

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA

**MANUAL DE PRODUCCION DE SEMILLA DE PAPA DE CALIDAD USANDO
AEROPONIA***

Victor Otazú

*Traducción de la version en Ingles "Manual on quality seed potato production using aeroponics".
V.Otazu. (CIP. 2009)

CONTENIDO	Página
Introducción	02
Que se sabe y que falta conocerse en aeroponía	04
Factores a tenerse en cuenta antes d empezar con aeroponía ...	05
El invernadero	05
Elementos básicos	05
Manejo del invernaderos y medidas de sanidad	11
Prácticas de asepsia	11
Manejo fitosanitario	12
Manejo del clima interno	12
La fuente del agua	14
Las plantas	15
Manejo de plántulas <i>in Vitro</i>	15
Manejo de brotes de tubérculos	16
Diseño y materials usados en aeroponía	17
Distribución y diseño de los cajones	17
Materials	18
Construcción de los cajones	21
Instalación eléctrica y gasfitería	24
Medidor automático de tiempo y otros componentes	25
Solución nutritiva	25
Fuentes de nutrientes	25
Como calcular la concentración de nutrientes	29
Método alternativas de preparación	30
Conducción del cultivo	31
Cosecha y almacenamiento	33
Literatura citada	34
Apéndice	

INTRODUCCION

La forma convencional de producción de semilla pre básica de papa es multiplicando material limpio de cultivos *in vitro* en el invernadero, usando sustrato esterilizado. Para este fin, el bromuro de metilo ha sido el desinfectante de suelo preferido en la agricultura moderna. Este fumigante es un gas altamente tóxico que elimina eficientemente artrópodos, nematodos, patógenos y malezas del suelo, sin alterar sus características. Por estas razones y por su bajo costo ha sido usado extensivamente en la producción de semilla pre básica de papa. Sin embargo, hace algunos años se descubrió que este producto estaba entre la lista de productos químicos que afectaban significativamente a la capa de ozono de la atmósfera. La comunidad internacional fue alertada y se realizaron reuniones diversas para establecer políticas regulatorias globales, hasta el Protocolo de Montreal (7). Actualmente la producción y uso del bromuro de metilo está prohibido para actividades agrícolas. En el Centro Internacional de la Papa (CIP), otras alternativas fueron evaluadas: calor por vapor, solarización, otros productos como el metham sodium, cloropicrina y otros (4). De estas alternativas, la esterilización con calor por vapor fue indicada como la mas confiable, aunque con un costo significativamente mayor debido al equipo y combustible (10).

La mayoría de productores de papa en países en vías de desarrollo no usan semilla de calidad debido mayormente a su alto costo. La prohibición del bromuro de metilo va a aumentar aún mas el costo de la semilla. Las plántulas *in vitro* multiplicadas en sustrato estéril usualmente solo producen entre 5 a 10 tuberculillos por planta. La producción de semilla sin sustrato es posible usando hidroponía o cultivo en agua (1,3,14,15) o en aeroponía , o cultivo en aire. Usando la técnica de hidroponía se consigue un aumento de mas del 50% en la producción (3). Pero tiene algunas desventajas en comparación a la técnica de la aeroponía: Espacio limitado para el desarrollo de raíces y tubérculos, susceptible a contaminaciones y otros. La aeroponía aprovecha mejor el espacio vertical del invernadero. El desarrollo del sistema radicular y tubérculos se incrementa por el amplio espacio y el ambiente óptimo para su desarrollo (balance de aire y humedad). Como resultado de esto, el desarrollo del follaje también se incrementa. Farran y Mingo-Castel (6), bajo condiciones experimentales, usando aeroponía en fitotrones consigue 13 tuberculillos por planta. Producción comercial en masa de semilla de papa de calidad usando aeroponía ya se realiza en Corea y China. En la estación experimental del CIP-Huancayo (Perú), se obtuvo una producción de mas de 100 tuberculillos/planta usando materiales relativamente sencillos y baratos (11,12,13). Un análisis comparando el sistema convencional de producción y aeroponía muestra claras ventajas económicas cuando se usa el método de aeroponía (9). En las figs 1,2 y 3 se muestra parcialmente como funciona el sistema en un invernadero. Se espera que este manual ayude a difundir esta nueva tecnología para mejorar la calidad de semilla de papa en países en vías de desarrollo.

*Traducido de "Manual on quality seed potato production using aeroponics" V. Otazú
Centro Internacional de la Papa (2008).

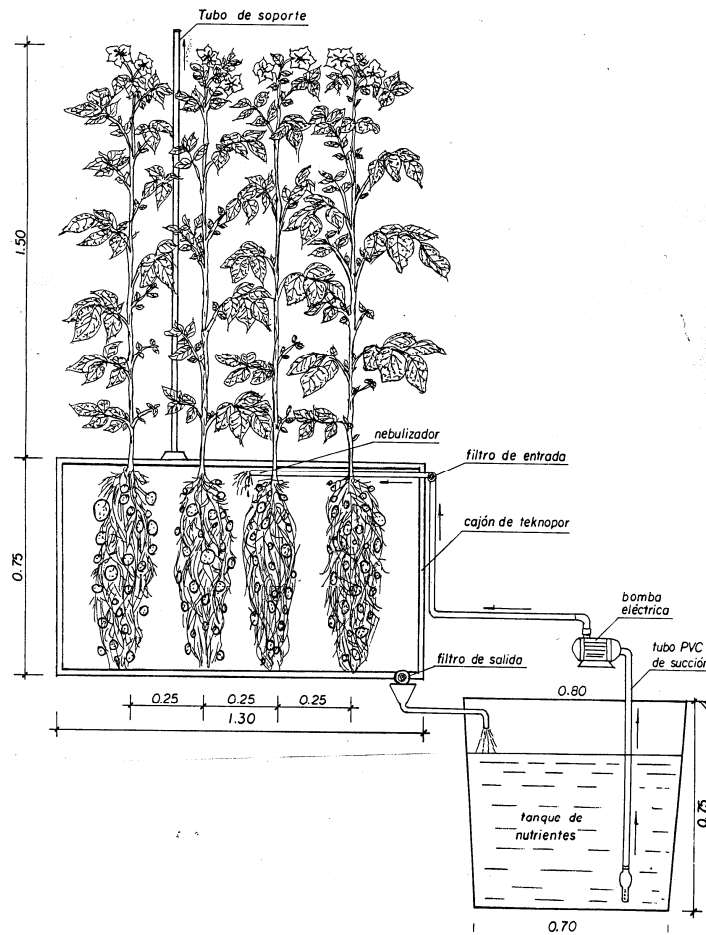


Fig. 1. Representación gráfica de un sistema aeropónico para producción de semilla de papa (13).



Fig. 2. Desarrollo de follaje de cvs de papa peruanos crecidos en aeroponía en la Estación del CIP-Huancayo (11).



Fig. 3. Desarrollo de tuberculillos del cv peruano Canchan INIA en condiciones aeropónicas en el CIP-Huancayo (11).

Que conocemos y que se necesita conocer en aeroponía

La técnica de aeroponía ha sido usada inicialmente para producción de hortalizas(7). Es una tecnología nueva, especialmente para la producción de semilla de papa. Las pruebas iniciales nos proveen con la siguiente información (9,11.12.13):

- La producción de semilla de papa puede ser incrementada dramáticamente en el invernadero.
- Los diferentes cvs de papa responden diferentemente en aeroponía. Los cultivares tipo Tuberosum tienden a producir menos que los cultivares que tienen genes de Andígena. Esto también se observa cuando desarrollan en sustrato.
- El factor clima es particularmente importante en aeroponía.
- Las cosechas son múltiples y secuenciales.
- El periodo de crecimiento de las plantas se alarga en 1 a 2 meses.
- La semilla proveniente de aeroponía produce igual que la semilla convencional.
- La inversión inicial puede recuperarse rápidamente.
- Con aeroponía se puede aumentar significativamente el ingreso o reducir los costos de producción de la semilla de calidad de papa.
- La inoculación con bacterias parece ser una técnica promisoría en el incremento de tuberculillos por planta. Esto está en plena investigación en el CIP.

La optimización de producción de semilla de papa por aeroponía es posible. Los siguientes factores necesitan ser estudiados para este fin:

- La respuesta de nuevos cvs necesita ser probado. Condiciones artificiales como luz adicional se puede implementar fácilmente en invernaderos para cultivares que usualmente crecen en otras latitudes.

- Diferentes cultivares pueden requerir diferentes concentraciones óptimas de solución nutritiva.
- Nutrientes disponibles en cada localidad necesitan ser previamente probados. Mezclas desconocidas o no probadas pueden causar fitotoxicidad.
- Distanciamiento óptimo entre plantas requiere ser determinado. Cultivares Andígena probablemente requiera de mayor espaciamiento que los cultivares tipo Tuberosum.
- Plántulas *in vitro* rinden bien en aeroponía. Otro tipo de material vegetativo como esquejes y brotes de tubérculos necesitan ser probados y comparados.
- La mejor época de producción necesita ser determinada para cada lugar, de acuerdo al clima prevalente y programación del cultivo en el campo.
- Los métodos convencionales de control de plagas y enfermedades no siempre son aplicables en aeroponía. Se requiere desarrollar nuevos métodos para este fin.

FACTORES A CONSIDERAR ANTES DE EMPEZAR CON AEROPONIA

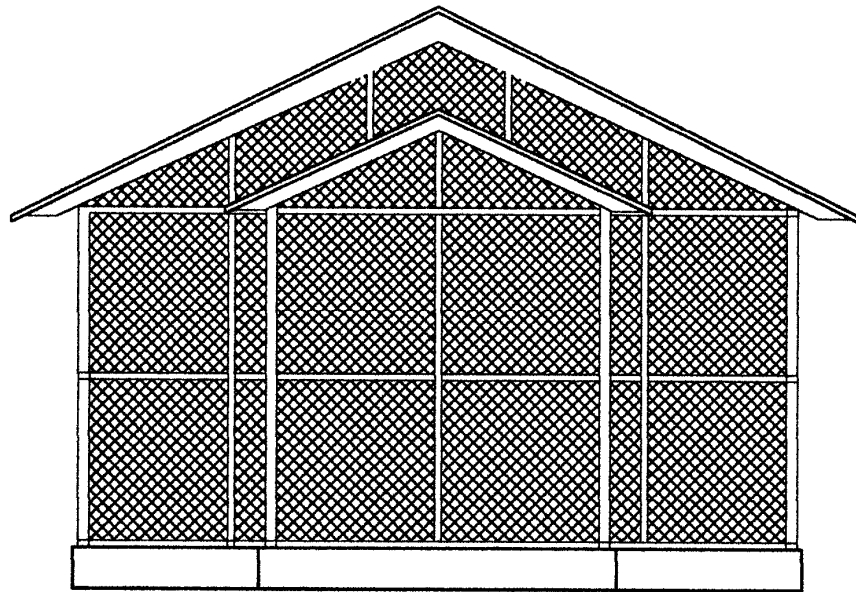
El invernadero

Elementos básicos .-

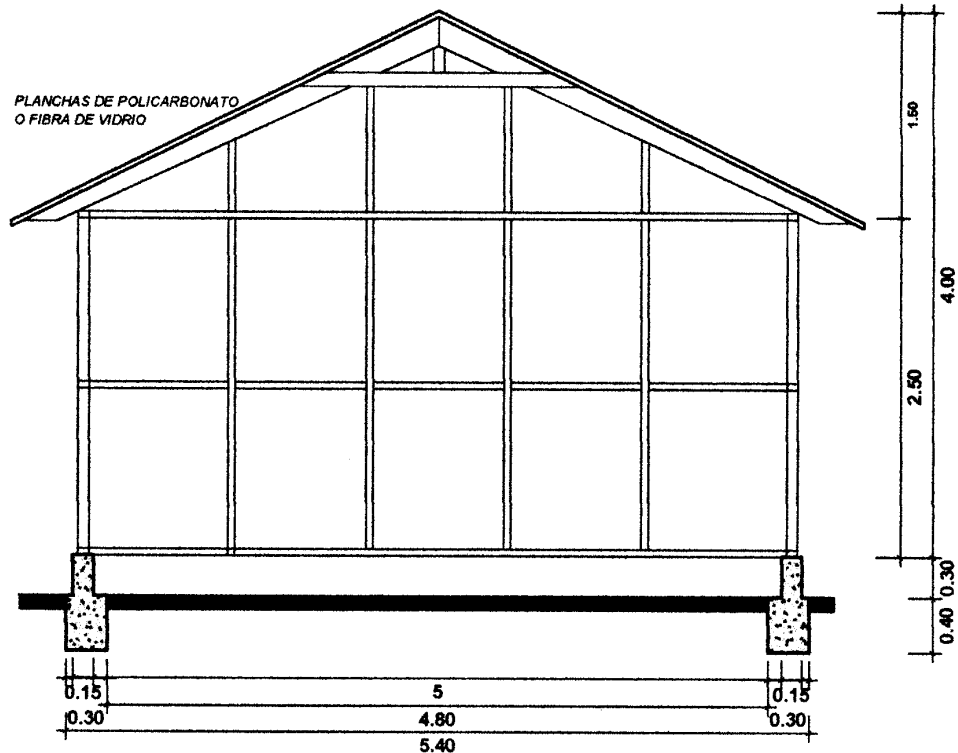
La infraestructura convencional de invernaderos para producción de semilla de papa es usualmente muy baja. En aeroponía necesitamos explotar el espacio vertical del invernadero. Tanto el follaje como el sistema radicular en aeroponía desarrollan mucho más que en sustrato convencional. Además el factor climático limitante dentro del invernadero usualmente es el calor. Así, invernaderos con techos bajos son más calientes que invernaderos con techos altos. La orientación del invernadero es también importante para evitar el calor durante el día. Normalmente invernaderos con orientación Este-Oeste son más frescos que los que tienen orientación Norte-Sur (11). Invernaderos sin techo (solo con malla) probaron ser inadecuados para aeroponía. Si solo existe malla antiáfida como techo, en esta se puede acumular polvo con esporas de patógenos que con la lluvia se puede lavar hacia los cajones, contaminando eventualmente a las plantas. El terreno asignado para la construcción del invernadero debe ser adecuadamente nivelado y no debe ser rodeado de árboles y otros cultivos especialmente solanáceos. El ambiente debe estar provisto de servicios de agua y electricidad.

Los materiales para la construcción de invernaderos pueden encontrarse en la mayoría de lugares. Madera, cemento, malla antiáfida y material de techo son mayormente usados. De estos, el material de techo es el más crítico en términos de costo y duración. El plástico es más barato y puede durar hasta 3 años, dependiendo de su calidad. Para un invernadero de 15 x 5 m el techo de plástico puede costar entre \$ 100 a \$ 200. El techo de policarbonato o fibra de vidrio dura más (10 a 15 años), pero su costo es significativamente mayor. El mismo invernadero necesitaría una inversión de \$ 1,500 a \$ 2,000 con el techo de este material. Si se escoge la opción del plástico, la infraestructura de madera donde va anclado el techo no debe tener superficies filudas que con la acción de vientos fuertes produzcan su ruptura. La malla antiáfida usualmente dura alrededor de 10 años. El techo necesita ser recubierto por una malla sombreadora para bajar el calor solar dentro del invernadero. En el mercado hay varios tipos de mallas sombreadoras con diferentes porcentajes de transmisión luminosa. Tanto las puertas como el techo requieren estar adecuadamente sellados para evitar la entrada de insectos. Para fijar el techo y las mallas resulta muy útil contar con una pistola

engrapadora de madera. Los siguientes diagramas y figuras deben ser de utilidad para construir un invernadero con fines de producción de semilla de papa (5).



ELEVACION PRINCIPAL
ESC:1/50



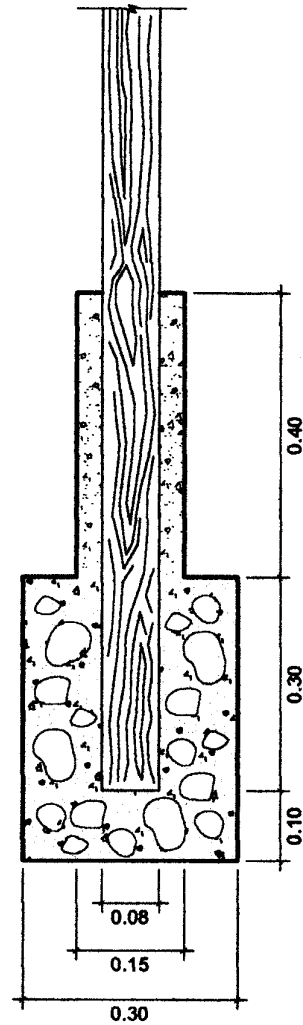
CORTE TRANSVERSAL
ESC:1/50

Fig. 4. Vista frontal y corte transversal de un invernadero regular con malla lateral y techo de fibra de vidrio o policarbonato (5).

COLUMNA TIPICA DE MADERA
CADA 3 MTS (4"x4")

SOBRECIMIENTO
CONCRETO 1:8 + 15% P.M

CIMIENTO
CONCRETO 1:10 + 25% P.M



DETALLE DE CIMIENTO Y SOBRECIMIENTO
ESC: 1/10

Fig. 5. Detalle del anclaje de una típica columna de madera de 4"x4". Nótese el detalle del cimiento que queda al nivel del piso y del sobre cimiento por encima del mismo (5).

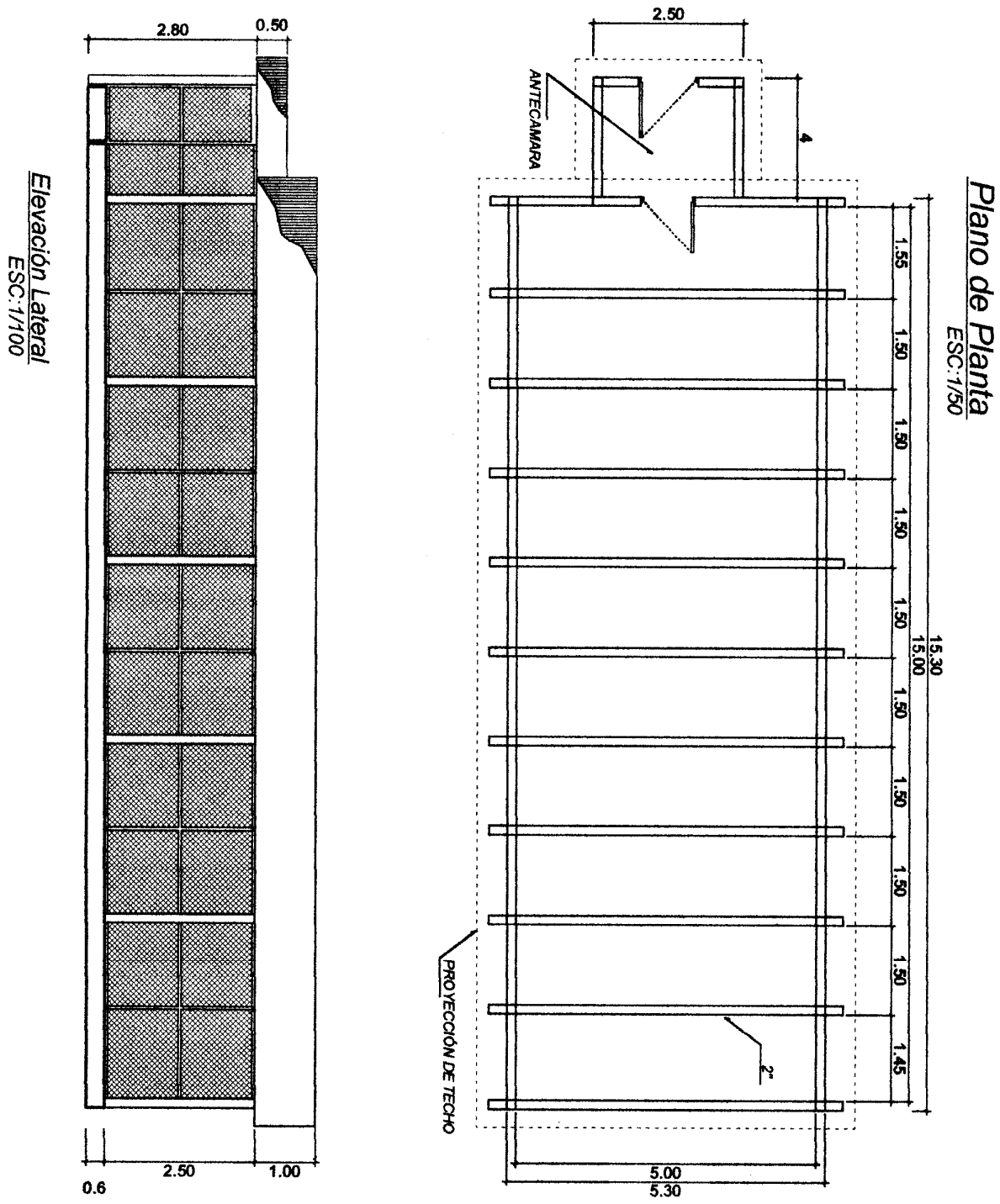


Fig. 6. Elevación lateral y plano frontal de un invernadero de 15 x 5 m. incluyendo su ante cámara (5).



Fig. 7. Distribución de las columnas de madera ancladas en el cemento en un invernadero de 15 x 5 m.



Fig. 8. El mismo invernadero con sobre cemento y techo de policarbonato.



Fig. 9. Invernadero terminado, con techo de plástico y ante cámara

Manejo del invernadero

Prácticas de asepsia

La producción convencional de semilla de papa en invernaderos requiere de estrictas medidas de sanidad para evitar contaminaciones. En aeroponía, estas medidas deben ser aún de estándares más estrictos. Asumiendo que todo el invernadero está adecuadamente sellado, ningún tipo de insecto debe ser permitido al interior. El encargado del invernadero debe ser adecuadamente entrenado. La ante cámara es un componente importante del invernadero. Se deben evitar entradas y salidas innecesarias. Los visitantes en lo posible deben permanecer afuera. El operador no debe haber visitado un campo de cultivo antes de ingresar al invernadero. Al entrar a un invernadero sólo la puerta de la ante cámara se debe abrir. Nunca abrir ambas puertas al mismo tiempo. La ante cámara debe tener un lavatorio con agua y los siguientes materiales: 2 a 3 mandiles limpios, jabón sólido o líquido, una botella plástica conteniendo hipoclorito de sodio (calcio) al 2 %, papel toalla. Además, a la entrada se debe poner una bandeja con cal viva en polvo o polvo de azufre. Poniendo los zapatos en esta bandeja evita el ingreso de ácaros y esporas de patógenos del suelo al interior del invernadero. Un trapo empapado en una solución de sulfato de cobre o amonio cuaternario (cloruro de benzalkonio y otros sinónimos) cumple similar función. Si no se van a tocar las plantas se deben lavar las manos con jabón y agua. Si se van a manipular plantas, además del jabón, el desinfectante también debe ser usado. Si se van a manipular plantas por un periodo prolongado, es mejor usar guantes descartables. El desinfectante debe ser usado después de manipular una planta y antes de empezar con la siguiente. El operador debe usar siempre el mandil, el que debe estar colgado en la ante cámara y nunca debe salir fuera del invernadero. Este procedimiento disminuye las posibilidades de entrada de insectos que se puedan impregnar en nuestra ropa. El siguiente letrero debe colgarse a la entrada del invernadero:

REGLAS DE ASEPSIA

Nunca abrir ambas puertas al mismo tiempo

Pise en la bandeja desinfectante antes de entrar

Si no va a tocar las plantas lávese las manos con jabón.

Si va a tocar las plantas use el desinfectante antes

Use siempre un mandil en el interior

No se permite bebidas ni comidas.

El hipoclorito de sodio se vende usualmente en tiendas como blanqueador en concentraciones que varían de 3 a 5%. Una solución de 0.1% es suficiente para desinfección superficial de la semilla. Esto usualmente elimina a la mayoría de bacterias. El hipoclorito de calcio viene como polvo blanco que puede ser disuelto en agua. Ambos productos son usados para el tratamiento del agua potable. Ambos compuestos son descompuestos por acción de la luz solar, de modo que si se usan botellas de plástico, estas deben ser recubiertas con papel aluminio para evitar el ingreso de luz. Para eliminar virus se necesita una solución del 2% de hipoclorito de calcio. Especialmente si vamos a cortar esquejes, necesitamos flamear los cuchillos o sumergirlos en una solución de hipoclorito con jabón. El alcohol absoluto diluido al 70% es también eficiente para la desinfección de manos.

Manejo fitosanitario

La colocación de trampas amarillas en 2 o 3 puntos del invernadero no solo ayuda a controlar insectos, sino es útil para detectar su presencia. Las trampas que tienen insectos muy a menudo, significa que debe haber entradas mal selladas en algún punto del invernadero, o que el operador está siendo descuidado. La malla antiáfida es a prueba de insectos, pero no a prueba de esporas de patógenos. Esporas de *Phytophthora*, *Oidium* y otros patógenos pueden atravesar la malla al interior del invernadero y si encuentran condiciones climáticas favorables desarrollarán la enfermedad. En este caso se deben usar fungicidas probados. Se recomienda usar el 50% de dosis recomendada para plantas aerónicas. Se recomienda también usar normas de uso seguro de plaguicidas. Cuando se emplea pesticidas, siempre se debe usar equipo de protección. Se debe contar con una escalera portátil para manejar plantas aerónicas.

Manejo del clima interno

Se debe contar con un termómetro de máxima y mínima dentro del invernadero. El operador debe registrar temperaturas diarias: máximas, normales y mínimas. Temperaturas nocturnas mínimas por debajo de 4°C son muy bajas para aeronía. Así mismo, temperaturas máximas (diurnas) por encima de 30°C son muy calientes. Cuando empieza la tuberización es deseable que las temperaturas máximas nocturnas estén en el rango de 10-15°C y las temperaturas diurnas estén alrededor de 20°C. Las mallas sombreadoras ayudan mucho a reducir las temperaturas diurnas (Figs. 10,11,12). Cuando las temperaturas se elevan demasiado, ayuda colocar bolsas de plástico con hielo en el interior del tanque que contiene la solución nutritiva. También se pueden usar radiadores de enfriamiento, pero esto eleva los costos de producción.



Fig. 10. Malla sombreadora (50%) cubriendo el techo de plástico. Además de dar sombra, la malla también protege al techo de vientos fuertes.

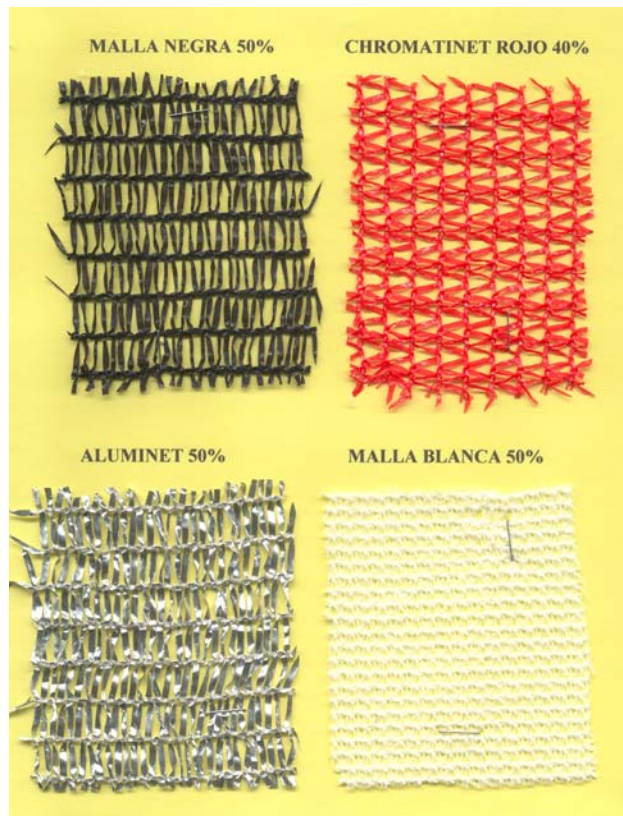


Fig. 11. Diferentes tipos de mallas sombreadoras (11).



Fig.12. Invernadero con diferente tipo de instalación de malla sombreadora. Esta instalación permite sombrear solo cuando hay excesivo calor.

La fuente de agua

Este es otro factor importante a observar. Usualmente el agua potable se trata con cloro. Tanto el cloro como el sodio son elementos que incrementan significativamente la conductividad eléctrica del agua. Cuando el agua potable se usa para regar plantas en sustratos normales, el cloro es mayormente inofensivo porque se combina con compuestos orgánicos para formar cloruros, los que no son nocivos para las plantas. En hidroponía y aeroponía el cloro está directamente disponible para las plantas y puede ser dañino si está presente en concentraciones mayores a 2 ppm. El síntoma común es el quemado de las puntas de raicillas. El indicador que mide la cantidad de sales en el agua es la conductividad eléctrica (CE). A mayor contenido de sales, es mayor la CE y viceversa. La CE es expresada en miliSiemens por centímetro (mS/cm), deciSiemens por metro (dS/m) o milimhos por centímetro (mmhos/cm). El agua a ser usada en aeroponía debe tener una baja CE que no exceda a 1 mS/cm. El pH del agua es otro indicador útil. Fuentes de agua con un pH mayor a 8 son cuestionables para uso en aeroponía. Es muy útil tener un análisis del agua aunque las medidas de CE y pH caigan dentro de niveles aceptables.

El otro problema que podemos tener con la fuente de agua es la contaminación biológica. Fuentes de agua de pozos profundos no están usualmente contaminadas. Aguas de pozos superficiales, especialmente ubicados cerca de centros urbanos probablemente estén contaminados con bacterias coliformes incluyendo a *Erwinia (Pectobacterium)*. Aguas cuya fuente es sospechosa deben pasar por un análisis microbiológico. Hay filtros especiales para minimizar estos riesgos. Si es posible, el agua debe ser filtrada antes de ir al tanque de nutrientes. Hervir el agua es otra alternativa si no existiera otra.

Las plantas

Plantas en óptimo estado deben ser usadas para aeroponía. Por razones sanitarias se prefiere el uso de plántulas *in vitro*. Sin embargo estas requieren ser manejadas por personal con experiencia. Estas plantas deben tener la edad y tamaño adecuados antes de ir a un periodo de aclimatación y antes de su ingreso al invernadero. A veces por bajar costos se producen plántulas muy apretadas con poco espaciamiento para su desarrollo en condiciones *in vitro*. Estas plántulas tomarán mas tiempo para desarrollar un buen sistema radicular en arena. Plántulas muy viejas y amarillentas no son adecuadas para aeroponía. Otro tipo de material como brotes de tubérculos y esquejes deben estar limpios y libres de enfermedades. La presencia de cualquier síntoma debe ser motivo suficiente para eliminar todo el lote de plantas. Esto puede ser visible especialmente al momento de transplantar de las bandejas de arena a los cajones. El tejido radicular y tallo subterráneo deben estar completamente limpios y libres de arena. Antes de ponerlas en aeroponía, las plantas deben ser mantenidas en un invernadero limpio con fines de climatización.

Manejo de plántulas *in vitro*

Cuando nos llega plántulas *in vitro* en tubos o magentas, estas deben ser colocadas inmediatamente bajo luz. Durante el transporte, estas son empacadas de modo que no están expuestas a la luz por varios días. El ambiente del laboratorio es diferente al ambiente del invernadero, por lo tanto las plantas deben ser climatizadas por 2-3 días

antes de ponerlas en bandejas de arena. También pueden ser transplantadas directamente a los cajones aeropónicos. Sin embargo en nuestra experiencia notamos que considerable número de plántulas mueren al no tener suficiente tejido radicular que absorba el agua y nutrientes. La otra ventaja de hacerlas enraizar en arena previamente es que para el trasplante, se pueden seleccionar solo las plantas uniformemente desarrolladas, descartándose las más débiles. La arena debe provenir de una fuente no contaminada. La arena proveniente de ríos está usualmente contaminada con residuos químicos. Plantas provenientes de semilla sexual de papa son buenas indicadores de contaminación (11). Previamente se deben hacer pruebas con arenas de diferentes fuentes para identificar la fuente más confiable. La arena debe ser lavada varias veces con agua de caño antes de su esterilización. Si no se tiene equipo de esterilización, después de lavada la arena puede ser hervida con agua o lavada de nuevo con agua hirviendo varias veces. La mayoría de patógenos son eliminados con calor después de ½ hora a 70 °C. Sustratos esterilizados a temperaturas mayores pueden liberar Mn tóxico para las plantas (10). Con arena no se presenta este problema. Luego de su esterilización, la arena se pone en bandejas en capas de 5 a 7 cm. La arena debe tener suficiente humedad para hacer agujeros a intervalos regulares (usualmente 40 por bandeja). Por lo menos un día antes del trasplante las plantas deben ser expuestas a la humedad relativa del invernadero. En esta etapa se debe evitar la exposición directa a la luz solar. Durante los primeros 3 días las plantas deben ser regadas con la solución nutritiva diluida 1:1 con agua. Después, se debe usar la solución nutritiva normal. Dependiendo del clima interno del invernadero, el riego debe hacerse solo cuando sea necesario, pues no debemos exponer a las plantas a un estrés innecesario. Mucho o poco riego debe ser evitado. La exposición directa a la luz solar debe ser evitada durante los primeros días después del trasplante. Después de 15 a 20 días las plantas deben haber formado suficiente sistema radicular como para ponerlas en los cajones aeropónicos. La siguiente figura muestra plantas en arena justo antes del trasplante a cajones (fig. 13). Las jabs de plástico pueden servir después para almacenar los tuberculillos cosechados.



Fig. 13. Plántulas *in vitro* enraizadas en arena estéril(11)

Manejo de brotes de tubérculos

Tuberculillos pre básicos (que nunca fueron expuestos a condiciones de campo) con brotes vigorosos deben ser plantados a intervalos regulares en bandejas de arena en forma similar al caso de plántulas *in vitro*. Se debe preferir tuberculillos provenientes de

cultivo aeropónico. El riego de estas plantas se debe hacer solo con agua, pues las plantas emergentes dependerán mayormente del tubérculo semilla para su alimentación. Dependiendo del cultivar y las condiciones climáticas, después de 2 a 3 semanas las plántulas deben haber formado tallos pequeños y suficiente sistema radicular para su trasplante en aeroponía. Dependiendo del grado de dominancia apical de la semilla, usualmente se obtiene más de 1 tallo por semilla. El tubérculo semilla restante se elimina. Si en la bandeja hubiera algún tubérculo semilla con síntomas de podredumbre blanda u otra enfermedad, todas las plantas en la bandeja deben ser eliminadas.

Manejo de esquejes

Si contamos con plantas madres limpias, después de 2 a 3 semanas de plantadas, debemos proceder a cortar las puntas apicales de cada planta para inducir la formación de más ramas laterales. Cuchillos o bisturís estériles se deben usar antes de cada corte. Se deben obtener esquejes de ramas jóvenes para colocarlas en bandejas con arena en forma similar a lo explicado anteriormente. Sumergiendo la punta de los esquejes previamente en una solución de hormona o polvo hormonal justo antes de ser colocados en arena facilitará el proceso de enraizamiento. No deben usarse esquejes muy viejos. El riego durante la primera semana se hará solo con agua, hasta que se forme algo de tejido radicular. Después, el riego debe hacerse del mismo modo que en el caso de las plántulas *in vitro*. Cuando los esquejes tengan suficiente sistema radicular, transplantarlas en los cajones aeropónicos. Esquejes viejos solo formarán raíces y no deben ser usados para aeroponía. Observar siempre condiciones asépticas para evitar contaminaciones.

DISEÑO Y MATERIALES USADOS EN AEROPONIA

Distribución de cajones y diseño.-

Si ya se cuenta con un invernadero adecuado, la distribución de cajones debe hacerse de modo que se haga uso eficiente del espacio, pero también que brinde comodidad para el operador. En la fig 14 se muestra la distribución de cajones para un invernadero de 16 x 5 m. En la fig. 15 se muestra otro tipo de distribución para un invernadero de 18 x 9 m. La primera distribución es más eficiente en términos de espacio efectivo de invernadero, en tanto que la segunda distribución será más cómoda al operador. La distribución de plantas en los cajones también es importante. Esto tiene mucho que ver con los cultivos a multiplicar. Los cultivos con genes Andigena desarrollan más y requieren de mayor espacio. Los cultivos con genes Tuberosum desarrollan menos follaje y requieren menos espacio. En las figs. 16 y 17 se muestran 2 tipos de distribución de plantas. La disponibilidad de materiales también debe considerarse. Por ejemplo la electro bomba que tenemos puede no tener la potencia para alimentar cajones muy largos o numerosos. En ese caso las plantas ubicadas al final no recibirán la suficiente cantidad de agua o nutrientes, pues los últimos nebulizadores no tendrán la presión necesaria.

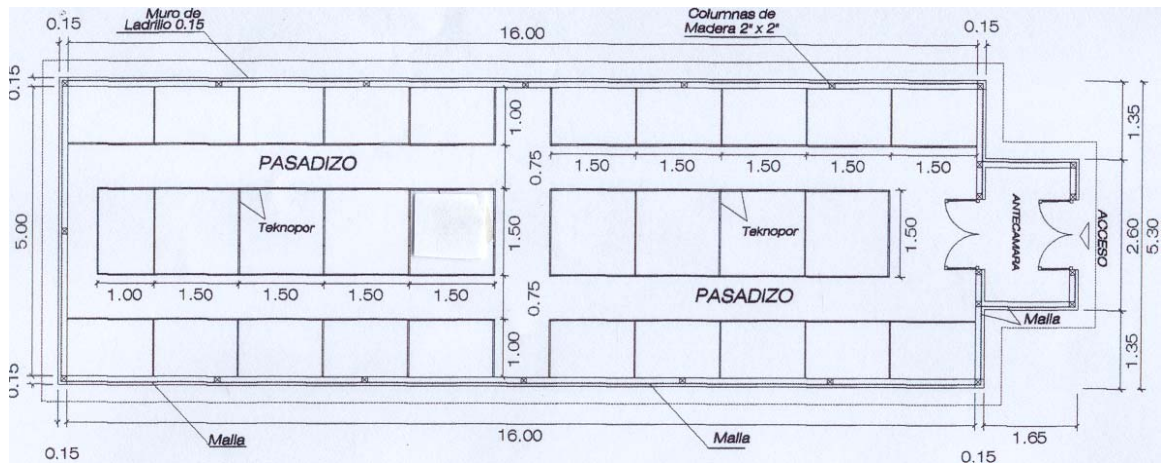


Fig. 14. Distribución de cajones de aeroponía para un invernadero de 16 x 5 m (11)

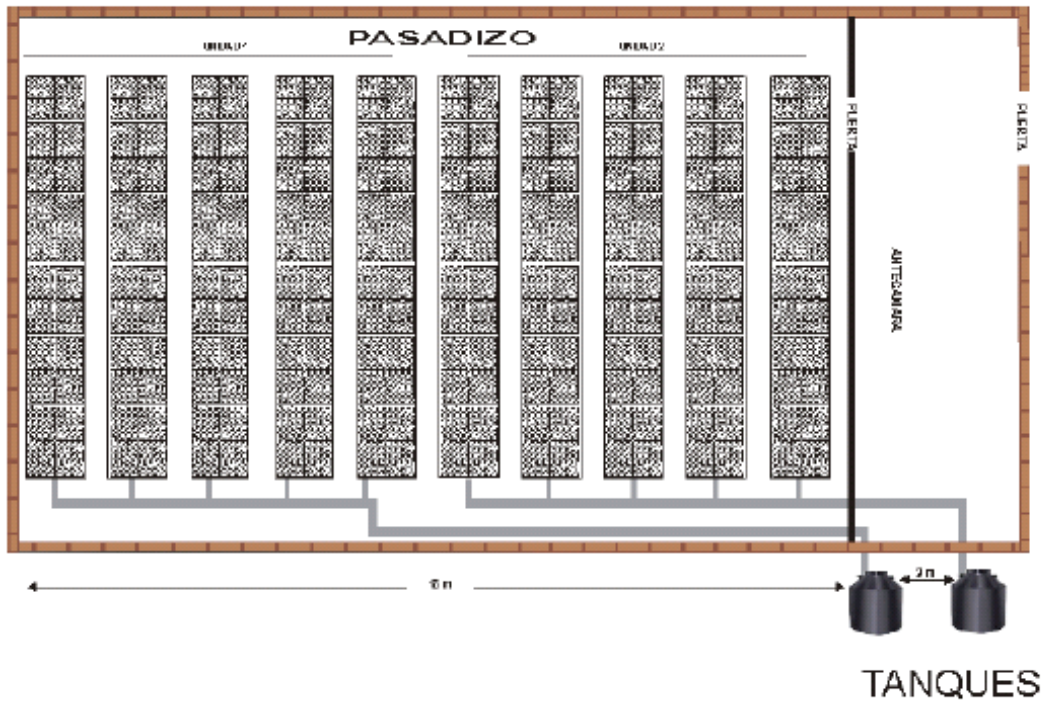


Fig. 15. Una distribución diferente de cajones en un invernadero de 18 x 9m. GTIL. Nairobi.

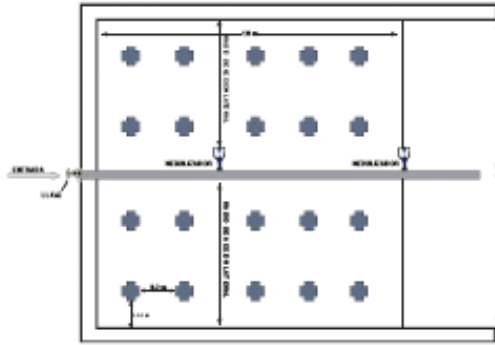


Fig. 16. Un modelo de distribución de plantas en un cajón de 1 m (1.2 m) de ancho. El tubo alimentador debe estar en el centro.

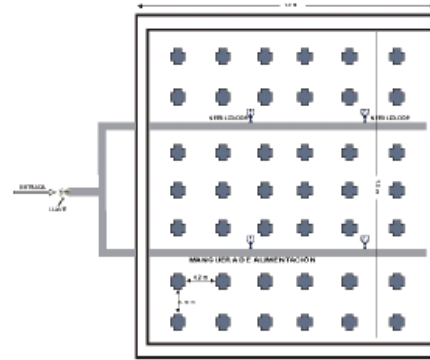


Fig. 17. Otro modelo de distribución de plantas en un cajón de 1.5 m de ancho con 2 tubos alimentadores. Con este modelo se consigue mejor eficiencia en espacio, pero menos comodidad para el operador.

Materiales.-

Para la construcción de cajones podemos considerar varias opciones de acuerdo a la disponibilidad de materiales y su costo. El armazón de la estructura puede hacerse de madera o metal. La armazón de metal es siempre mas costosa, aunque mas duradera. En las figs. 18 y 19 se muestran ejemplos de estas estructuras. Para rellenar la armazón debemos usar un material que además de tener propiedades aislantes también le de soporte mecánico a la estructura. El tecknopor es lo mejor, pero también puede usarse planchas de cartón o aserrín prensado. Todo este material de relleno necesita ser recubierto con plástico. En el cuadro 1 se listan otros materiales usados en la construcción de un modulo de aeroponía.



Fig. 18. Estructuras de cajones de madera para aeroponía. Fundo Aliaga, Hualahoyo-Huancayo-Perú



Fig. 19. Estructura metálica de un cajón aeropónico. GTIL. Nairobi-Kenya

Cuadro 1. Materiales y equipo necesario para un módulo de aeroponía en un invernadero de 16 x 5 m.

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO DE REFERENCIA/UNI EN PERU. US \$
Tanque y materiales de gasfitería			
Tanque de plástico (500-600 lt)	Ea	2	90
Niples galvanizados (o de PVC) 1"	Ea	4	1
Unión tipo codo (pvc) 1"	Ea	6	1
Unión tipo codo (pvc) ¾"	Ea	10	1
Unión tipo codo (pvc) 2"	Ea	4	1.5
Unión universal (pvc) 1"	Ea	4	2
Unión tipo T pvc 1"	Ea	2	1
Unión tipo T pvc 3/4"	Ea	6	1
Adaptador pvc,slipxmale thread	Ea	16	1
Tubo pvc doble de 3m , 1"	Ea	1	7
Tubo pvc doble de 3m , 3/4"	Ea	1	6
Unión de reducción, pvc,slip, 1"to 3/4"	Ea	4	1
Tubo de desague pvc,de 3m ,2"	Ea	1	5
Llave de paso, pvc 3/4x16mm	Ea	8	1.55
Tubo negro de polietileno 16mm(5/8")	M	70	0.18
Cinta teflón	Ea	8	1.5
Shut off valve, ball type (metal) 1"	Ea	2	4.5
Shut off valve, ball type (metal) 1"	Ea	10	4.5
Válvula check 1"	Ea	2	3
Spin clean filter 1"	Ea	2	24.45
Nebulizadores Naandan	Ea	93	2.44
Cajones			
Madera para la armazón y piso , 2"x2"x10'	Ea	280	3.1
Madera para las tapas 2"x3/8"x10	Ea	30	2.8
Planchas de tecnopor de 2"(grosor), 2.40x1.20m	Ea	61	8.5
Plástico negro de, 3m de ancho	M	100	1.5
Plástico transparente, de , 3m de ancho	M	50	1.5
Cinta Vinil duct	Ea	3	6.1
Cinta adhesiva gruesa	Ea	5	2
Pegamento silicona	Chisquete	10	3.36
Clavos, 3"	Kg.	10	1.5
Clavos, 4"	Kg.	4	1.5
Equipo y material eléctrico			
Electro bomba de 0.5 HP(con hidroneumático)	Ea	2	370
Generador eléctrico (para cortes de energía)	Ea	1	500
Programador de tiempo (timer),	Ea	2	50
Cable eléctrico, No 12	M	50	35
Llave electromagnetica	Ea	1	72
Interruptor electrico de cuchillo	Ea	2	20
Medidor de pH	Ea	1	180
Medidor de CE	Ea	1	180
Nutrientes			
Nitrato de potasio	Kg.	2	1.2
Nitrato de amonio	Kg.	2	1.1
Superfosfato triple de Ca	Kg.	2	1.2

Sulfato de magnesio	Kg.	1	1.0
Micronutrientes(Fetrilon combi)	Kg.	1	10
Acido sulfúrico o fosforico	lt	0.5	10

Construcción de los cajones.-

La altura de los cajones debe ser de 80 cm a 1 m. Los cajones pueden ser de 1 m (o de 1.20 m) de ancho (fig. 16) o de 1.5 m.(fig.17). Los cajones deben tener ventanas laterales cada otro metro para facilitar la labor de cosechas secuenciales al operador. Un carpintero debe poder construir estas estructuras (figs 18,19,20). Cuando el sistema está en operación, el líquido sobrante de la nebulización debe regresar al tanque por gravedad. Para esto, los cajones deben tener una pendiente. Para cajones de 7 m de largo funciona bien un desnivel de 30 cm (4%). Las tapas de tecnopor deben tener agujeros de ½” para sujetar a las plantas (fig. 21). Esto debe hacerse de acuerdo a la distancia requerida. Para los cajones angostos, 4 filas de agujeros distanciados a 25 cm fue adecuado para la mayoría de cvs. (20 plantas/m²). Los agujeros deben ser recubiertos internamente con plástico o con trozos de tubos de pvc. (fig. 21).



Fig. 20. Cajón de madera mostrando ventanas laterales



Fig. 21. Una tapa de cajón recubierta con plástico mostrando agujeros recubiertos con trozos de tubos de pvc.



Fig. 22. Cajones aeropónicos instalados en un modulo comercial en Hualahoyo, Fundo Aliaga. Huancayo-Perú.

El interior de los cajones requieren ser recubiertos totalmente con plástico negro (fig 23) para evitar la entrada de luz al sistema radicular de las plantas. El piso y la parte lateral debe estar recubierto con un plástico negro grueso para evitar goteras o filtraciones. Para colocar este plástico resulta util contar con un soldador de plástico (fig. 24). La parte externa de las tapas deben recubrirse con un plástico blanco o de preferencia transparente para evitar concentración de calor y dar mas luminosidad a las plantas. La parte interna de las tapas debe ser recubierta con plástico negro (fig 25). El mismo plástico negro delgado debe ser usado para las cortinas dobles laterales de las ventanas. La cortina interna evita la salida de la solución nebulizada y la externa evita la entrada de luz a los cajones. Por la parte central superior de los cajones laterales debe ir la manguera negra de 16 mm con los nebulizadores cada 60 a 65 cm. Los cajones angostos, de 1.20 m o menos de ancho llevan una manguera central. Los cajones mas anchos requieren de 2 mangueras centrales. Las tapas de los cajones deben coincidir exactamente sobre el resto de la estructura. Las piezas transversales deben sujetar a la manguera. Estas piezas estarán expuestas a la solución nutritiva, por lo que es conveniente que sean de aluminio por no ser corrosibles. Sin embargo este material puede ser costoso y puede ser reemplazado con madera o metal mas barato siempre y cuando esté adecuadamente protegido con plástico o pintura.



Fig. 23. Un cajón recubierto con plástico negro



Fig. 24. Soldador de plástico muy útil para recubrir los cajones

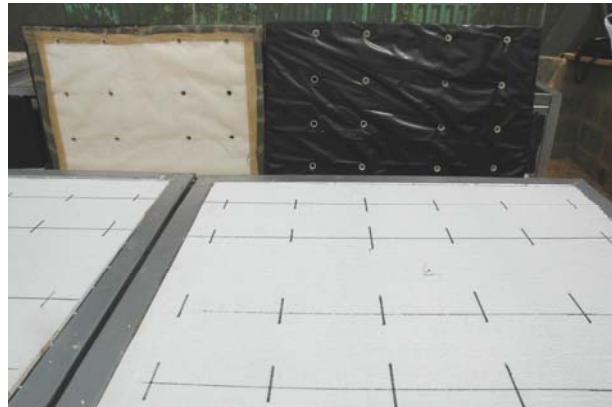


Fig. 25 Tapas de un cajón mostrando el recubrimiento interno (derecha) y el externo (izquierda). Abajo, las tapas antes de ser perforadas y recubiertas

Instalación eléctrica y de gasfitería

La conexión de electricidad debe ser independiente para el módulo. Una fuente alterna de electricidad debe estar disponible todo el tiempo para emergencias en casos de cortes de energía eléctrica. El módulo con plantas no debe estar sin energía eléctrica por más de una hora, especialmente en horas de calor. Tubos, uniones y niples de PVC se pueden encontrar en cualquier ferretería. En esta etapa el apoyo de un técnico electricista y de un gasfitero calificado es de suma importancia. Cualquier gotera en los cajones o tubos de acceso debe ser reparada inmediatamente. Se pueden considerar 1 o 2 electro bombas por modulo. Es conveniente tener 2 bombas para poder operar mejor. El tamaño de las bombas también depende del tamaño de los cajones. Para un modulo pequeño en un invernadero de 16 x 5 m, es suficiente contar con 2 bombas de 0.5 HP. Para módulos mas grandes se requerirán bombas de mayor potencia. Cada bomba debe estar conectada a un tanque donde estará la solución nutritiva. La capacidad de los tanques dependerá del tamaño de los cajones. Tanques de 500 a 1000 l son adecuados, a no ser que se tengan cajones mas grandes. La ubicación de bombas y tanques debe ser

en la parte externa del invernadero. La parte superior de los tanques debe estar por debajo del nivel mas bajo de los cajones para que la solución nutritiva sobrante de los nebulizadores regrese por gravedad a los tanques. Es útil tener 2 llaves de bola externas. Una de ellas cierra la entrada de nutrientes a los cajones. La otra se usa cuando se requiere renovar la solución nutritiva. Cerrando la primera y abriendo la segunda se logra desalojar la solución no deseada del tanque. Esta llave también sirve para “cebar” la bomba antes de prenderla. La salida de desagüe debe estar en la parte mas baja de los cajones. La instalación del tanque, bomba y gasfitería puede observarse en las siguientes figuras (figs. 26, 27, 28, 29).



Fig. 26. Instalación externa del tanque y bomba. Nótase el filtro entre las 2 llaves de color celeste.



Fig.27.Detalle del sumidero de desagüe



Fig.28. Tubos alimentadores con llaves independientes para cajones angostos



Fig. 29. Tubos alimentadores para cajones anchos

Programador de tiempo y otros componentes.

Existen programadores de tiempo (timers) que pueden ser calibrados cada 10 segundos. Además de ser costosos, estos no siempre se encuentran en el mercado local. En el CIP-Huancayo se han usado programadores que pueden ser calibrados para que funcionen cada 15 min. Farran y Castell (6) usaron timers calibrados de modo que el sistema funcione cada 20 min. Por 10 segundos. Durante las noches frías es suficiente que el sistema funcione cada hora por 15 min. Durante el día se puede programar para un funcionamiento de 15 min. cada 15 min. de periodo inactivo. Existen muchos modelos de nebulizadores. Estos usualmente se venden en tiendas especializadas en equipos de riego o de invernaderos. El precio de estos no es alto, por lo que conviene comprar 1 de

cada uno, probarlos y comprar el que mas conviene. Se deben tener a la mano nebulizadores nuevos y limpios para cambiar los nebulizadores obstruidos. Estos se pueden limpiar posteriormente. Si no se tiene un generador que funcione automáticamente cuando se corte el fluido eléctrico, se debe implementar un sistema de alarma que permita encender el generador alterno.

Solución nutritiva

Fuentes de nutrientes

Cada cultivo tiene un requerimiento óptimo de nutrientes. Cada cultivar de papa puede requerir diferente solución nutritiva. Esto también depende de la calidad química del agua y de los nutrientes usados para la solución nutritiva. Cuando añadimos nutrientes al agua, la CE sube. En general no debemos tener una CE mayor a 2.0 mS/cm si queremos evitar problemas de fitotoxicidad. No debemos usar fertilizantes que contengan Na y Cl. Hay fertilizantes que incrementan la CE mas que otros. Fertilizantes con N y K son buenos aportadores de CE. Existen también fertilizantes que contribuyen a mayor a mayor o menor grado a la alcalinidad o acidez de la solución. Es conveniente tener esta información. Entre los fertilizantes acidificantes se encuentran: Fosfato de amonio, Sulfato de Amonio, Urea, Nitrato de Amonio. Entre los fertilizantes alcalinizantes se encuentran: Fosfato de Calcio, Carbonato de Potasio, Fosfato de Potasio, Nitrato de Potasio. También es conveniente chequear el pH del agua y de la solución nutritiva. Las plantas necesitan macronutrientes (N,P,K,Ca,Mg) y micronutrientes (Fe,S,Mn,Cu,Zn,B,Mo) para su crecimiento normal. Estos elementos deben estar disueltos en agua para que las plantas los aprovechen y absorban por el sistema radicular. En el cuadro 2 se da una lista de diferentes fuentes de nutrientes usados en hidroponía y aeroponía. Un pH óptimo permite la máxima disponibilidad de nutrientes para las plantas. Si el pH de la solución nutritiva es mayor a 7.3 se le puede bajar con una solución diluida de ácido sulfúrico o ácido fosfórico a un pH ligeramente ácido (6.8). En el cuadro 3 se muestran las soluciones nutritivas que se usaron anteriormente para producción de semilla de papa aeropónica.

Cuadro 2, Sales y minerales usados como fuentes nutritivas para hidroponía y aeroponía.

MACRONUTRIENTES

Sal o fertilizante	Formula	Peso molecular	Nutrientes	Concentración (%)
Nitrato de Potasio	KNO ₃	101	K	36.0
			NO ₃	13.0
Nitrato Calcio	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	236	Ca	17.0
Nitrato Magnesio	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	256	NO ₃	12.0
			Mg	9.5
			NO ₃	11.0

Fosfato de Amonio	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115	NO_4	12.0
			P	27.0
Sulfato Amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	132	N-NH ₄	21.0
			S	24.0
Nitrato Amonio	NH_4NO_3	80	NO_3	16.5
			NO_4	16.5
Fosfato de Potasio	KH_2PO_4	136	K	29.0
			P	23.0
Cloruro de Potasio	KCl	75	K	52.0
Sulfato Potasio	K_2SO_4	174	K	41.0
			S	17.0
Sulfato Magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	247	Mg	10.0
			S	13.0

MICRONUTRIENTES

Sulfato de Hierro	FeSO_4	153	Fe	20.0
FeEDTA(Disolvine)	Fe-EDTA	430	Fe	13.0
FeEDTA(Arbore Fe)			Fe	4.0
FeEDDHA(Ferrilene)			Fe	6.0
Ácido Bórico	H_3BO_3		B	17.0
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381	B	11.0
Sulfato Cu	CuSO_4	161	Cu	13.0
			S	12.0
MnEDTA	Mn-EDTA	366	Mn	15.0
Sulfato de Zinc	ZnSO_4	161	Zn	22.0
			S	22.0
Cloruro de Zinc	ZnCl_2	136	Zn	45.0

Acido Molibdico	H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	180	Mo	66.0
-----------------	---	-----	----	------

Cuadro 3. Soluciones nutritivas usadas para producción de semilla de papa aeropónica

Ferran et al (6)		Otazú et al (12,13)	
Nutrientes	Concentración	Nutrientes	Concentración
KN03	0.4 me/l	KNO3	5.40 me/l
Ca (NO3) 2	3.1 me/l	NH4NO3	4.40 me/l
NH4NO4	4.4 me/l	Superfosfato de Ca	2.60 me/l
KH2PO4	4.4me/l	MgSO4	1.00 me/l
MgSO4	1.5 me/l	Fe(EDTA-Feb 6 %	8 ppm
		B (Acido Bórico)	1 ppm
		Micro (Fetrilon*)	12 ppm
pH5.7		pH 6.5	

*Fetrilom combi es un nutriente foliar comercial en polvo que tiene la siguiente formulación: 9% MgO, 3% S, 4% Mn, 1.5% Zn, 0.5% B. Y 0.1% Mo.

Cómo calcular la concentración de nutrientes.-

La concentración de macronutrientes usualmente se expresa como milimoles/litro o miliequivalentes/litro (me/l). También se puede expresar como gramos/litro (g/l), o como % de N, P₂O₅ y K₂O. La concentración de micronutrientes se expresa en miligramos/litro (mg/l), o lo que es lo mismo en partes por millón (ppm). Es útil entender ciertos términos químicos para preparar la solución nutritiva. El peso molecular es la suma de los pesos atómicos en gramos de los átomos que son parte de la fórmula del compuesto químico. El número equivalente se obtiene dividiendo el peso del compuesto en g entre su peso equivalente. El peso equivalente se calcula dividiendo el peso molecular entre su valencia. Un miliequivalente es la 1/1000 de un equivalente. Usando la información del cuadro 6 podremos calcular el peso equivalente del nitrato de Ca (118), del Nitrato de Amonio (80), del Fosfato de K (136.1) y del Sulfato de K (87.2). Esto mismo se puede expresar también en g/l. (cuadro 4).

Cuadro 4. Concentración de fertilizantes expresados en 2 tipos de medida

<u>Fertilizante</u>	<u>Formula</u>	<u>me/l</u>	<u>g/l</u>
Nitrato de K	KNO ₃	1	0.101
Nitrato de NH ₄	NH ₄ NO ₃	1	0.080
Sulfato de K	K ₂ SO ₄	1	0.087
Sulfato de Mg	MgSO ₄	1	0.247
Fosfato de K	KH ₂ PO ₄	1	0.136
Superfosfato triple de Ca	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1	0.117

Si quisiéramos preparar una solución nutritiva para aeroponía, para un tanque de 400 litros, el siguiente cuadro será de utilidad:

Cuadro 5. Nutrientes requeridos para un módulo aeropónico de papa de 400 litros.

Nutrientes	Concentración(me/l)	g/l	g/400 l
Nitrato de K	5.40	0.54	216
Nitrato de NH ₄ *	4.40	0.35	140
Superfosfato triple de Ca.	2.60	0.28	112
Sulfato de Mg	1.00	0.24	96
Fetrilon combi	12 ppm	0.012	4.8
Quelato de Fe (6%), opcional	9 ppm	0.009	3.6

* A ser reducido en ½ cuando empieza la tuberización.

Todos los nutrientes son fácilmente disueltos en agua a excepción del superfosfato de Ca. Los nutrientes deben ser disueltos separadamente en pequeños volúmenes de agua hasta su completa disolución. Algunas veces se puede requerir filtrado previo para eliminar impurezas. Para diluir el superfosfato de Ca, se puede usar un pedazo de malla antiáfida en la que se coloca el producto y en un recipiente con agua se procede a estrujar la malla con el contenido hasta que poco a poco desaparezca. Luego esperar hasta que la solución se estabilice. Descartar las impurezas no diluidas que quedan al fondo. La otra opción es filtrar la solución, pero esto demora mas tiempo. Usar agua un poco caliente también ayuda a diluir este nutriente. Si se van a usar nutrientes nuevos, es necesario probarlos previamente. Especialmente fuentes nuevas de micronutrientes al no ser compatibles con otros nutrientes de la mezcla, pueden cuasar fototoxicidad. Para los primeros días preparar solo para 100 litros y añadir agua para completar el volumen a 200 litros. Después de la segunda semana la solución debe ser completa y para los 400 litros. La aparición de cualquier síntoma de fitotoxicidad en las hojas indicará que la solución no es compatible y debe ser cambiada inmediatamente. Las plantas pueden sobrevivir solo con agua por unas horas.

El análisis químico del agua ayuda para ajustar la solución nutritiva. La mayoría de fuentes de agua tienen suficiente boro. Las plantas requieren sólo cantidades mínimas de este elemento. Si el agua es absolutamente carente de B, podemos comprar ácido bórico de cualquier farmacia (usado para el tratamiento de hongos de los pies), disolver 0.1g. en 1 litro de agua y añadir al tanque de 100 litros. Para 400 litros necesitaremos 0.4g. En nuestra formulación, el Fetrilon Combi ya contiene B. El análisis de agua no solo nos sirve para darnos información sobre su calidad, sino también para poder ajustar precisamente el contenido de los componentes nutricionales. Cadhida (2) describe el siguiente ejemplo para preparar una solución de Hoagland con cierta fuente de agua cuyo análisis se conoce:

Cuadro 6. Composición química del agua, solución ideal y reajuste para preparar una solución de Hoagland en milimoles/l. (adaptado de Caída, 2)

	NO ³⁻	H ₂ PO ⁴⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ³⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
--	------------------	---------------------------------	-------------------------------	-------------------	-----------------	------------------------------	----------------	------------------	------------------	-----------------

Aguar	-	-	1.0	3.5	1.0	-	-	2.0	2.0	1.5
Solución Hoagland	14.0	1.0	4.0	-	-	1.0	6.0	8.0	4.0	-
Reajuste	-	-	+3	-3*	-	-	-	+6	+2	-

*Equivalente a añadir 3.0 me H⁺ (ácido), se deja 0.5 me/l de HCO₃⁻ como fuente bufer para otros ácidos.

Métodos alternativos de preparación

La Universidad Agraria La Molina del Perú vende comercialmente soluciones stock de nutrientes. En el CIP estas soluciones fueron empleadas para hidroponía (3), pero también se pueden usar para aeroponía. Se describe seguidamente la forma de preparación de estos nutrientes:

Solución stock A:

- En un recipiente de plástico poner 180g. de Superfosfato triple de Ca con suficiente agua (500ml.) durante 24 horas.
- Con la ayuda de un mortero triturar los gránulos hasta que todo quede disuelto. Descartar el material inerte que queda. El volumen final debe ser de 5 litros.
- En un recipiente separado añadir 550g. de Nitrato de K con 3 litros de agua, lo cual debe disolverse rápidamente.
- Al mismo recipiente añadir 350gr. de Nitrato de Amonio y disolverlo.
- Mezclar los contenidos de ambos recipientes y ajustar el volumen final a 5 litros. Mantener esta solución en una botella opaca marcada como solución "A".

Solución stock B:

- Preparar los micronutrientes en 1 litro de agua destilada: En unos 300ml. de agua, añadir los siguientes componentes: 1.0g. de Sulfato de Cu, 1.7g. de Sulfato de Zn, 0.2g. de Molibdato de Amonio, 3.0g. de ácido bórico y 5.0 g de Sulfato de Mn (en ese orden). Completar el volumen final a 1 litro con agua destilada. Mantener esta solución en una botella limpia.
- En 1 litro de agua disolver 220g. de Sulfato de Mg.
- A esta solución añadir 400ml. de la solución de micronutrientes y mezclar bien.
- Añadir 17g. de quelato de hierro (Fe-EDTA ,6% Fe.)
- Añadir suficiente agua para completar el volumen final a 2 litros. Marcar este recipiente como solución "B".

Preparación Final

Antes de hacer la mezcla final, sacudir ambas soluciones. Para la concentración final, mezclar 5 ml. de la solución A con 2 ml. de la solución B para cada litro de solución nutritiva. Para 100 litros de solución nutritiva mezclaremos 500ml. de solución A con 200ml. de solución B, y similarmente así para otros volúmenes.

Nitrato de Calcio

En algunos países el nitrato de amonio no se encuentra disponible porque también se usa ilegalmente para confección de explosivos. Por lo tanto debemos contar con otra alternativa de solución nutritiva. En la Isla Mauricio se usa la siguiente solución nutritiva (G. Triton, comunicación personal): Se prepara una solución stock en 10 lt de agua con los siguientes componentes:

<u>Nutriente</u>	<u>g</u>
Nitrato de Calcio “Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O”	118.0
Fosfato de Potasio (KH ₂ PO ₄)	68.0
Nitrato de Potasio (KNO ₃)	252.0
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	246.0
Hierro (Fe-EDTA)	11.7
Boro (H ₃ BO ₃)	0.7
Cloruro de Manganeso (MnCl ₂)	1.5
Sulfato de Zinc (ZnSO ₄)	0.3
Sulfato de Cobre (CuSO ₄)	0.1
Molibdeno (H ₂ MoO ₄ .H ₂ O)	0.1

Preparacion: Para cada litro de solución nutritiva añadir 20 ml de solución stock. (2%). Para 100 litros de solución nutritiva, añadir 2 litros de solución stock y así sucesivamente.

Conducción del cultivo

Cuando las plantas estén listas para el trasplante a aeroponía, estas deben ser extraídas cuidadosamente de las bandejas de arena. Pinzas grandes son de ayuda para este fin. Una brocha fina sirve para limpiar las raíces de la arena. También se puede usar una piceta o un atomizador manual para este mismo fin. El agua a presión limpia la arena sin causar daño a las raicillas. Un trozo de esponja se envuelve alrededor del cuello de cada plántula y se coloca en los agujeros de las tapas de cajones. Después del trasplante pueda que sea necesario colocar una lámina de plástico negro alrededor de cada planta transplantada para evitar la entrada de luz a los cajones. Cuando se haya terminado el trasplante, se debe buscar y eliminar cualquier puerta de entrada de luz al interior de los cajones y asegurarse que todas las raíces estén convenientemente expuestas a la solución nebulizada. Luego se debe preparar los soportes. Inicialmente las plantas se pueden sostener por 2 a 3 semanas. Después de este tiempo las plantas desarrollan rápidamente y requerirán soportes ya sea en forma de estacas o mallas de alambre (figs.30,31). La rafia agrícola es lo mas barato para este fin. Después de 1 mes del trasplante, las hojas inferiores deben ser removidas con un bisturí, siguiendo estrictas normas de asepsia. Si se nota el desarrollo de estolones en la parte superior del sistema radicular, las plantas deben ser bajadas simulando a lo que sería un aporque, evitando siempre cualquier entrada de luz al interior. En esta etapa se recomienda sacar muestras foliares para pruebas de ELISA par determinar si hay alguna contaminación viral. Después de 2 meses los cvs precoces empiezan a producir tuberculillos. Podemos empezar a cosechar tuberculillos con 8g. o más. Debemos abrir primero la cortina externa y luego muy cuidadosamente la cortina interna para así evitar daños al sistema radicular de las plantas. Las cosechas se deben programar para horas de la mañana. Los

programadotes de tiempo se pueden paralizar por media hora a la vez. Se pueden planificar cosechas cada 10 a 14 días después de la primera. Los tuberculillos cosechados deben ponerse en ambientes limpios y secos antes de su almacenamiento en almacenes de luz difusa.

La solución nutritiva debe ser chequeada regularmente. La CE y el pH son indicadores útiles. La CE no debe exceder de 2.0mS/cm. Así mismo el pH no debe exceder de 7.3. Ácido Fosforito diluido debe usarse para bajar el pH a un rango ligeramente ácido (6.5-6.8). La solución nutritiva debe cambiarse cada mes. Esto se debe hacer usando la bomba monitoreando las 2 llaves (fig.26). Cerrar la llave principal y abrir la llave lateral para desaguar la solución a descartar. Después, el consumo de nutrientes aumenta. Si se nota un consumo excesivo de nutrientes es casi seguro que haya fuga por algún lugar en el plástico, lo cual debe ser detectado y corregido inmediatamente. Un filtro de malla colocado al final del tubo de desagüe en el tanque es útil para retener trozos de raíces y otras impurezas. El filtro principal negro colocado a la entrada del sistema de bombeo requiere mantenimiento regular consistente en limpieza mensual con agua a presión. En el apéndice se muestra una carta con los principales problemas y soluciones que usualmente se dan en aeroponía.



Fig.30. Las plantas pueden necesitar diferentes tipos de soporte como estacas o alambre. Algunos cultivares desarrollan abundante follaje.



Fig. 31. Un sistema de soporte con alambre usado en Malawi.

Cosecha y almacenamiento.-

La cosecha de tuberculillos aerónicamente obtenidos es diferente a la cosecha de tuberculillos convencionales. La diferencia básica es la que en aeroponía se realizan cosechas secuenciales, mientras que en el método convencional se realiza una sola cosecha final. Dependiendo del cultivar en aeroponía se realizan varias cosechas, que pueden ser 10 o más. Los tuberculillos cosechados son de 8 g o más, 5 o 10 por planta y de peridermo inmaduro (fig.32). Antes de su almacenamiento, esta semilla se debe tratar con una solución de hipoclorito de Na al 0.1%. Esto solo como medida preventiva contra una posible contaminación con bacterias. Luego deben hacerse 1 o 2 enjuagues y secarse al medio ambiente. Si hemos seguido las normas fitosanitarias establecidas, no debemos tener necesidad de usar otros pesticidas. Luego, los tuberculillos se deben colocar en un lugar limpio, seco y fresco para permitir su curado y engrosamiento del peridermo por unas 2 a 3 semanas, antes de ponerlos en el almacén de luz difusa o almacén frío. Si no se cuenta con un almacén de luz difusa protegida con malla antiáfida, se puede colocar malla en las jabas de cosecha (fig.33). Los tuberculillos más pequeños (con menos de 5 g) se deben almacenar de preferencia en almacenes refrigerados. Una gran desventaja de las cosechas secuenciales es que cuando se termina la cosecha, se tiene un lote de semilla desuniforme en lo que concierne a brotamiento de tubérculos. Los tubérculos cosechados en los primeros meses brotarán antes que los cosechados en los últimos meses. Esto también causará una emergencia irregular en el campo, después de la siembra. Aunque esta irregularidad no parece afectar el rendimiento (11), se puede corregir en parte almacenando los tubérculos cosechados primeramente en almacenes fríos y 1 mes antes de la última cosecha se pueden poner todos en un almacén de luz difusa.



Fig. 32. Tuberculillos aerónicamente del cultivar Canchan, recién cosechados



Fig. 33. Tuberculillos aeronicos de 3 tamaños. A la derecha, semilla almacenada con protección de malla anti afida

Literatura citada

1. Boersig, M.R., and S.A. Wagner. 1988. Hydroponic system for production of seed tubers. *Am Potato J.* 65:470-71.
2. Cadhia, C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 475 p.
3. Chuquillanqui, C., J. Tenorio, L. Salazar. 2007. Producción de semilla de papa por hidroponía. En "Alternativas al uso de bromuro de Metilo en la producción de semilla de papa de calidad". Lima (Perú) CIP. Documento de trabajo 2007-2. pp 26-34.
4. CIP División de Manejo Integrado de Cultivos 2008. Alternativas al uso de bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad. Lima (Perú). CIP. 53p. Documentos de trabajo 2007-2.
5. Duarte, R. and O. Hidalgo. 1997. Diseño de invernaderos para la producción de semilla de papa en condiciones de sierra. En "Producción de tubérculos semillas de papa". O. Hidalgo (ed). CIP Manual de capacitación. Lima-Perú. Fascículo 4.4.
6. Farran, I., and A.M. Mingo-Castel. 2006. Potato minituber production using aeroponics: Effects of Plant density and harvesting intervals. *Amer J of Potato Res* 83:47-53.
8. He. J. and S.K. Lee. 1998. Growth and photosynthetic responses of three aeroponically grown lettuce cultivars (*Lactuca sativa* L.) to different rootzone temperatures and growth irradiances under tropical aerial conditions. *J. Hort Sci Biotech* 73:173-80.
9. Maldonado,L., G. Thiele and V. Otazú. 2008. Análisis de costos entre el sistema convencional de producción de semilla de papa de calidad y el sistema por aeroponía. En "Alternativas al uso del bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad". Lima (Perú). CIP. Documento de trabajo 2007-2, pp 46-53.

10. Otazú, V. 2008. Esterilización de sustratos de invernadero por vapor. En: "Alternativas al uso del bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad". Lima(Perú) CIP. Documento de trabajo 2007-2 pp 15-25.
11. Otazu, V. 2008. Produccion de semilla de calidad en invernaderos para la zona Andina. (book in press).
12. Otazu, V., I. Barker, E. Chujoy 2008. Innovation in seed potato production for developing countries using aeroponics. Conference Potato Science for the Poor. 25-28 March. Cusco-Peru.
13. Otazú, V. , C. Chuquillanqui. 2007. Producción de semilla de papa de calidad por aeroponía. En "Alternativas al uso del bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad: Lima(Perú) CIP. Documento de trabajo 22007-2. pp 35-45.
14. Rolot, J.L., and H. Seutin. 1999. Soilless production of Potato minitubers using hydroponic technique. Potato Res. 42:457-469.
15. Soffer, H., and D.H. Burger. 1988. Effects of dissolved oxygen concentration in aero-hydroponics on the formation and growth of adventitious roots. J Am Soc Hortic Sci 113:218-21.

Apéndice

Términos técnicos usados en aeroponía

Amonio cuaternario:	Ingrediente activo en varios desinfectantes comerciales. Tiene varios sinónimos, siendo el cloruro de benzalkonio el mas conocido.
Ante cámara:	Infraestructura importante ubicada a la entrada del invernadero. Sirve para disminuir las posibilidades de contaminación de las plantas al interior del invernadero.
Asepsia:	Limpieza. Implica a medidas que evitan la contaminación de cualquier tipo.
Blanqueador:	Lejía.
Cajón:	Contenedor completamente oscuro que alberga el sistema radicular de las plantas.
Codo de unión:	En gasfitería, una pieza de tubo que sirve de unión y tiene la forma de L, puede ser de PVC o metal.
Conductividad eléctrica:	(CE), estima el total de sales disueltas o la cantidad total de iones disueltos en el agua.
Follaje:	Tallos, hojas y ramas de la planta.
Hipoclorito de sodio (calcio):	Usado comúnmente como blanqueador o desinfectante.
Lejía:	Una solución comercial con 3 a 6% de hipoclorito de sodio (NaOCl), comúnmente usado como blanqueador o desinfectante.
Macronutrientes:	Elementos esenciales que necesitan las plantas para su crecimiento en cantidades relativamente grandes. En general se consideran macronutrientes al N_2P_2K y al Ca y Mg.
Malla antiácida:	Una malla hecha usualmente de polietileno, nylon o material acrílico que no permite la entrada de áfidos al invernadero. Viene en colores claros y en anchos diversos.
Malla sombreadora:	Son mallas que van sobre o debajo del techo del invernadero con fines de dar sombra a las plantas y bajar la temperatura interna del invernadero. Evitan el traspaso de luz en diferentes porcentajes.
Micronutrientes:	Elementos esenciales requeridos por la s plantas para su crecimiento, pero en cantidades muy pequeñas. Esto incluyen: S, Mn, B, Cu, Fe, Cl, Co_2Mo_2Zn .
Nebulizador:	Boquillas que a determinada presión nebulizan la solución nutritiva.
Niple:	Una pieza de tubo corto y recto que sirva para conectar tubería.
PH:	Medida de acidez o basicidad de una solución. Es la concentración de iones o camiones H^+ .
Plántulas <i>in vitro</i> :	Plantas (usualmente libre de patógenos) producidas en el laboratorio en condiciones <i>in Vitro</i> . Vienen en tubos o magentas.

Plástico:	Material de polietileno que viene en diferentes composiciones y grosores. Se usa para techos de invernaderos y para forrar los cajones de aeroponía.
Policarbonato:	Un tipo de plástico rígido transparente que viene en planchas corrugadas y son usadas en techos de invernaderos.
PVC:	Cloruro de polivinilo (polyvinilchloride). Material ampliamente usado como componentes de gasfitería, mayormente en tuberías y uniones.
Semilla pre-básica:	Semilla de papa producida en el invernadero sin incidencia de plagas ni enfermedades.
Tecnopor:	Espuma blanca de poliestireno hecha como material aislante térmico y viene en planchas de 2.40 x 1.20m. de diferentes grosores y densidades.
Union de reducción:	Una unión de PVC o metal que conecta a un tubo de menor diámetro.

Carta de principales problemas/soluciones que se pueden presentar en aeroponía

Problema (síntoma) General	Probable causa	Solución
Plántulas <i>in vitro</i> , amarillentas.	Plantas mantenidas por mucho tiempo en oscuridad.	Poner plantas bajo luz antes de su transplante.
Plántulas en camas de arena, ahiladas.	Mucho calor en el ambiente o falta de luz.	Descartar la causa, antes de poner malla sombreadota.
Plántulas flácidas en cajones (la mayoría).	Falta de presión, electro bomba inadecuada, filtro obstruido. Válvula de succión obstruida.	Cambiar electro bomba. Limpiar filtro. Limpiar válvula de succión.
Algunas plantas marchitas.	Nebulizador adyacente obstruido.	Cambiar (limpiar) nebulizador.
Planta marchita con abundante nebulización.	Tallo quebrado en esponja	Sacar planta, reemplazarla
Tanque vacío antes de tiempo	Fuga de solución nutritiva Tubo de drenaje (desagüe) atorado.	Parchar el plástico. Desatorar el sistema de desagüe.
Plántulas empiezan a presentar síntomas de quemado foliar.	Solución nutritiva mal preparada. Fuente de agua inadecuada. Invernadero muy caliente.	Cambiar solución nutritiva, cambiar fuente de agua. Refrigerar solución nutritiva.
Plantas con síntomas foliares.	Patológico. Phytophthora y Oidium son patógenos mas frecuentes.	Identificar patógeno y aplicar productos con mitad de dosis recomendada.
Solución nutritiva con pH muy alto (mayor a 7.4).	Fuentes de nutrientes/agua muy alcalinos.	Bajar pH con ácido, hasta pH entre 6 a 7.
Solución nutritiva con pH muy bajo (alrededor de 5).	Solución nutritiva desgastada	Cambiar con solución nutritiva fresca.
Solución nutritiva con CE muy alta (mayor a 2m. S/cm).	Fuentes de nutrientes/agua muy alcalinos.	Aumentar agua hasta bajar CE a 2 o menos.
Mediciones de pH o CE incongruentes en solución nutritiva.	Medidores de pH/CE mal calibrados.	Calibrar medidores.