



Estructuras y equipos de producción

Juan A. Enricci

TIPOS DE ESTRUCTURAS DE PROPAGACIÓN

Para lograr un buen desarrollo de los plantines producidos en contenedor es conveniente cultivarlos en estructuras que los protejan de los factores abióticos rigurosos del medio ambiente. En la región patagónica estos factores adversos están representados por temperaturas extremas, viento y precipitación en forma de nieve, principalmente. De acuerdo al tipo de protección ambiental

que brindan las estructuras de propagación, de los viveros en contenedor, se pueden generar ambientes totalmente controlados, ambientes parcialmente controlados o ambientes escasamente controlados. Cada uno de estos ambientes tiene rasgos o factores que los caracterizan (Tabla 1 y Tabla 2).

Tabla 1. Características biológicas y económicas de los tres tipos de estructuras de propagación según el grado de control del ambiente (Landis et al. 1995).

Factores	Ambiente según estructura de propagación		
	Escasamente controlado	Parcialmente controlado	Completamente controlado
Biológicos			
Clima (ambiente)	Templado	Moderado	Cualquiera
Estación de cultivo	Verano	Primavera a Otoño	Todo el año
Tiempo de producción	6 – 24 meses	3 – 12 meses	3 – 9 meses
Riesgo de perder el cultivo	Alto	Bajo	Bajo
Económicos			
Costos de construcción	Bajo	Medio	Alto
Costos de mantenimiento	Bajo	Medio	Alto
Uso de energía	Bajo	Bajo a medio	Alto

Tabla 2. Factores limitantes que permiten controlar los tres tipos de estructura (Landis et al.1995).

Factores limitantes	Ambiente según estructura de propagación		
	Escasamente controlado	Parcialmente controlado	Completamente controlado
Atmosféricos			
Alta temperatura	No	Parcial	Sí
Baja temperatura	No	Sí	Sí
Humedad	No	Parcial	Sí
Fotoperíodo (luz)	Sí	Sí	Sí
Fotosíntesis (luz)	No	Sí	Sí
Calidad de luz	No	Sí	Sí
Dióxido de carbono	No	Parcial	Sí
Plagas y enfermedades	No	Parcial	Sí
Edáficos			
Agua	Sí	Sí	Sí
Nutrientes minerales	Sí	Sí	Sí
Enfermedades	Sí	Sí	Sí

Estructuras que crean un ambiente completamente controlado

Están diseñadas de manera de presentar la mayor hermeticidad posible y contener todo el equipo necesario para mantener las condiciones óptimas que requiere el cultivo en todas las fases de crecimiento. Son las de mayor costo de construcción y de mantenimiento, por lo tanto el producto debe tener un alto valor de mercado o resultar estratégico para su propietario. En el caso de los viveros forestales este tipo de estructuras son poco utilizadas, salvo los que se dedican a investigación genética, micropropagación o producción de plantines de especies ornamentales de alto valor.

Cámaras de crecimiento

Los materiales usados en su construcción permiten realizar un control total de las variables ambientales, destacándose la posibilidad de proporcionar distintas condiciones de luz con respecto a su intensidad, duración y calidad. Otra ventaja es que no están sujetas a fluctuaciones de temperatura.

Invernáculos fijos

Son estructuras cerradas fijadas al suelo, de larga duración y alto costo. Están cubiertas con materiales transparentes, rígidos y resistentes, que permiten la entrada de la radiación solar. Son los que en la terminología en inglés generalmente se denominan *greenhouse*. En la región patagónica no contamos con ejemplo de este tipo de estructura. Se pueden encontrar en localidades del centro del país, donde se usan para producir plantas de muy alto valor comercial, como las orquídeas, pero no forestales por el momento.

Estructuras que crean un ambiente parcialmente controlado

En este grupo se encuentran los invernáculos de estructuras móviles, que se pueden trasladar de un sitio a otro, y los umbráculos.

Invernáculos móviles

La mayor parte de los invernáculos que conocemos en la Patagonia están dentro de este tipo; estrictamente hablando serían los *shelterhouse* de la terminología en inglés. Son estructuras desmontables, relativamente fáciles de transportar, que no presentan demasiadas complicaciones en su armado. Son los más recomendados para la producción comercial de plantines forestales porque logran un óptimo control del ambiente y son de un costo accesible para la calidad y cantidad de plantas que se logran. Al igual que los invernáculos fijos tienen una cubierta transparente, pero de material flexible, que permite el paso de la radiación solar. Generalmente el techo es permanente y las paredes pueden ser móviles. Como no poseen un aislamiento total normalmente requieren de un equipo para el calentamiento en los meses más fríos, y un sistema de enfriamiento, a efecto de mantener un buen control de la temperatura (Landis et al. 2005).

Los invernáculos pueden construirse con distintas formas, siendo amplia la variación de diseños disponibles en el mercado. Para la producción forestal generalmente se usan los de tipo túnel clásico, de forma semicilíndrica (Figura 1), que cuando son de dimensiones mayores se denominan macro túneles (Figura 2). Pero los más comunes son aquellos representados por variaciones del modelo túnel. Una modificación es la incorporación de paredes laterales, que pueden ser verticales o con un cierto ángulo, con aberturas laterales móviles y/o enrollables (Figura 3). Otra modificación es el techo de forma gótica (Figura 4), que favorece la caída de la nieve. Con respecto a los materiales de cubierta estos pueden ser polietileno y/o policarbonato. Se recomienda la construcción de unidades o naves individuales, porque en caso contrario no resisten los efectos de vientos fuertes y la acumulación de nieve, ambos elementos meteorológicos comunes en el clima Patagónico.



Figura 1. Invernáculo tipo túnel "ADC" con ventanas laterales.



Figura 2. Macro túnel en el vivero Hua Hum, San Martín de los Andes, Neuquén. (Foto Cobelo 2009).

Figura 3. Invernáculos con aberturas laterales enrollables. Arriba: vivero Hua Hum, San Martín de los Andes, Neuquén. (Foto Cobelo 2006). Abajo: vivero Consejo Agrario Provincial, Los Antiguos, Santa Cruz (Foto Massone 2004).



Figura 4. Naves individuales de invernáculos de paredes verticales con cierto ángulo y techo tipo arco gótico en vivero del Paider forestal, UNPSJB, Esquel, Chubut (Foto Enricci 2001).

Umbráculos / Sombráculos

Son instalaciones muy elementales para controlar solamente el exceso de insolación. Pueden basarse en tablas de madera tipo “yesero” o media sombra (mallas plásticas) de diferentes colores, densidad y porosidad (Figura 5). En ambientes de clima templado- frío se utilizan en la fase de endurecimiento de los plantines, o para completar el ciclo de algunas especies que así lo requieran, contando generalmente con un equipo de riego móvil. En cambio en ambientes cálidos y subtropicales pueden ser sectores de cultivo completo.



Figura 5. Malla de media sombra plástica entre dos naves en el vivero del Paider forestal, UNPSJB, Esquel, Chubut (Foto Enricci 2002).

Estructuras que crean un ambiente escasamente controlado

Son estructuras a cielo abierto, sin ningún tipo de cobertura, en las cuales no se pueden controlar los factores ambientales, siendo esta su principal limitación para el cultivo. La ventaja que presentan es su bajo costo (Figura 6). No se aconsejan para zonas con condiciones climáticas muy rigurosas por que el ciclo de cultivo demandará más de un año. Con estas estructuras es posible completar la etapa de rusticación de los plantines, con instalación de riego portátil.



MATERIALES Y EQUIPOS

Estructuras

Los materiales que frecuentemente se utilizan para la construcción de paredes laterales, techo, portones y ventanas de estructuras de propagación son tres:

- Tubos y planchas de acero galvanizado.
- Tubos y planchas de aleaciones de aluminio.
- Madera.



Figura 6. Cultivo de plantines forestales en ambiente escasamente controlado en el vivero provincial de Huinanco, Neuquén.

Cada uno tiene sus ventajas y desventajas. El más utilizado es el acero pre tratado con galvanización para evitar la corrosión; en estos ambientes las condiciones son sumamente propicias para la corrosión debido a la alta humedad y el agregado de sales en el riego. Las soldaduras y bulones deben ser pintados con antióxidos o convertidores luego del montaje para que la estructura no presente focos de corrosión. Si bien el acero es más caro tiene la ventaja de ser más resistente que los otros dos materiales y es el que da menos sombra. El aluminio y sus aleaciones se corroen menos y son más livianos, pero como son menos fuertes que el acero, los perfiles deben ser de mayores dimensiones para lograr la misma resistencia. Esto tiene la desventaja que produce más sombra en los invernáculos. Las partes se unen con bulones de acero, que deberían ser cubiertos por antióxidos o convertidores.

La madera es el elemento más barato, pero tiene algunos inconvenientes relacionados con su heterogeneidad de resistencia y su deterioro biológico. El uso de preservantes de la madera es peligroso ya que pueden generar vapores fitotóxicos para los cultivos. Tiene la ventaja de ser muy maleable en el sentido de la trabajabilidad de las piezas. Dada la menor resistencia, el tamaño de las piezas es mayor al de los otros dos materiales (Figura 7).

Cualquier material que se use en estructuras debe quedar muy bien terminado, sin protuberancias ni rebarbas ya que afectarán la vida útil de la cubierta, sobre todo si esta es de plástico. Se recomienda el lijado y eventualmente el cubrimiento de uniones, soldaduras, ángulos y bulones con películas reforzadas de polietileno donde apoyará la cubierta.



Figura 7. Invernáculo con soportes de madera en el vivero Forestal Patagonia, Epuyen, Chubut.

Cubierta

Los materiales utilizados para la cobertura de las paredes laterales, portones y techo, pueden ser:

- Paneles rígidos como el vidrio y semirígidos como el poliestireno, acrílico y policarbonato.
- Láminas flexibles, como las películas plásticas de polietileno y derivados del polivinilo.

Cada material tiene sus ventajas y desventajas en cuanto a transmisión de la luz, resguardo de calor, duración, facilidad de colocación, renovación y costo. Aldrich y Bartok (1989) hacen un buen resumen de las principales características de los materiales (Tabla 3).

Tabla 3. Características, ventajas y desventajas de las diferentes cubiertas (Modificado de Aldrich y Bartok 1989).

Materiales	Ventajas	Desventajas	Características		
			Luz (% RFA)	Vida útil (Años)	Costo (US\$/m ²)
Paneles rígidos y semirígidos					
Vidrio	Excelente transmisión, resistente a variaciones climáticas y a la degradación.	Baja resistencia a impactos, caro y pesado.	75 - 94	+ de 25	8 a 22
Poliestireno	Bajo costo, fuerte y fácil de instalar.	Fácilmente degradable, amarillenta con la edad y es muy inflamable.	60 - 90	7 a 15	0,85 a 5

Continúa en página siguiente

Materiales	Ventajas	Desventajas	Características		
			Luz (% RFA)	Vida útil (Años)	Costo (US\$/m2)
Paneles rígidos y semirígidos					
Acrílico	Excelente transmisión, resistente a variaciones climáticas y fáciles de fabricar.	Se raspa fácilmente y es muy inflamable.	87 - 93	+ de 20	16 a 38
Policarbonato	Resistente a impactos. Poco inflamable.	Se raspa fácilmente, es caro, se expande y dilata mucho.	83 - 94	10 a 15	14 a 27
Películas plásticas					
Poliétileno	Barato y fácil de instalar.	Corta vida útil. Baja temperatura de servicio.	Menos de 85	2-3	Menos de 0,10
Polivinilo	Excelente transmisión. Resistente a impactos y a rayos UV. Muy durable	Fácil de rasgarse. Relativamente caro. Oferta de medidas muy limitadas.	92	+ de 10	0,40 a 0,5

RFA: Radiación fotosintéticamente activa

Para la producción de plantines forestales en la región patagónica es recomendable la utilización de cubiertas de polietileno de 150 a 200 micrones de espesor, trica-pa, con inhibidores del efecto de la radiación ultravioleta (UV) y antigoteo. El montaje del polietileno en general es sencillo (Figura 8) si bien hay que tomar ciertos recaudos, realizando esta tarea en horas tempranas de la mañana o bien al final de la tarde cuando las temperaturas sean menores para evitar la dilatación del material, y sin viento para facilitar la colocación. Para las puertas y portones de entrada y banderolas es mejor utilizar algún material más rígido y durable como el policarbonato.



Figura 8. Instalación de cubierta plástica en el vivero Hua Hum, San Martín de los Andes, Neuquén (Foto Enricci 2003).

Mesadas

El sistema de producción de plantines en contenedores se basa en inducir la formación de un sistema radical con abundantes raicillas y pelos absorbentes, lo que en parte se logra mediante la poda permanente del sistema radical. Esto se denomina auto poda porque cuando las raicillas emergen por las hendiduras de los contenedores o tubetes detienen su crecimiento por acción del desecamiento del aire. Por lo tanto la base de las celdas y las hendiduras laterales no deben estar en contacto con elementos de apoyo, que impidan la acción del aire o aumenten la humedad. Para lograr este objetivo los contenedores deben estar suspendidos o apoyados en estructuras que garanticen el paso del aire. Las líneas de alambre extendido y tensado que se utilizan en el vivero del Programa de apoyo a la investigación y desarrollo regional (Paider) forestal de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB) en Esquel, Chubut, para sostener las bandejas han demostrado su eficacia, aunque hay que tomar precauciones por el peso del material. Es importante anclar muy bien las cabeceras y colocar caballetes metálicos entre ellas. En el caso del Paider forestal, las mesadas tienen 22 m de largo x 1,4 m de ancho y se colocan 16 alambres de alta resistencia entre los extremos, que se refuerzan con caballetes cada 1,5 m (Figura 9). Hay que tener en cuenta que en pleno culti-

vo cada mesada soportará el peso de 425 bandejas tipo Hiko SS120 que recién regadas pesan aproximadamente 5 kg cada una, por lo que totalizan unos 2.100 kg. Esta estructura permite evitar las ondulaciones en el nivel de los contenedores y asegura una mayor homogeneidad en el cultivo (Enricci 2004). En caso de usarse mesadas rígidas, hay que asegurarse que los parantes o soportes no obstruyan el paso del aire (Figura 10).



Figura 9. Soporte de alambre para bandejas en el vivero del Paider forestal, UNPSJB, Esquel, Chubut (Foto Enricci 2000).



Figura 10. Mesadas con bordes de madera en la Universidad de Idaho, EEUU (Foto Gonda 1994).

El porcentaje de ocupación de la superficie del invernáculo con bandejas dependerá del ancho de los pasillos, del espacio en las cabeceras y si hay equipos como calefactores o bombas en el interior. En el caso del Paider forestal, de la UNPSJB, utilizando bandejas Hiko SS120 se producen 136.000 plantines en 260 m², en un invernáculo de 400 m², lo que significa un 65% de espacio ocupado. Para un invernáculo comercial este porcentaje es bajo, pero en el ejemplo dado se justifica por los objetivos de investigación y extensión que se complementan con los de producción. Según Landis y otros (1995) lo normal es entre el 69% y 81% pero se conocen casos de más del 90% utilizando mesadas móviles.

MANEJO DE LA TEMPERATURA

Temperaturas altas

Varias son las formas para mantener al invernáculo debajo de las temperaturas máximas admisibles. Los mecanismos de enfriamiento se basan en alguno de los siguientes procedimientos:

- Ventilación por convección del aire. Esto se puede lograr mediante barrido de cumbrera, circulación laterales-techo, media luna basculante, banderolas, etc. tratando de hacer penetrar aire fresco desde abajo y expulsarlo en la parte superior.
- Ventilación forzada por ventiladores.
- Enfriamiento por evaporación de gotas de agua.
- Disminución de la insolación mediante el uso de media-sombras plásticas negras o aluminizadas.

Generalmente en los invernáculos semicontrolables, la temperatura se regula con un sistema de apertura de la cubierta, ya sea mediante apertura cenital y/o laterales enrollables. Si con la renovación del aire no se puedan bajar las temperaturas máximas metabólicas admisibles, de 30 °C para pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) por ejemplo, es necesario aplicar otro método (Landis et al. 1992). Una forma puede ser mediante un sistema de vaporización de agua por niebla que cayendo desde la parte más alta del interior no alcance a mojar los plantines y no altere el programa de fertirriego. Esta condición se logra con control del tamaño de partícula de gota, la que debe evaporarse antes de llegar al nivel del cultivo. En los invernáculos del Paider forestal de la UNPSJB en Esquel, Chubut, el sistema de niebla funciona a través de aspersores "Dan Fogger 7800" que se insertan en un múltiple cruciforme en una red ubicada cerca del techo; cada aspersor produce gotas de 100 micrones de diámetro, trabajando con un caudal de 7.000 l/hr a una presión de 5,5 kg/cm² (Figura 11).



Figura 11. Producción de niebla para bajar la temperatura en el vivero del Paider forestal, UNPSJB, Esquel, Chubut (Foto Enricci 2008).

El uso de malla de media sombra para disminuir la temperatura interior debe ser cuidadoso ya que al bajar la luminosidad disminuye la fotosíntesis. En general se recomienda una porosidad del 40 – 60%. Se coloca sobre la parte exterior del invernáculo, además es importante evitar la erosión por rozamiento que se podría producir sobre el polietileno de la cobertura. Esto se soluciona con una buena sujeción o bien dejando una separación con la cubierta de unos 10 a 15 cm, lo que crea una cámara de aire amortiguadora.

Temperaturas bajas

El sistema de calefacción tiene como objetivo evitar la acumulación de nieve en el techo evitando el aumento de peso sobre la estructura (Figura 13) y aumentar el número de horas en que la temperatura supere el umbral de crecimiento de la especie cultivada; en el caso del pino ponderosa esta temperatura es de 8° C. Los ca-



Figura 13. Efectos de acumulación nival por falta de calefacción (Foto Enricci 2008).

lefactores más usados se basan en quemadores de gas con turbinas de distribución forzada de aire caliente. Si no cuenta con gas de red deberá instalarse un tanque, tipo Zeppelin, con capacidad suficiente para asegurar la provisión de por lo menos un mes. Estos calefactores son de tipo agrícola y se instalan en el exterior de los invernáculos, pero a veces para mayor rendimiento se prefiere hacerlo en el interior. En este último caso hay que prever una adecuada protección del equipo dada la atmósfera húmedo-salina que reina en el interior de los invernáculos. En el Vivero Paider forestal de la UNPSJB en Esquel, cada invernáculo de 1.200 m³ de volumen, posee un calefactor de 50.000 Kcal/hora que ha demostrado, luego de 10 años de experiencia, ser suficiente (Figura 12).



Figura 12. Calefactor interno con distribuidores de aire caliente (Foto Enricci 2008).

En zonas donde sólo algunos días son fríos, se pueden utilizar calefactores portátiles (“Cañón”) a kerosene o gasoil (Figura 14).



Figura 14. Calefactor a aire forzado con funcionamiento a kerosene denominado “Cañón”.

Los contenedores de plástico negro tienden a sufrir calentamiento de sus bordes durante el día y enfriamiento durante la noche. Esto puede solucionarse pintando las caras más expuestas o cubriéndolas con tela blanca (Figura 15).



Figura 15. Tela blanca cubriendo los bordes de los contenedores para evitar calentamiento diurno y enfriamiento nocturno (Foto Enricci 2008).

SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN

La fertirrigación consiste en el aporte de nutrientes a los plantines por medio de una corriente de agua, para lo cual se emplean fertilizantes hidrosolubles que son aplicados al cultivo con un sistema de inyección (Figura 16). Este aporte al torrente hídrico puede inyectarse por medio de pequeñas bombas muy calibradas, o por venturis que se calibran con llaves de precisión y regulación perfecta del caudal (para mayor detalle ver capítulo Riego y Fertirriego). Las soluciones madres se preparan en grandes recipientes, de 200 l por ejemplo, disolviendo muy bien las sales simples o compuestas y observando la tabla de incompatibilidades. Hay que inyectar por separado algunas sales para evitar precipitados; por ejemplo, los sulfatos y las sales de calcio

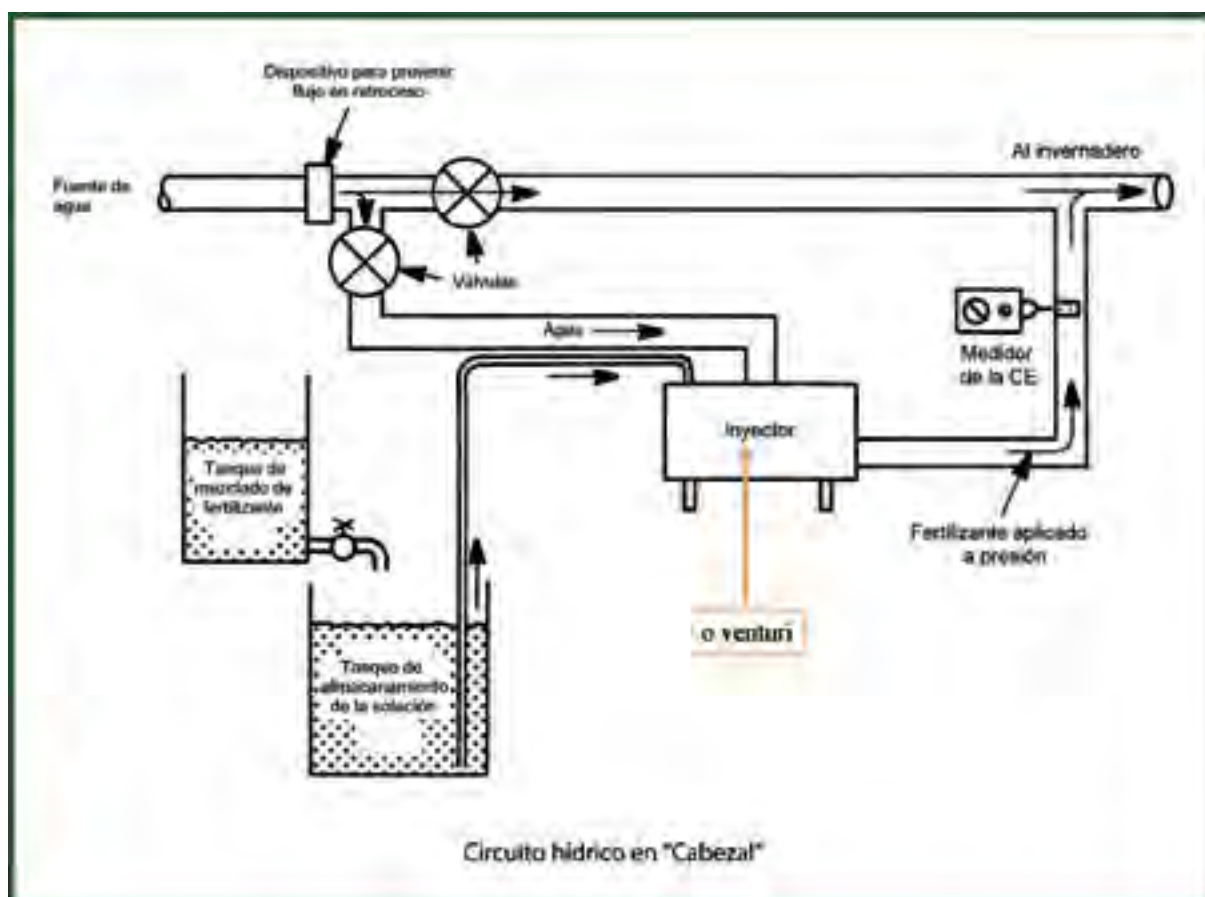


Figura 16. Circuito de inyección por aspiración tipo venturi (Landis et al. 1995).

deben administrarse por separado para evitar los depósitos de sulfato de calcio (yeso). Para llevar a cabo la fertirrigación es necesario contar con una sala de riego (Figura 17), en la cual se ubican:



Figura 17. Sala de distribución de fertirriego con tanques de soluciones madre, bomba, filtros y los dos venturis en el vivero del Paider forestal, UNPSJB, Esquel, Chubut (Foto Enricci 2006).

- La Bomba principal, que provee del caudal de agua.
- El Sistema de Filtros, para evitar que pequeñas partículas obturen los microaspersores.
- Las llaves esclusas, para regular caudal y presión.
- Los recipientes de soluciones madres.
- Los recipientes para los venturis, donde se colocan las cantidades exactas de cada programa de fertirriego.
- Los venturis o inyectores.
- El sistema de salida hacia los invernáculos, que lleva la solución muy diluida hacia los aspersores.

La solución fertirrigante puede ser distribuida por aspersores fijos invertidos o colgantes (Figura 9), que requieren válvula antigoteo, por aspersores fijos tutorados desde abajo (Figura 18) o por aspersores insertos en un barral de avance frontal (Figura 19). Este último sistema de distribución suele ser el más eficiente ya que presenta menor superposición pluviométrica, permite la sectorización, distribuye más eficientemente el riego y requiere un menor número de picos a mantener. En el caso del vivero del Paider forestal, UNPSJB, la barra de avance consta de 14 picos contra 300 picos del sistema fijo de cada nave de 400 m³.



Figura 18. Fertirriego a través de microaspersores fijos en el vivero Hua Hum (Foto Cobelo 2003).



Figura 19. Fertirriego por Avance frontal en el vivero del Paider forestal, UNPSJB (Foto Taccari 2009).

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aldrich, R.A. y J.W. Bartok jr. 1989. Greenhouse engineering. Bulletin NRAES-33. Ithaca, NY: Cornell University, Northeast Regional Agricultural Engineering Service. USA. 203 p.
- Enricci, J.A. 2004. Nuevas tecnologías en la producción de plantines forestales. Escuela Forestal Internacional de Posgrado "Verano Patagonia 2004". Esquel, Chubut. 16 p.
- Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. y J.P. Barnett. 1992. Atmospheric environment, Vol. 3, The container tree nursery manual. Agriculture Handbook 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 145 p.

Landis, T.D., Tinus, R.W., McDonald, S.E. y J.P. Barnett. 1995. Nursery planning, Development and management, Vol. 1, The container tree nursery manual. Agriculture Handbook 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 188 p.