliminar la estratificación de temperaturas en el invernadero (Aldrich y Bartok, 1989). Debe tenerse presente que las elevadas tasas de ventilación con aire muy seco pueden resultar en tensión hídrica para las plántulas (Hanan *et al.*, 1977).

Reduciendo la humedad de las copas de las plántulas. La ventilación por perforaciones o tubos calentados, con frecuencia se colocan bajo bancos elevados, de modo que el aire es forzado a moverse hacia arriba, a través de las plántulas, reduciendo con eficacia la humedad del microambiente dentro de la copa (Fig. 3.1.27B). El aire caliente no sólo seca el follaje, también aumenta la temperatura del cepellón radical, lo cual puede ser benéfico, especialmente durante los meses de invierno (Hallett, 1982). Peterson y Sutherland (1989) hallaron que la ventilación bajo bancos con aire frío toma 11 horas más para secar las plántulas, en comparación con la ventilación con aire calentado, pero concluyen que la ventilación con aire frío fue mejor para reducir el potencial de germinación del hongo "moho gris" (*Botrytis cinerea*).

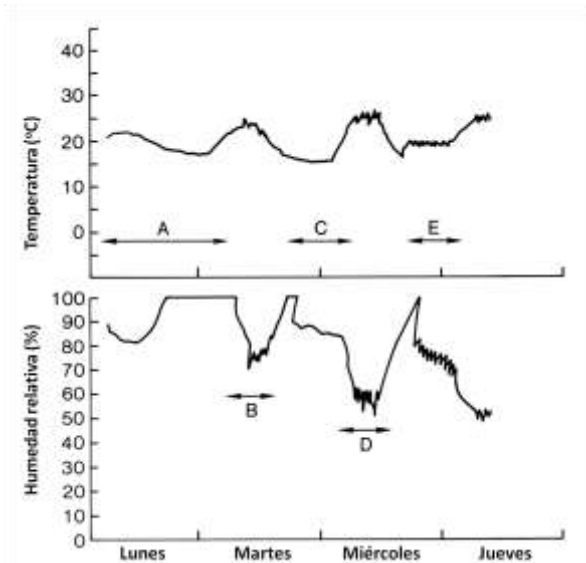


Figura 3.2.12 Esta carta higrotermográfica ilustra cómo la reducción de la humedad puede ser completada. El lunes (A) es nublado y húmedo, y no se hacen intentos para controlar la humedad, la cual alcanza 100% a las 6 P.M. y se mantiene ahí toda la noche. El martes (B) es cálido y parcialmente soleado, y la temperatura ascendente por sí sola reduce la humedad durante el día. En la tarde la humedad nuevamente alcanza 100%, pero a las 8 P.M. comienza la ventilación mediante ventiladores (C). Si el aire exterior es menos húmedo que el del interior del invernadero, la humedad puede ser reducida aún si el aire exterior es más frío. El miércoles (D) es soleado, y la humedad cae considerablemente, pero de nuevo alcanza 100% a las 8 P.M. En este momento (E) viene el ciclo de descondensado (ambos, calentamiento y ventilación) y reduce la humedad drásticamente.

La humedad de la copa de la plántula puede ser reducida con ventiladores, que pueden ser movidos al sitio después del riego, o montados directamente sobre la bomba de riego (Fig. 3.2.13). Un viverista ha usado con éxito un soplador foliar portátil para secar el follaje después del riego.

Los calentadores radiantes en la parte superior (Fig. 3.1.28) reducen la humedad dentro de la copa de la plántula, y eliminan condensación sobre el follaje eficientemente. La radiación térmica calienta objetos más que el aire que les rodea, reduciendo así la HR sin aumentar el flujo de aire alrededor de las plántulas, que pueden incrementar sus tasas de evapotranspiración.



Figura 3.2.13 Inmediatamente después del riego, los ventiladores pueden ser empleados para aumentar el flujo de aire sobre el follaje de las plántulas, y evaporar la indeseable humedad superficial.

3.2.5 Sistemas de Monitoreo y de Control de la Humedad

Es relativamente difícil medir la humedad, en comparación con otras variables atmosféricas. La humedad relativa es la única medición de humedad que es monitoreada rutinariamente en los viveros que producen en contenedores, aunque los nuevos sistemas computarizados pueden calcular el déficit de presión de vapor.

3.2.5.1 Humedad

Cualquier instrumento que mida la humedad es denominado un **Higrómetro**. Un **psicrómetro** es un tipo común de higrómetro que consta de dos sensores de temperatura adyacentes: un sensor de bulbo seco que mide la temperatura ambiental, y un sensor de bulbo húmedo que está cubierto con una tela absorbente. Esta tela es humedecida con agua destilada y ambos sensores son ventilados con aire moviéndose al menos a 3.5 m/s (12 pies por segundo), hasta que la temperatura del bulbo húmedo se estabilice. La diferencia entre las temperaturas del bulbo húmedo y del bulbo seco, es conocida como **depresión del bulbo húmedo**.

Comúnmente se usan dos tipos de psicrómetros en los viveros que producen en contenedores. El **psicrómetro de cadena** (o de honda) (Fig. 3.2.14) es girado manualmente con movimientos circulares hasta que la temperatura del bulbo húmedo se estabiliza. En el psicrómetro de aspirado, los termómetros se mantienen estacionarios, y el aire es empujado a través de los bulbos mediante un pequeño ventilador. Están disponibles cartas y tablas para convertir las temperaturas de bulbos húmedo y seco en humedad relativa, o en punto de rocío (Fig. 3.2.3 y Cuadro 3.2.4). Los psicrómetros tienen una precisión de 0.3 a 3.0% y un intervalo efectivo de -18 a 260°C (0 a 500°F). Debido a que la depresión del bulbo húmedo es tan somera, los psicrómetros son menos precisos a bajas temperaturas, y se requiere de cartas especiales cuando prevalecen temperaturas bajo cero (ASHRAE, 1989). Además, los errores causados por un bulbo húmedo sucio, o una ventilación sub-óptima, siempre resultan en una lectura de depresión de bulbo

húmedo reducida, que a su vez origina una lectura elevada de la HR. No obstante, los psicrómetros se mantienen como una forma útil de medir la HR bajo condiciones de invernadero.

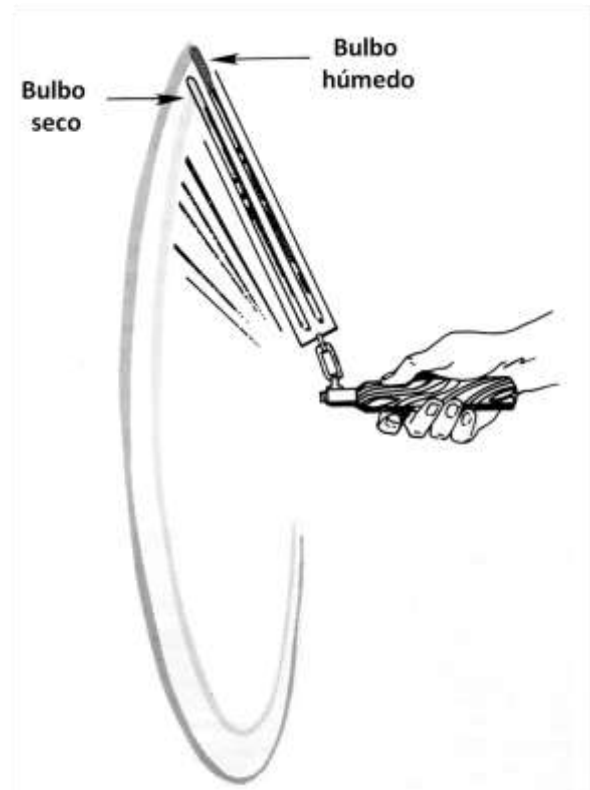


Figura 3.2.14 Un psicrómetro de cadena contiene dos termómetros: el "bulbo seco", que mide las condiciones ambiente, y el "bulbo húmedo", que está cubierto con una tela y que mide la temperatura menor resultante del enfriamiento evaporativo. La diferencia entre estas dos lecturas es la depresión de bulbo húmedo. El psicrómetro es girado con movimientos circulares, hasta que la temperatura de bulbo húmedo se estabiliza. Los dos termómetros son rápidos de leer, y la humedad relativa puede ser determinada a partir de cartas psicrométricas (ver Figura 3.2.2) o cuadros (ver Cuadro 3.2.4) (Adaptado de Schroeder y Buck, 1970).

El otro instrumento que es comúnmente usado para monitorear la humedad en viveros que producen en contenedores, es el higrómetro (Fig. 3.1.31C), el cual mide tanto la temperatura del aire como la humedad relativa (Fig. 3.1.12). A causa de las proteínas presentes en el pelo (keratina), éste cambia su longitud en respuesta a cambios en

la humedad, por lo que los cabellos humanos con frecuencia son utilizados en los higrotermógrafos. Estos aparatos tienen una precisión de 3% de HR, pero su exactitud disminuye a humedades extremas y responden lentamente a los cambios (ASHRAE, 1989). Tienen la ventaja de registrar continuamente los valores de HR para mostrar las tendencias diurnas y diarias. Una buena aproximación se consigue instalando un higrotermógrafo sombreado para proporcionar un registro permanente de la HR, y entonces ocasionalmente verificar el instrumento con un psicrómetro de cadena.

Los sensores de HR eléctricos ofrecen una mayor precisión y son durables y compactos. Se pueden hacer en ellos lecturas digitales, lo que facilita su uso. Los dos sensores de este tipo más empleados son el elemento Dunmore y la celda Pope, ambos usan redes de alambre en un sustrato conteniendo una sal higroscópica. La resistencia eléctrica de los sustratos declina conforme la humedad del aire de alrededor aumenta. Aunque son muy precisos y de rápida respuesta, estos dos tipos de sensores son altamente sensibles a la contaminación, la cual reduce su vida útil cuando se usan en viveros que producen en contenedores (Gaffney, 1978).

Un nuevo sistema de control ambiental puede medir el DPV alrededor del follaje de la planta. Una computadora usa sensores para medir la temperatura foliar y la temperatura y HR del aire. Debido a que el aire dentro de los estomas siempre está cercano a la saturación, bajo condiciones normales de vivero, el DPV de la hoja puede ser determinado a partir de su temperatura. El sistema de la computadora calcula el DPV cada pocos segundos, y usa un valor acumulado para estimar el consumo del agua por la planta y programar el riego (Barnett, 1990).



Figura 3.2.15 Los sistemas de asperjado pueden ser controlados con un aparato denominado "humidistat", el cual monitorea la humedad relativa. Un "humidistat" debe ser protegido de la exposición directa a la humedad.

El aparato básico para el control de la humedad, es el llamado "humidistat", que tiene un sensor para la humedad relativa, conectado a un interruptor eléctrico (Fig. 3.2.15). Los "humidistat" pueden ser conectados con una banda metálica para cerrarse cuando la humedad aumenta, conectando un sistema de reducción de humedad, o cuando la humedad se reduce, activando un ciclo de humedecimiento. De cualquier forma, la reducción de la humedad puede ser programada dentro de una etapa de descondensación en el panel de control ambiental, el cual sincroniza la apertura de ventilas y activa el sistema de calentamiento, y puede ser operado tanto manual como automáticamente (Fig. 3.2.16). Los sistemas de control ambiental asistidos por computadora, son capaces de monitorear higrómetros eléctricos continuamente, y generan registros permanentes de humedad relativa y de otras variables climáticas relacionadas (Los sistemas de control ambiental son discutidos con mayor detalle en el volumen uno de esta serie).

3.2.5.2 Niebla y asperjado

Son tres los tipos básicos de controladores de asperjado disponibles: relojes, sensores mecánicos como la "hoja artificial", y equipos de control asistidos por computadora que monitorean humedad o energía radiante. Con los relojes, el viverista establece las horas de operación y de duración de los asperjados en un mecanismo de relojería (Fig. 3.2.17A/B). Estos controles relativamente simples y

baratos, con frecuencia están conectados en serie para proporcionar asperjados intermitentes durante ciertas horas. La hoja artificial es otro sistema de control no caro, consistente de un cuadro de alambre con gasa sobre el extremo de un brazo de balanza (Fig. 3.2.17C). Cuando el asperjado que se ha acumulado sobre la hoja se hace lo suficientemente pesado, el brazo de balanza topa, activando un interruptor de mercurio que apaga el sistema de asperjado. Después que el agua se evapora de la hoja, el brazo de balanza asciende nuevamente, hasta la posición de encendido. Entonces, se repite el ciclo de asperjado a intervalos que son determinados por la tasa de evaporación en el área de cultivo.

La nebulización requiere de controles electrónicos más sofisticados. Las nuevas computadoras ambientales monitorean la humedad y otros factores, como la radiación solar, e integran esta información para activar el sistema de niebla.

3.2.6 Conclusiones y Recomendaciones

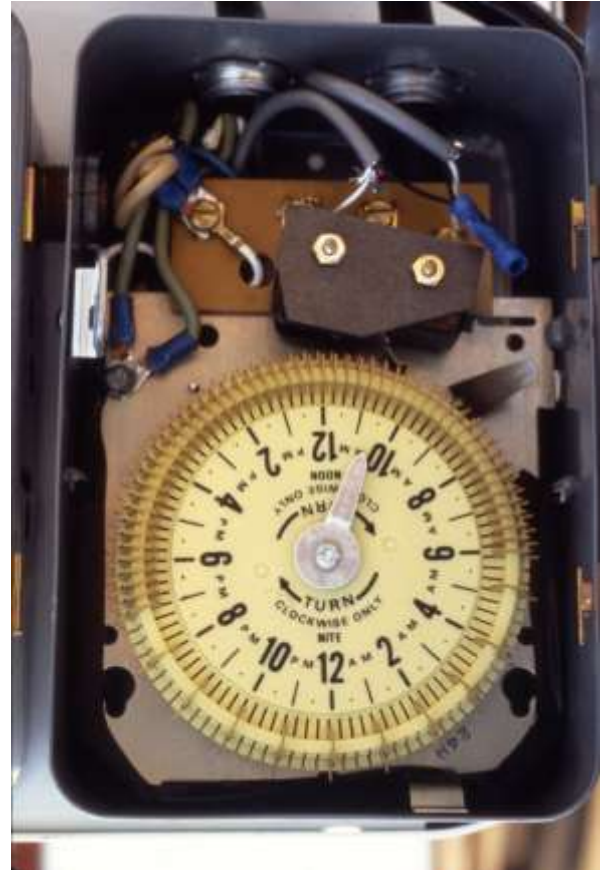
La humedad atmosférica en los viveros forestales que producen en contenedores (en invernaderos), es biológicamente importante porque afecta las relaciones hídricas de la plántula, y el crecimiento de hongos fitopatógenos. La principal influencia de la humedad se da en las tasas de evapotranspiración. Cuando el aire está quieto, la tasa de evaporación de una superficie húmeda es función de la humedad relativa y de la temperatura, y es proporcional al déficit de presión de vapor. Con temperatura constante, tanto mayor la humedad relativa, menor el déficit de presión de vapor.

abiertos tanto como sea posible. Los viveristas pueden promover el crecimiento a través de la mantención de humedades relativas elevadas en las áreas de cultivo.



Figura 3.2.16 Algunos sistemas de control de invernadero incluyen un panel de control de descondensado, que abre ventilas y enciende el sistema de calentamiento y apaga los ventiladores durante un breve período, para reducir la humedad en el invernadero.

Cuando aumenta el déficit de presión de vapor, las plántulas entran en una gran tensión, que resulte en cierre estomatal y en reducción de la fotosíntesis neta. Para lograr el máximo crecimiento, los estomas deben permanecer



A



B



C

Figura 3.2.17 Están disponibles varios tipos de sistemas de control de aspersión, incluyendo relojes mecánicos (A y B), y la "hoja artificial" (C).

Es difícil mantener niveles óptimos de humedad en viveros que producen en contenedores, porque la humedad relativa varía tanto como la temperatura. Los niveles de humedad ideales también cambian en la estación de cultivo, dependiendo de la etapa de desarrollo de la plántula. Las elevadas humedades relativas son más importantes durante la germinación de la semilla y la emergencia de la plántula. La humedad relativa objetivo durante la fase de establecimiento es de 80%, con un intervalo de 60 a 90%.y durante la fase de crecimiento rápido, la HR objetivo desciende a 60%, con un intervalo de 50 a 80%. Durante la fase de endurecimiento, la humedad relativa del ambiente exterior normalmente es aceptable.

Excepto para la propagación vegetativa, no son deseables humedades relativas muy elevadas (90 a 100%), pues el crecimiento de hongos fitopatógenos, musgos, algas y hepáticas, es estimulado bajo tales condiciones, y puede resultar en la reducción de la calidad de las plántulas o aún en mortalidad.

Muchos viveros que producen en contenedores no están diseñados con equipo específico para el control de la humedad, pero utilizan su equipo de calentamiento, ventilación, y riego, para mantener humedades dentro de los intervalos deseados.

3.2.7 Literatura Citada

- Aldrich, R. A.; Bartok, J. W. Jr. 1989. Greenhouse engineering. Ithaca, NY: Cornell University, Northeast Regional Agricultural Engineering Service. 203 p.
- ASHRAE, 1989. ASHRAE Handbook: fundamentals. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. 792 p.
- Barrett, J. 1990. Plants and water 101: understanding VPD. Grower Talks, September 1990: 48-52.
- Clawson, K. L.; Jackson, R. D.; Pinter, P. J. Jr. 1989. Evaluating plant moisture stress with canopy temperature differences. *Agronomy Journal* 81:858-863.
- Gaffney, J. J. 1978. Humidity: basic principles and measurement techniques. *Hort Science* 13(5):551-555.
- Garzoli, K. 1988. Greenhouses. Canberra, Australia: Australian Government Publishing Service. 185 p.
- Gordon, I. 1989. Fogging systems for propagation. *International Plant Propagators Society Combined Proceedings* 38:84-86.
- Hallett, R. D. 1982. Contrasting approaches to containerized seedling production. 3. The Maritime Provinces. In: Scarratt, J. B.; Glerum, C.; Plexman, C. A., eds. *Proceedings, Canadian Containerized Tree Seedling Symposium. COJFRC Symposium Proceedings 0-P-10*. 1981, Sept. 14-16. Toronto, ON. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service. Great Lakes Forest Research Centre: 129-138
- Hanan, J. J.; Holley, W. D.; Goldsberry, K. L. 1978. Greenhouse management. New York: Springer-Verlag. 530 p.
- Hartmann, H. T.; Kester, D. E. 1983. Plant propagation: principles and practices. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 727 p.
- Jarvis, P. G. 1980. Stomatal response to water stress in conifers. In: Turner, N.; Kramer, P., eds. *Adaption of plants to water and high temperature stress*. Oxford: Blackwell: 105-122.
- 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.; Bailey, W. A.; Klueter, H. H. 1971. Effects of relative humidity and type of container on the growth of F1 hybrid annuals in controlled environments. *American Journal of Botany* 58:544-551.
- Mastalerz, J. W. 1977. *The greenhouse environment*. New York: John Wiley and Sons. 629 p.
- Peterson, M. J.; Sutherland, J. R.; Tuller, S. E. 1988. Greenhouse environment and epidemiology of grey mould of container grown Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Forestry Research* 18(8): 974-980.
- Peterson, M. J.; Sutherland, J. R. 1989. Grey mould control by seedling canopy humidity reduction through under bench ventilation and styroblock aeration. FRDA Rep. 077. Victoria, BC: Canadian Forestry Service and BC Ministry of Forests. 16 p.
- Schroeder, M. J.; Buck, C. C. 1970. Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations. *Agric. Handbk.* 360. Washington, DC: USDA Forest Service. 229 p.
- Seiler, J. R.; Johnson, J. D. 1984. Abnormal needle morphology in loblolly pine induced by low humidity. *Hort Science* 19(4):521-522.
- Van de Sanden, P.A.C.M. 1985. Effect of air humidity on grow thand water exchange of cucumber seedlings: preliminary report. *Acta Horticultura* 174:259-267.

Weed, J. 1989. A look at fog cooling systems.
Greenhouse Manager 8(6):110-113.