PROYECTO REGIONAL DE FORTALECIMIENTO DE LA VIGILANCIA
FITOSANITARIA EN CULTIVOS DE EXPORTACIÓN NO TRADICIONAL – VIFINEX

República de China – OIRSA

Producción de sustratos para Viveros

Costa Rica
2002

VIFINEX 2002

INDICE

1 INTRODUCCION 2

2 MEDIOS DE CULTIVO 3
2.1 Características de un medio 3
2.2 Cultivo en recipientes y sustratos 4

3 FUNCIONES DE LOS SUSTRATOS 4
3.1Soporte de las plantas 7
3.2 Humedad 7
3.3 Porosidad y drenaje 7
3.4 Elementos minerales 9

4 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS 9
4.1 Densidad 9
4.2 Granulometría 9
4.3 Porosidad total 9
4.4 Retención de humedad y aireación 11
4.5 Agua fácilmente asimilable 13
4.6 Estabilidad de la materia orgánica 14
4.7 Relación Carbono Nitrógeno 14
4.8 pH. 15
4.9 Capacidad de intercambio de cationes (CIC 16
4.10 Salinidad (conductividad eléctrica) y presión osmótica (PO) 17

5 SUELO 20
5.1 Suelo 20
5.2 Componentes orgánicos 20
5.3 Estabilidad de la materia orgánica 21
5.3.1 Relación Carbono:Nitrógeno 21
5.4 Residuos de la madera 21
5.4.1 Aserrín 21
5.4.2 Burucha de madera 24
5.4.3 Corteza 24
5.5 Estiércol 25
5.6 Residuos de cosechas 26
5.6.1 Cascarilla de arroz 26
5.6.2 Paja 26
5.6.3 Olotes 26
5.6.4 Broza de café 27
5.6.5 Desechos de frutas 27
5.6.6 Bagazo de caña de azúcar 27
5.6.7 Fibra de coco 27
5.7 Turba (Peat) 29
5.7.1 Turba de musgo Sphagnum (Peat moss) 30
5.8 Compost 30

5.9 Componentes inorgánicos 31
5.9.1 Agregados gruesos 31
5.9.1.1 Grava 31
5.9.1.2 Arena 32
5.9.1.3 Perlita 34
5.9.1.4 Pumita y escoria volcánica 35
5.9.1.5 Vermiculita 35
5.10 Agregados sintéticos 35
5.10.1 Hojuelas de poliestireno 36
5.10.2 Espuma de poliestireno 36
5.10.3 Espuma de urea formaldehído 36
5.10.4 Lana de roca 36

6 FORMULACIONES DE SUSTRATOS 37
6.1 Sustratos con tierra 37
6.1.1 Adaptación del suelo a recipientes 38
6.2.1 Componentes de un sustrato sin tierra 40
6.2.2 Formulaciones a base de turba 41
6.2.3 Economía 43
6.2.4 Mezclas para países tropicales 43

7 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA 46

PRESENTACIÓN

Una necesidad sentida en el sector agropecuario por los productores de plantas del área centroamericana consiste en contar con material vegetal reproductivo que posea buenas características físicas y genéticas pero fundamentalmente que esté libre de plagas y patógenos.

Esta última condición ha sido el " Talón de Aquiles" de muchos programas de mejoramiento productivo de los cultivos, debido a que se trasiega de un sitio o país a otro material enfermo, o los medios o sustratos en que se cultiva proveen las condiciones ambientales idóneas para el desarrollo de epifitias.

Mediante el presente trabajo realizado por el Ing. Marco Alvarado V. , con la colaboración del Dipl. Jorge Arturo Solano S; el Proyecto VIFINEX-Costa Rica pretende brindar un aporte significativo a los agricultores y productores de plántulas de vivero, de manera que aprovechen al máximo los recursos disponibles cercanos a su sitio de producción y puedan elaborar los mejores sustratos de manera que se brinde a las plantas las condiciones optimas de desarrollo y al mismo tiempo se evite el desarrollo de enfermedades y plagas que afecten los futuros cultivos.

Agradecemos el apoyo brindado por los viveristas costarricenses para generar la tecnología que se presenta en este documento, así como el soporte de la Gerencia Vigilancia y Control de Plagas del Servicio Fitosanitario del Estado en particular el Programa Nacional de Viveros y de las autoridades del Organismo Internacional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA).

Ing. Sergio Abarca Monge
DIRECTOR SERVICIO FITOSANITARIO DEL ESTADO

Ing. Roberto Aguilar Vargas
COORDINADOR PROYECTO VIFINEX-COSTA RICA

Noviembre, 2002.

MEDIOS O SUSTRATOS EN LA PRODUCION DE VIVEROS Y PLANTAS

Marco A. Alvarado V.
Jorge A. Solano S.

INTRODUCCIÓN

El método de semilleros en camas se ha utilizado como el más práctico y barato para producir plantas. Sin embargo, tiene las siguientes desventajas:

- ✓ **Las raíces de las plantas sufren mucho daño en el arranque y manejo.**
- ✓ **El arranque con terrón o adobe es laborioso y tienen problemas de embarque y transporte.**
- ✓ **Es dificil controlar la dispersión de enfermedades y plagas en el terrón.**

Estas desventajas llevan al uso de semilleros en bandejas. La bandeja es un semillero portátil, diseñada para su transporte al campo. Son livianas y fuertes, tienen un diseño celular, y permiten la extracción de las plantas con poco daño de las raíces.

Las bandejas se debe asentar sobre mesas de tablillas o malla. Esto las expone a la luz y al aire y previene el crecimiento de raíces por el hoyo de drenaje. Las raíces se recobran con facilidad del transplante.

En invernadero la mayoría de las plantas son producidas en diversos recipientes que incluyen bancos, bandejas y potes. Las condiciones físicas presentes en los recipientes con frecuencia limitan el desarrollo de las plantas. Estos problemas de cultivo, asociados con el medio, son resultado de que los potes tienen poca profundidad y un volumen limitado.

Algunos de los problemas son:

- ✓ **Drenaje inadecuado y aireación pobre, especialmente en condiciones de poca luz.**
- ✓ **Falta de estandarización del sustrato.**
- ✓ **Control inadecuado de la fertilización.**
- ✓ **Acumulación excesiva de sales solubles.**
- ✓ **Riego frecuente para prever deficiencias de humedad.**
- ✓ **Toxicidad resultante de la esterilización con calor o química.**

Un sustrato adecuado debe eliminar, o minimizar, los efectos de estos problemas en la producción de plantas.

En los últimos treinta años las técnicas de cultivo han experimentado cambios notables en aspectos como diseño de invernaderos, riego automatizado, etc. las cuales han

sido unidas a transformaciones tecnológicas que han producido una sustitución del cultivo tradicional, en el suelo, por el uso de medios más o menos inertes. En los próximos años los sustratos deberán ser diseñados para retener mayores cantidades de agua y nutrientes, como respuesta a las restricciones crecientes al acceso al agua.

MEDIOS DE CULTIVO

El material en el cual se plantan semillas, se insertan brotes, o se establecen plantas, se le llama sustrato o medio. El medio da soporte, almacena y suministra nutrientes, agua y aire para el sistema radical.

El propósito de un medio, es propiciar un buen crecimiento, dentro del espacio limitado de un recipiente, y preparar las plantas para un transplante exitoso.

Existen muchos materiales y sus mezclas. Cada productor que trata de crear su propio medio, a veces hace un uso innecesario o inadecuado de componentes.

Tierra es el medio más común, pero hay más. Algunos medios son orgánicos y otros inorgánicos. Un medio sin tierra puede suministrar oxígeno, agua, nutrientes y soporte para las plantas, tan bien como lo hace el suelo.

Conforme mejor sea el medio mayor es el desarrollo del sistema radical absorbente y se produce un almácigo de más calidad, el que soportará mejor el transplante y dará mayor crecimiento. Este es un factor económico fundamental para la siembra definitiva, que el productor no debe descuidar.

2.1. Características de un medio.

A diferencia del suelo, que mantiene más o menos estables sus características en el tiempo, los sustratos no se comportan de igual forma.

Varios materiales y sus mezclas son utilizados para preparar medios. Las características resultantes de las mezclas no siempre son la suma de las características de sus partes, por lo que lo importante de un sustrato no son sus ingredientes y componentes sino sus propiedades y parámetros. Para obtener buenos resultados se requiere que un sustrato tenga las siguientes características:

- ✓ **Debe ser suficientemente denso y firme para sostener en su sitio las plantas o estacas, durante la germinación o el enraizamiento. Su volumen debe ser constante tanto si está húmedo como seco.**
- ✓ **Debe retener suficiente humedad, para que el riego no sea muy frecuente.**
- ✓ **Debe ser suficientemente poroso para que el exceso de agua drene del mismo, permitiendo la entrada de oxígeno a las raíces.**
- ✓ **Debe tener un bajo contenido de sales.**

Ningún medio es considerado perfecto para todas las plantas y condiciones de crecimiento, puesto que las diferentes especies de plantas y esquejes varían en sus necesidades.

La capacidad de retención de agua que posee un medio, es definida por el tamaño de sus partículas, su forma y la porosidad. El agua se retiene en la superficie de las partículas y en el espacio formado por los poros. Mientras más pequeñas son las partículas, estarán más cerca unas de otras y, por tanto, el espacio de poros y su superficie será mayor, de aquí que puede ser almacenada una mayor cantidad de agua por estas.

Las partículas con forma irregular tienen mayor superficie que las que son lisas y redondas. El material poroso puede almacenar agua en las mismas partículas. El medio deberá de ser capaz de ofrecer una buena retención de agua, y poseer un buen drenaje también; así, se deben evitar los materiales muy finos, para prevenir una retención excesiva de agua y una falta de movimiento del oxígeno dentro del medio.

2.2. Cultivo en recipientes y sustratos

Las condiciones físicas encontradas en el campo no se presentan, de igual forma, al poner el suelo en un pote. La proporción de espacios porosos con aire cambia cuando el suelo es colocado en un recipiente. La cantidad de agua retenida aumenta por cambios en las fuerzas que, normalmente, remueven el agua de los poros del suelo. La profundidad es el factor crítico. El cambio en la profundidad es el responsable del mayor contenido de agua y el menor contenido de aire del medio en un recipiente. Para aumentar el drenaje y para mejorar la aireación, el medio en un recipiente (bandeja, pote o banco) es enmendado con diferentes materiales. Los medios preparados sin suelo se han vuelto un recurso importante en la producción de cultivos en invernadero.

FUNCIONES DE LOS SUSTRATOS

Hay cuatro funciones con las que debe cumplir un medio para mantener un buen crecimiento de las plantas.

- ✓ **Proporcionar un anclaje y soporte para la planta.**
- ✓ **Retener humedad de modo que esté disponible para la planta.**
- ✓ **Permitir el intercambio de gases entre las raíces y la atmósfera.**
- ✓ **Servir como depósito para los nutrientes de la planta.**

La única función garantizada por el medio, después de hecha la mezcla, es el soporte; las demás deben ser controladas por el productor.

Para alcanzar sus funciones el sustrato utilizado debe ser:

- ✓ **De peso liviano.**
- ✓ **De buena porosidad.**
- ✓ **Bien drenado pero con buena capacidad de retención de humedad.**
- ✓ **Ligeramente ácido y con buena capacidad de intercambio de cationes.**
- ✓ **Capaz de mantener un volumen constante tanto cuando está húmedo o seco.**
- ✓ **Fácil de almacenar por periodos largos sin cambios en sus propiedades físicas y químicas.**
- ✓ **De fácil manejo y mezcla**.

Algunos materiales individuales pueden ofrecer todas las cuatro funciones pero no en el grado requerido. Por lo que se deben realizar ajustes que compensen estos requerimientos, lo cual se logra mediante mezclas.

Figura 1. El método de semilleros en camas es práctico y barato.

Figura 2. Pero las raíces de las plantitas sufren mucho daño en el arranque.

Figura 3. También sufren daño en el transplante, y pueden llevar enfermedades y plagas del suelo

A modo de ilustración, el cuadro 1 compara algunos materiales, usados como medio, en sus funciones extremas:

Cuadro 1. Comparación de cuatro medios de cultivo con características contrastantes

Medio	Soporte	Intercambio de gases	Retención de humedad	Disposición de nutrientes
agua	malo	malo	bueno	bueno
arcilla	bueno	malo	bueno	bueno
arena	bueno	bueno	malo	malo

3.1.Soporte de las plantas.

Conforme las raíces crecen entre las partículas del sustrato, anclan la planta y producen una base firme para el soporte del tallo en posición erguida. La necesidad de soporte de la planta, y el papel importante del sustrato, puede no ser reconocido como un problema hasta que se intenta cultivar plantas en solución nutritiva. Cuando es usado un medio líquido se requieren algunos métodos de soporte mecánico. Fueron desarrolladas técnicas de cultivo en solución nutritiva, con grava o arena, para eliminar la necesidad de soporte mecánico de las plantas.

3.2.Humedad.

El medio de cultivo sirve como almacén de grandes cantidades del agua requerida por las plantas. El agua es la portadora de elementos esenciales. Sus funciones son las de solvente en las reacciones bioquímicas dentro de las células, de acarreo de elementos minerales absorbidos por las raíces a todas partes de la planta y de carbohidratos fabricados en las hojas, y además mantiene en estado turgente las células y tejidos.

El agua es retenida en la superficie de las partículas y en los poros finos dentro de los agregados del sustrato. Un sustrato para potes debe retener suficiente cantidad de agua para llenar las necesidades de la planta, de un riego a otro. Pero el drenaje de los poros más grandes debe ser suficientemente rápido para permitir el reingreso de oxígeno al sustrato, en un lapso corto después del riego.

El desarrollo de las plantas es restringido, probablemente con más frecuencia, por una deficiencia de agua que por cualquier otro factor ambiental.

3.3.Porosidad y drenaje.

Conforme las raíces respiran, el oxígeno es removido de la atmósfera del sustrato y es liberado dióxido de carbono. Estos gases difunden hacia afuera y adentro del sustrato a través de los poros.

La porosidad total es una medida de la capacidad del sustrato de retener aire y agua, pero el tamaño de los poros determina la tasa de drenaje e intercambio de gases. Los poros pequeños limitan la aireación porque permanecen llenos de agua después de un riego. Después del riego el agua drena rápidamente, de los poros grandes, por influencia de la gravedad, lo que permite la entrada de aire al sustrato.

La porosidad total de un sustrato para potes (porcentaje de espacio aéreo dividido por el volumen total del recipiente) debe ser mayor al 50% y la porosidad de aireación (el porcentaje de espacio de aire que permanece después de la saturación cuando el agua ha drenado libremente) debe oscilar entre 20 y 35%, dependiendo del medio. Es necesario un balance de los microporos y macroporos para tener una buena calidad del medio para contenedores.

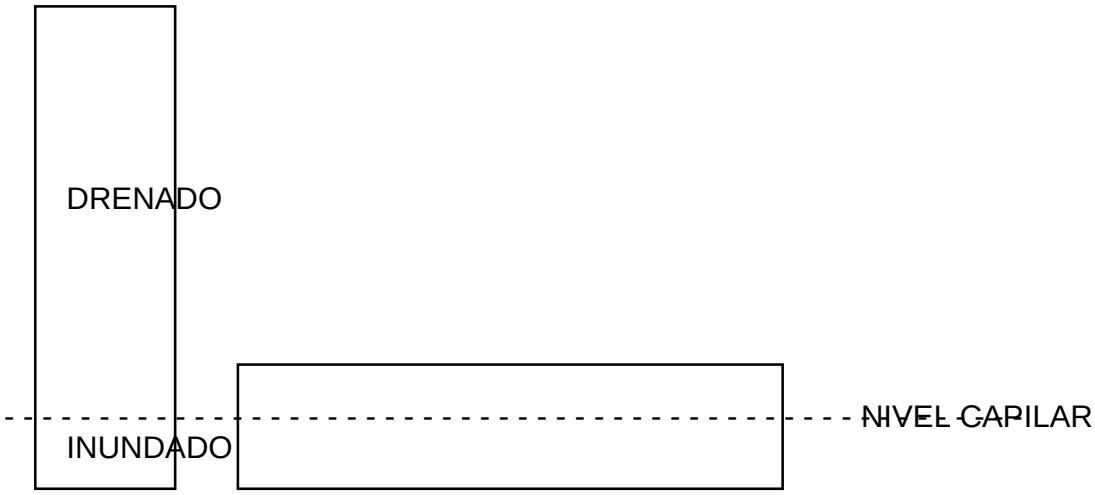

Gráfico 1. Influencia de la profundidad del pote sobre el drenaje, por efecto de la gravedad. El pote profundo de la izquierda drena con facilidad, la bandeja de la derecha mantiene un estado de inundación. El pote a la izquierda requiere un sustrato con porosidad fina, para retener más humedad; el de la derecha porosidad gruesa para aumentar la aireación.

Es importante entender que las características de porosidad y drenaje no son fijas sino que cambian con el tiempo, con el crecimiento de las raíces, la descomposición de la materia orgánica, la compactación, el contenido de humedad, y la técnica de llenado.

El gráfico uno ilustra la influencia de las fuerzas de gravedad y capilaridad en la retención de humedad por efecto de la profundidad del pote. Conforme más alto (profundo) el recipiente el peso de la columna de agua fuerza la salida de agua. Sin embargo hay un efecto de capilaridad que afecta la retención de agua produciendo un efecto de inundación en los recipientes pequeños o someros.

3.4 Elementos minerales.

Con excepción del oxígeno y el carbono, las plantas obtienen todos sus elementos minerales esenciales del medio de crecimiento. Los elementos minerales son liberados a la solución del sustrato y absorbidos por las raíces.

Un sustrato de fertilidad inicial baja es preferible para la producción de cultivos en recipientes, porque simplifica el manejo de la fertilización. Es más fácil agregar los elementos minerales requeridos, en las cantidades apropiadas, que su remoción cuando se presentan en cantidades excesivas en el medio.

El volumen limitado del sustrato en un recipiente, requiere de la aplicación frecuente de fertilizante para mantener los diferentes elementos en cantidades óptimas. Un problema mayor en la producción de cultivos en invernadero, es la acumulación de sales en cantidades tóxicas en el medio. Altas cantidades de sales solubles reducen la disponibilidad de agua o causan daño directo a las raíces. Si la cantidad de agua aplicada es suficiente para producir cierto lixiviado del medio, se reduce el peligro de exceso de sales.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS

Se pueden agregar muchos materiales para mejorar la textura y estructura de un medio para cultivo en recipientes, pero antes deben entenderse sus propiedades para hacer las mezclas adecuadas.

4.1. Densidad.

Es la masa seca por unidad de volumen de medio seco. Debe ser suficientemente grande para que las plantas de cierta altura, se sostengan, pero no mucho para que el peso del material no sea excesivo y dificulte el manejo y transporte. Se considera óptimo de 100 a 800 g/l, con un valor mínimo de 300 a 400 g/l para la mayoría de las plantas en maceta, excepto para plantas grandes, las cuales pueden requerir una densidad de 500 a 750 g/l.

4.2. Granulometría.

Se recomienda una granulometría mediana a gruesa, con tamaños de 0,25 a 2,6 mm, que produzcan poros de 30 a 300 micras, lo que produce una suficiente retención de agua aunque buena aireación. También es importante que el tamaño de las partículas sea estable en el tiempo.

Las partículas mayores de 0,9 mm dan lugar a poros grandes (de más de 100 micras) y conforman sustratos con poca retención de agua, aunque buena aireación, mientras que las partículas menores de 0,25 mm tienen poros de tamaño pequeño (menores de 30 micras),
lo que hace que el sustrato de esas características retenga una gran fracción de agua dificilmente disponible para las plantas y posea una aireación deficiente.

4.3. Porosidad total.

Se define como el volumen porcentual del sustrato no ocupado por sus propias partículas. Una parte de este volumen corresponde a los poros que dan aireación a las raíces y son los de tamaño mayor a 30 micras. El resto de la porosidad es de tamaño pequeño (menores a 30 micras) y ofrecen una fuerte retención de agua, pues esta queda en forma de película alrededor de las partículas del sustrato, después del riego. Se estima óptimo un valor del 70 a 90% del volumen del sustrato.

Se denominan macroporos a los mayores de 30 micras, los cuales se vacían de agua con el drenaje. Los microporos son llamados también capilares, su tamaño es menor de 30 micras y solo retienen agua, y no dan aireación a las raíces. Una porosidad de tamaño entre 30 y 100 micras da suficiente retención de humedad, pero si el tamaño oscila entre 30 y 300 se tiene una suficiente retención de agua y aireación radicular.

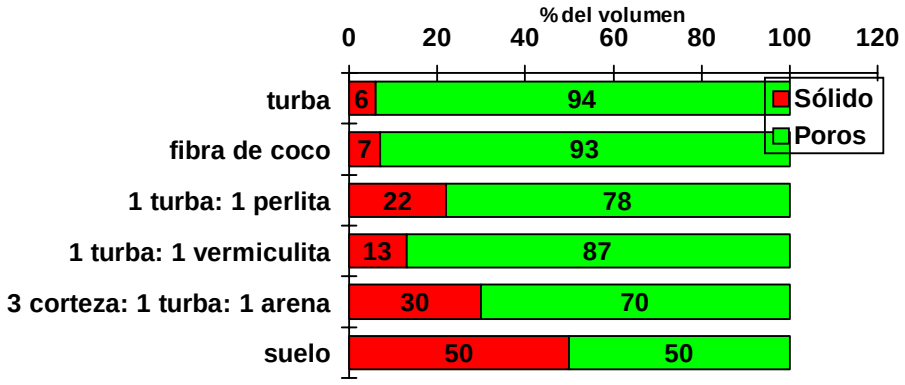

Gráfico 2. Ejemplos de mezclas de sustratos y su relación de porosidad total y sólidos.

La mayoría de los suelos minerales tienen aproximadamente un 50% de sólidos y 50% de poros por volumen, los sustratos a base de materia orgánica son porosos en un 75 a 85 %, lo que mejora su capacidad de retención de agua y aire para el cultivo en potes o bandejas.

La falta de oxígeno reduce el crecimiento de las raíces y de la parte aérea de la planta, y cuando es por mucho tiempo puede llegar a provocar la muerte de las raíces.

El oxígeno tambien es requerido por los microorganismos y, por tanto, las plantas cultivadas en sustratos orgánicos, con poblaciones elevadas de microbios, requieren más oxígeno que las plantas cultivadas en sustratos minerales o inertes.

El gráfico 2 compara la relación porcentual de poros totales y sólidos de diferentes materiales y mezclas utilizados como medios de cultivo.
El medio a base de turba se considera ideal. En general los materiales a base de materia orgánica ofrecen las mejores características para un medio para potes.

4.4. Retención de humedad y aireación.

Un medio húmedo está compuesto de (**1**) las partículas sólidas del medio, (**2**) el agua que recubre la superficie de las partículas, y (**3**) el aire que ocupa el centro de los poros. Para asegurar un intervalo adecuado entre riegos y ofrecer suficiente aireación todo el tiempo, el balance de agua y aire, en los poros del medio, debe ser controlado con la selección de las partículas que constituyen el medio. Después del riego, 10 a 20% del volumen del sustrato debe estar ocupado por aire, en un pote de 17 cm. El contenido de agua disponible debe ser tan alto como sea posible, previendo que la porosidad y la densidad del total del medio sea adecuado.

Cuadro 2. Porcentaje del volumen total ocupado por sólidos, agua y aire a capacidad de campo y 15 Bar para varios sustratos y componentes en un pote de 17 cm (Nelson, 1991).

Material aparen. (g/l)	**Sólido**	**Agua %**		**Aire %**		**Agua %**	**Densidad**	
	%	**CC**	**15 Bar**	**CC**	**15 Bar**	**disponible**	**CC**	**15 Bar**
Suelo (arcilla arenosa)	53,3	39,8	6,4	6,9	40,3	33,4	1 698	1 364
Arena (grado concreto)	59,3	35,4	4,4	5,3	36,3	31,0	1 714	1 404
Turba (*Sphagnum*)	15,4	76,5	25,8	8,1	58,8	50,7	859	352
Vermiculita (Progro N°2)	17,3	53,2	29,1	19,5	43,6	24,1	738	497
Perlita (grado hortícola)	36,9	38,3	20,2	24,8	42,9	18,1	514	333
Poliestireno	64,6	10,5	1,0	24,9	34,4	9,5	120	25
Suelo turba arena (1:1:1)	45,4	48,7	8,5	5,9	46,1	40,2	1 595	1 193
Turba vermiculita (1:1)	13,1	70,3	24,1	16,6	62,8	46,2	853	391

La propiedad de aireación puede ser suministrada por componentes como vermiculita, perlita, poliestireno. La arena gruesa de grado de concreto (en vez de arena fina) podría también ser un excelente aditivo para aireación. La turba es un componente excelente para dar un alto contenido de agua disponible (Cuadro 2).

Cuando las tres propiedades (suficiente densidad, agua disponible adecuada, y aireación) no se pueden obtener de un componente, se requiere de una mezcla. Un suelo pesado, como base de una mezcla, ofrece un contenido alto de humedad disponible (40,2%) a expensas de aireación (5,9% a CC). Se necesita una mayor proporción de arena en esta mezcla.

Figura 4. El almácigo en suelo dificulta el manejo de enfermedades y plagas, el arranque provoca daños al sistema radical que atrasa la recuperación del transplante.

Figura 5. El almácigo en bolsas no resuelve los problemas derivados de la siembra en suelo, si no se usa un buen sustrato.

Figura 6. Los suelos tropicales en general son arcillosos; son inadecuados para el crecimiento de las raíces, cuando se usan solos como sustrato.

La mezcla de turba y vermiculita es excelente, con una densidad volumétrica de 853 g/l, un contenido de aire de 16,6 % a CC, y agua disponible del 46,2 % del volumen del pote. Para la mayoría de los cultivos el contenido de agua es aceptable, pero, en aquellos que enfrentan largos periodos de embarque o mantenimiento pobre en el mercado, una mezcla con contenidos mayores en agua disponible podrían ser mejores. La mezcla de turba es excelente en todos los casos.

Cuadro 1. Porcentaje del volumen del recipiente ocupado por agua y aire, a capacidad de pote, de tres medios, en cinco tipos diferentes de recipientes (Hartman,1991).

	Potes		**Bandejas**	
20 cm	**15 cm**	**10 cm**	**48 celdas**	**512 celdas**
	1 suelo : 1 arena : 1 turba			
45,0	47,2	51,2	52,9	54,3
9,5	7,4	3,4	1,7	0,3
	1 turba : 1 vermiculita			
64,4	67,9	75,2	79,5	84,8
22,5	19,0	11,7	7,4	2,1
	3 corteza de pino : 1 arena : 1 turba			
48,7	51,5	57,6	61,4	66,9
21,8	18,9	12,9	9,1	3,6

Como se ve en el Cuadro 1, el contenido de agua del medio después del riego aumenta con la reducción del tamaño y profundidad del pote. La fuerza de capilaridad que retiene el agua en las superficies del medio es equivalente en cada pote, pero la fuerza gravitacional que empuja el agua fuera del pote se vuelve mayor conforme el pote aumenta en profundidad. Con el aumento del contenido de agua viene una reducción en el contenido de aire. Un medio bien formulado, con valores altos de retención de aire y humedad, es adecuado para un amplio rango de tamaños de pote. Dos casos, para los cuales se han formulado mezclas especiales, son las bandejas y los recipientes más grandes (profundos) para plantas.

4.5. Agua facilmente asimilable.

Se define como la diferencia entre la cantidad de agua retenida por el sustrato, tras su saturación con un riego y posterior drenaje a una tensión mátrica de 10 cm, y la cantidad de agua que se encuentra en dicho medio a una tensión de 50 cm.

El valor óptimo oscila entre el 20 y el 30%. Valores altos pueden traer peligro de anoxia radicular, mientras que valores bajos significan necesidad de riegos demasiado frecuentes.

Los poros que se mantienen llenos de agua después del drenaje del sustrato son los de menor tamaño. Es necesario entonces distinguir entre:

- ✓ **El agua retenida por el sustrato y que es disponible para la planta.**
- ✓ **El agua retenida fuertemente por el sustrato que no es utilizable por la planta, ya que la succión aplicada por la raíz no supera la fuerza con que el agua es retenida por las partículas del sustrato.**

Por lo tanto, en un sustrato lo que interesa es la capacidad de retención de agua fácilmente disponible y no la capacidad de retención total de agua.

Un sustrato puede tener una baja capacidad de retención de agua facilmente disponible porque:

- ✓ **Su porosidad total es baja**
- ✓ **Los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad.**
- ✓ **Los poros son muy pequeños y la planta es incapaz de extraer una parte importante del agua antes de marchitarse.**
- ✓ **Una combinación de las situaciones anteriores.**

4.6. Estabilidad de la materia orgánica

Debe existir una buena estructura cuando es sembrada la semilla o las plantas son puestas en potes. Es importante que la descomposición de la materia orgánica, en el medio utilizado en los potes, sea mínima. La descomposición de los agregados orgánicos puede llevar a una textura más fina y una aireación pobre. Dentro del recipiente, el volumen del medio disponible es pequeño para el crecimiento de las raíces, cualquier reducción significativa es detrimental durante el desarrollo de las plantas. En un medio para cultivo en potes no son deseables materiales que descomponen rápidamente.

La situación es diferente para el cultivo de flores y hortalizas frescas en bancos donde el volumen del medio es lo suficientemente grande para permitir encogimiento. Con el tiempo la materia orgánica se deteriora y requiere reemplazarse, lo cual se hace por lo general, cada año.

4.7 Relación Carbono Nitrógeno

Es importante el contenido de nitrógeno (N) en relación con carbón (C) en el medio de enraizamiento. La materia orgánica se descompone principalmente por la acción de microbios. El carbono es el mayor componente de la materia orgánica (50% o más), el cual es utilizado por los microbios. El nitrógeno en la materia orgánica debe estar disponible, para los microbios, en cantidad de al menos 1 kg por cada 30 kg de carbono; de otra manera la descomposición se reduce. Cada vez que esta relación de 30 C:1 N es excedida, el N presente en el medio, o el añadido en el fertilizante, será utilizado por los microbios antes que por las raíces del cultivo; y en consecuencia el cultivo presenta deficiencia de N. Esta situación puede compensarse aumentando la aplicación de N.

La relación C:N del aserrín es cercana a 1 000:1. Se ha dicho que, además de la pequeña cantidad de N presente en el aserrín, la adición de 12 kg de N, por tonelada de aserrín, favorece la descomposición por los microbios. No es solo la relación C:N lo que determina lo adecuado de un componente orgánico para un medio de enraizado, también la tasa de descomposición. Mientras la corteza de pino tiene un índice C:N amplio de 300:1, su tasa de descomposición es baja y gradual, requiriendo unos tres años para descomponerse. La extracción de 3,5 kg de N por toneladas de corteza en tres años presenta una cantidad insignificante para cada fertilización. La corteza entonces es un buen componente para un medio de cultivo a pesar de su alto índice C:N. El aserrín, sin embargo, descompone en pocos meses y tiene un índice C:N más amplio de 1 000:1. La cantidad de N en este caso es mayor. La tasa de descomposición varía con la especie de madera.

Una relación C:N inferior a 20 es considerado óptima para el cultivo en sustrato, y se recomienda un valor de 10 a 12.

Cuadro 2. Relaciones C:N de varios materiales utilizados como medios de cultivo (Alvarado;1999).

Material	**Relación C:N** (peso/peso)	
Aserrín fresco	400-511:1	
Aserrín descompuesto	208-210:1	
Corteza de árboles	300:1	EEA"FBM"
Granza de arroz	224:1	
Broza de café	27,7-24,9:1	76,3:1
Compost	25-35:1	20,1-31,3:1
Bagazo de caña	50:1	53,2:1
Boñiga de equino	25:1	
Boñiga de bovino	18:1	
Gallinaza	4-6,3:1	24,8:1

4.8. pH.

Es la medida de la concentración de acidez presente en la solución del sustrato que controla la disponibilidad de todos los nutrientes. pH 7 es neutro, menor de 7 es ácido, y mayor de 7 es alcalino o básico.

El pH de la solución del sustrato depende de la especie a cultivar y es importante porque determina la disponibilidad de nutrientes para la planta. Los cultivos de invernadero caen en dos categorías. La mayoría crece mejor en un pH ligeramente ácido entre 6,2 a 6,8 en un medio con tierra y 5,4 a 6,0 en un medio sin tierra. Un número pequeño de cultivos son llamados acidófilos pues crecen mejor en un pH muy ácido de 4,5 a 5,8. El cuadro 3 ofrece una lista de plantas y sus requerimientos óptimos de pH.

La turba, corteza de pino, y muchos composts son ácidos. La turba puede tener un pH bajo 4,0. La arena y perlita son neutros pH 7. Vermiculita y algunas cortezas de maderas duras son alcalinas pH sobre 7,0. Es importante revisar el pH del medio una vez formulado y ajustarlo al monto adecuado antes de la siembra.

Con valores de pH inferiores a 5 pueden aparecer síntomas de deficiencias de N, K, Ca, Mg y B. Con valores superiores a 6 se producen problemas en la disponibilidad de Fe, P, Mn, Zn y Cu.

El ajuste de pH en un sustrato ácido se realiza con cal o dolomita, mientras que un pH alcalino se hace con azúfre. Un kg de carbonato de calcio eleva el pH entre 0,3 y 0,5 unidades a un metro cúbico de turba. Debe tomarse en cuenta el pH del agua de riego.

Los sustratos de origen orgánico presentan un alto poder de compensación de las variaciones de pH.

Cuadro 3. Valores óptimos de pp. del sustrato para algunas especies hortìcoeas y ornamentales (Ballester, 1992).

Especie	**pH**	**Especie**	**pH**	**Especie**	**pH**
Sandía	5,5 a 6,5	Anturio	4,5 a 6,2	Dalia	6 a 8
Espárrago	6,5 a 7,5	Araceas	4,5 a 5,5	Dracaena	6 a 6,5
Zanahoria	6,0 a 7,0	Aster	6,5 a 7,5	Ficus	5,7 a 6,7
Pepino	5,5 a 7,0	Azalea	4,2 a 5,5	Gerbera	5,5 a 7,5
Fresa	5,5 a 6,5	Begonia elatior	4,7 a 5,2	Gloxinia	5,2 a 6,5
Berenjena	5,5 a 7,0	Cactus	6 a 8	Helechos	4,2 a 5,2
Melón	6,0 a 7,0	Calla	4 a 7	Orquídeas	4,5 a 6,5
Chile dulce	5,5 a 7,0	Camelia	4,2 a 5,5	Palmas	5,2 a 6,7
Tomate	5,5 a 7,5	Crisantemo	6 a 7,5	Rosa	6 a 7

4.9. Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

Es una medida de la capacidad de un sustrato para contener los nutrientes que se encuentran en él. Estos nutrientes no son lavados por el agua, por lo que están disponibles para la planta. Esto significa que con un valor alto de CIC la fertilización de base tendrá mayor eficiencia por no ser tan sensible a la lixiviación. Ese medio podrá almacenar más cantidades de K, Ca y Mg que un medio con una CIC más baja. También hay menos riesgos de exceso de K, Ca o Mg, ya que el complejo de cambio puede absorber el exceso. Con un sustrato de baja CIC las fertilizaciones deben ser más pequeñas y frecuentes.
En los suelos la CIC se expresa en términos de miliequivalentes por 100 g de suelo (me/100 g), pero en los sustratos sin tierra se acostumbra medirla como miliequivalentes por 100 centímetros cúbicos (me/100 cc).

Una cantidad de 6 a 15 me/100 cc es considerada alta y deseable para un medio para invernadero. Con cantidades más bajas, el medio no actuará como un reservorio adecuado de nutrientes, y son necesarios fertilizaciones frecuentes. La arcilla, turba, vermiculita, así como la mayoría de materias orgánicas compostadas tienen una alta CIC; arena, perlita, poliestireno, y materiales sin compostar como la granza de arroz y cáscara de maní tienen una CIC insignificante. En la preparación de un sustrato, es deseable incluir un componente con una CIC alta.

4.10. Salinidad (conductividad eléctrica) y presión osmótica (PO)

Provienen de los fertilizantes, de impurezas en el agua de riego y de materia orgánica como el estiércol y otros componentes del medio. Todos los nutrientes disponibles para absorción reciben el nombre de sales solubles. Su contenido inicial debe ser bajo, para evitar daños en las plantas jóvenes que son sensibles a ellas.

La presión osmótica (PO) es muy importante para la asimilación del agua por las plantas. Según la época del año y el tipo de planta, se debe mantener entre 0,5 y 2 atmósferas, al 50% de humedad.

La conductividad eléctrica puede ser utilizada para indicar la presión osmótica de la solución nutriente en el sustrato, ya que ambas magnitudes se relacionan con la fórmula:

$$PO\ (atm) = 0{,}36 \times CE\ (mS/cm\ a\ 25°C)$$

La asimilación del agua por la planta depende fundamentalmente de la CE del sustrato. Esto significa que cuanto mayores son las necesidades de agua para la planta (mayor tasa de transpiración y mayor intensidad de luz) tanto menor debe ser la CE en el medio de nutrición.

Por lo tanto si la PO es muy baja las plantas pueden sufrir deficiencias de nutrientes aunque toda la solución del sustrato sea asimilable.

Cuanto mayores sean las necesidades de agua de la planta (mayor tasa de transpiración y mayor intensidad luminosa) tanto más baja debe ser la CE en el medio.

Figura 7. Un sustrato, a base de tierra, con el tiempo y el manejo se compacta y pierde sus características adecuadas.

Figura 8. Las pocas raíces crecen alrededor del sustrato malformando la planta.

Figura 9. Es importante un buen manejo general del vivero así como el uso de un buen sustrato.

Los valores de la conductividad eléctrica representan bien la situación de salinidad de un sustrato.

Muy bajo	**0,75 mS/cm a 20°C**
Para semilleros y bandejas de repique	**0,75 a 2**
Apropiado para la mayoría de las plantas	**2 a 3,5**
Elevado para la mayoría de las especies	**+ de 3,5**

Componentes de un sustrato.

Existen muchos materiales que se pueden escoger como componentes de un sustrato. El cuadro 4 presenta una lista de ingredienntes comunes y las funciones que cada uno desempeña. Existen componentes alternativos para cada una de las cuatro funciones necesarias para un medio. La selección del componente se basa en la función requerida, el costo y la disponibilidad.

Pueden ser mezclados, en proporciones definidas por volumen, para producir un sustrato que llena los objetivos de un programa de preparación de medios de cultivo.

Cuadro 4. Componentes de sustratos, sus funciones y costo en EU (Nelson, 1991).

Componente	**Retención de agua**	**Retención de nutrientes**	**Aireación**	**Peso ligero**	**$/m^3**
Tierra	x	x			14,12
Turba (Sphagnum)	x	x			33,52
Corteza (< 10 mm)	x	x			19,76
Aserrín (descompuesto)	x	x			19,76
Estiércol	x	x			19,76
Vermiculita	x	x		x	51,18
Arcilla calcinada	x	x	x		
Corteza (10 a 20 mm)	x	x	x		19,76
Arena (grado concreto)			x		19,76
Perlita			x	x	52,94
Poliestireno			x	x	

Es esencial poner atención a las propiedades físicas y químicas de los materiales seleccionados como ingredientes básicos. También deben ser considerados aspectos prácticos y económicos de la preparación de los sustratos. Se han propuesto los siguientes criterios para la evaluación y selección de materiales como ingredientes para la preparación de medios de cultivo estandarizados:

- ✓ **producir buen drenaje y aireación efectiva;**
- ✓ **química y biológicamente estable cuando es pasteurizado;**

- ✓ **bajo en sales solubles;**
- ✓ **disponible listo, en grado física y químicamente uniforme;**
- ✓ **económico;**
- ✓ **capaz de retener humedad y nutrientes, entre aplicaciones, de modo que llene las necesidades del cultivo;**
- ✓ **de peso liviano;**
- ✓ **fácil de incorporar en una mezcla;**
- ✓ **de pH aceptable.**

Algunos están disponibles en general, otros son solo locales.

5.1. Suelo

Los suelos clasificados como franco arenosos o francos son ingredientes buenos para la preparación de mezclas con suelo. Los francos tienen las características físicas deseables de las arcillas y las arenas sin mostrar las propiedades indeseables de soltura extrema, baja fertilidad, y baja retención de humedad por un lado, y adherencia, compactación, drenaje y movimiento lento del aire por el otro. Puesto que los problemas que envuelven el drenaje y la aireación son acentuados cuando el suelo es colocado en un recipiente, los franco o franco arenosos son preferidos a los franco limosos o arcillosos.

Los suelos arenosos generalmente están bien drenados y la aireación no es problema cuando son utilizados para cultivos en recipientes. Los nutrientes para las plantas y en particular los elementos traza, son relativamente bajos. La humedad y la retención de nutrientes en estos suelos pueden ser mejorados por la adición de materia orgánica.

5.2. Componentes orgánicos

Las características deseadas de un componente orgánico utilizado en medios para potes son los siguientes:

- ✓ **Una gran proporción de microporos para mejorar la capacidad de retención de humedad.**
- ✓ **Una buena textura que resista la compactación;**
- ✓ **Una CIC relativamente alta para ayudar a retener los nutrientes, y**
- ✓ **Peso liviano (densidad) para facilitar el transporte y el manipuleo.**

Los sustratos son enmendados con cantidades grandes de materia orgánica para mejorar el drenaje y la aireación (figura 3). Las cantidades de materia orgánica pueden oscilar de 20 a 50 % del volumen, para muchos cultivos, y hasta el 100 % para cultivos como azaleas.

La selección apropiada del componente orgánico del medio de cultivo es el mejor método para evitar el problema de toxicidad de amoniaco siguiente a la pasteurización.

Deben ser escogidos, de preferencia, materiales ricos en celulosas más resistentes y compuestos de ligninas (maderas y fibras vegetales) que aquellos altos en proteínas, aminoácidos, y otros componentes nitrogenados (estiércoles). Más aún, las formas resistentes de materia orgánica persisten en el sustrato por periodos largos de tiempo para mantener condiciones bien drenadas y aireadas.

Aunque puede ser una fuente de nutrientes para las plantas, la materia orgánica no debe ser escogida sólo con base en este criterio. Cualquier respuesta a los nutrientes, que pueda resultar de su uso, es secundaria al propósito primario de la materia orgánica, que es mejorar la estructura del suelo.

5.3 Estabilidad de la materia orgánica

La materia orgánica mejora las características físicas y químicas del medio. Pero, si su descomposición es rápida produce una disminución en el volumen de sustrato, su encogimiento, y reduce su capacidad de intercambio de gases al transformarse en partículas más finas y compactas. La paja, broza de café y aserrín se descomponen rápidamente y por tanto no son deseables. La granza de arroz, fibra de coco, cascarilla de café, y materiales compostados se descomponen lentamente, favoreciendo las características del sustrato.

5.3.1. Relación Carbono:Nitrógeno

Para cada medio o sustrato orgánico, el contenido de nitrógeno en relación con el carbón, es una característica muy importante que se debe considerar. La descomposición de la materia orgánica ocurre por la acción de los microbios. En un suelo el nitrógeno debe estar disponible a los microbios en una cantidad de al menos 1 a 30 de carbono. Cuando la relación C:N es mayor a 30, el nitrógeno disponible es utilizado primero por los microbios que por las raíces del cultivo, creándose deficiencias nutricionales por este elemento. Se deben preferir materiales estabilizados o de descomposición lenta, o en su defecto, hacer aplicaciones adicionales de nitrógeno fertilizante.

5.4. Residuos de la madera

En algunas áreas, los residuos de la madera están disponibles en grandes cantidades a un costo relativo bajo, dependiendo del costo de transporte. Los residuos de madera incluyen aserrín, cortezas, y virutas. Constituyen una fuente de materia orgánica la cual, con ciertas modificaciones, puede ser utilizada para preparar medios de cultivo. La utilización de nitrógeno por los microbios, durante la descomposición, es la mayor dificultad encontrada en el uso de los residuos de la madera como enmienda para sustratos.

5.4.1 Aserrín

Es el residuo de la madera más común y más ampliamente distribuido. Tiene muchas características que lo hacen deseable para la preparación de sustratos. La especie de árbol, del cual deriva, influencia la durabilidad del aserrín y la cantidad de nitrógeno complementario requerido para mantener un crecimiento normal de las plantas. Algunas especies contienen toxinas que pueden tener efectos negativos sobre las plantas cultivadas.

En la mayoría de las mezclas, el efecto del aserrín sobre la acidez es ligero; ocasionalmente el pH del sustrato es elevado seguido a la descomposición. La turba es más ácida que la mayoría de los aserrines. El pH del aserrín puede variar con la especie de origen entre 4,8 a 6,8.

Todos los tipos de aserrín mejoran las condiciones físicas del sustrato. El tamaño de partícula del aserrín permite que sea fácil su mezcla con otros componentes. Es comparable con la turba en su efecto favorable sobre la densidad, porosidad y aireación. Después de la descomposición ocurre un aumento en la agregación e intercambio de cationes en sustratos enmendados con él. El contenido muy bajo de nitrógeno del aserrín excluye cualquier dificultad con la estabilidad química y biológica posterior a la pasteurización. Más aún, el aserrín con alto contenido de lignina es una forma relativamente durable de materia orgánica.

La solución obvia al problema de reducción del nitrógeno es agregar nitrógeno a las mezclas con aserrín. La adición de nitrógeno de 1 a 2 % de N por peso de aserrín compensará la reducción de nitrógeno.

La cantidad de nitrógeno que debe ser agregado para compensar la merma de nitrógeno por el aserrín puede elevar las sales solubles a concentraciones fitotóxicas. Este problema es crítico especialmente cuando son usadas formas inorgánicas solubles de nitrógeno. Las fuentes orgánicas de nitrógeno por lo general no aumentan las concentraciones salinas inmediatamente, pero su uso presenta problemas si la mezcla, con el fertilizante orgánico agregado, es pasteurizada. Se forman cantidades tóxicas de amonio poco después de la pasteurización, causando daño severo a las plántulas y los esquejes. El nitrógeno orgánico puede ser aplicado después de la pasteurización, pero esto es contrario a los programas recomendados para el control de enfermedades en los cuales todos los materiales agregados a la mezcla deben ser pasteurizados.

Figura 10. Un buen sistema radical favorece la recuperación del transplante y buenas cosechas precoces.

Figura 11. Un buen sustratos es lo más adecuados para la reproducción de plantas en condiciones de invernadero.

Figura 12. Para tener plantas homogéneas en invernadero se requieren sustratos estandarizados.

Otra forma de resolver el problema de la reducción de nitrógeno es el compostado del aserrín antes de ser incorporado a una mezcla de sustrato.

Es necesario pasteurizar las mezclas que contienen aserrín para eliminar las esporas y micelio de hongos de la madera que pueden estar presentes. Estos hongos crecen rápidamente en las condiciones de temperatura y humedad encontrados en el invernadero y desarrollan grandes estructuras reproductivas sobre la superficie de la mezcla. El crecimiento de la planta no es afectado por estos hongos, pero las estructuras reproductivas pueden interferir la aplicación de agua a la superficie del sustrato. También reducen la apariencia de las plantas en potes.

El aserrín debe compostarse porque en estado fresco su tasa de descomposición y demanda de nitrógeno es alta y puede contener sustancias tóxicas como resinas, taninos, o turpentina.

Existen algunos montones de aserrín abandonado disponibles. Si un montón ha permanecido por un año o más, el aserrín debajo la superficie debe estar bien compostado. Se debe tener cuidado de evitar áreas sin lixiviar, en la profundidad del montón, que son fuertemente ácidas y dañinas a las plantas. Estas áreas no reciben suficiente oxígeno durante la fermentación, y como resultado, se forman ácidos orgánicos volátiles que son atrapados aquí. Estas áreas problemáticas son identificadas por el color oscuro del aserrín y su olor picante. Este aserrín puede ser recuperado exponiendolo al aire y el lavado por la lluvia, pero aún permanecerá más ácido que el aserrín compostado adecuadamente.

5.4.2 Burucha de madera

Es dificil utilizar burucha en sustratos por el gran tamaño de partícula. Son más útiles como cobertura. Al igual que el aserrín, la burucha causa el problema de reducción del contenido de nitrógeno, cuando es incorporado en una mezcla de sustrato. Los efectos a largo plazo de la burucha sobre las propiedades del sustrato son similares a las del aserrín.

5.4.3 Corteza

La corteza es un desecho de la industria maderera de pulpa y *plywood* y puede ser obtenido a un costo bajo. Tiene un potencial considerable para uso en varias fases en la producción de plantas en invernadero. Algunas especies de corteza son utilizadas casi exclusivamente para el medio de crecimiento de orquídeas epífitas. Otras cortezas de varias especies se han utilizado como cobertura en rosas y otros ornamentales. Pueden usarse como enmiendas del suelo si hay un tamaño adecuado de partícula disponible. El tamaño de partícula puede ser reducido por el paso a través de un molino de martillos seguido de un tamizado en diferentes tamaños de malla. Cuando la corteza es incorporada en mezclas de suelo, la reducción de nitrógeno no es tan severa como con aserrín; del mismo modo cortezas de maderas suaves son más durables que aquellas derivadas de maderas duras. Las resinas y taninos en la corteza son problablemente responsables de su longevidad.
Sin embargo siempre se necesita una cantidad de nitrógeno complementario para llenar las necesidades de los microbios del suelo.

Se ha informado de cortezas frescas de maderas duras y suaves que han causado supresión y daño a las plantas. Algunos componentes desconocidos aparentemente son destruidos durante el proceso de compostado por un periodo de 30 días. Una explicación es que el material tóxico es ácido acético el cual es liberado en las etapas iniciales del compostado y luego es destruido y transformado en las etapas siguientes del compostado. El compostado tiene un efecto benefico adicional para la corteza y el aserrín. La corteza fresca y el aserrín no retienen el fertilizante muy bien por su baja capacidad de intercambio de cationes de cerca de 8 me/100g (cerca de 1,6 me/100 cc). Después del compostado, la CIC aumenta a unos 60 me/100 g /cerca de 12 me/100 cc) o más, lo que da una alta capacidad de retención de nutrientes a la corteza y el aserrín.

5.5 Estiércol

El estiércol no es recomendado como fuente de materia orgánica para preparar medios de cultivo. La pasteurización, considerada un procedimiento esencial en la producción de cultivos en invernaderos, no es compatible con el uso de estiércol. La materia orgánica en el estiércol es alta en proteínas y otros compuestos nitrogenados que con facilidad son convertidos en amonio y nitritos. Este proceso de conversión, que comienza tan pronto es producido el estiércol, continúa a un ritmo rápido después que es mezclado con el sustrato.

Los estiércoles son caros y a veces difíciles de obtener. Desde el punto de vista de estandarización del medio de cultivo, los estiércoles varían considerablemente en composición y textura. Si se comparan con turba, son relativamente bajos en el porcentaje de materia orgánica contenida. El tipo de animal, su edad, condición, y la alimentación que consume afectan la calidad del estiércol. La cama utilizada varía en su capacidad de absorción para conservar la orina y los efectos que sus propiedades tienen en el producto final. Los métodos de manipulación y almacenado también tienen un efecto marcado en la calidad del estiércol. Puesto que estos factores cambian a través del año, es casi imposible asegurar partidas comparables.

El estiércol descompuesto de vacuno es el mejor tipo para utilizar en invernadero. Otros tipos son más fuertes y deben ser utilizados con cautela y en pequeñas cantidades. Siempre, como en el caso de la gallinaza, el contenido de amonio es muy alto y causa pudrición y daño al follaje. El estiércol de vacuno es incorporado a un sustrato a una tasa del 10 al 15 % por volumen. El medio después es pasteurizado con vapor o fumigante químico para eliminar organismos que causan enfermedades, insectos, nematodos, y semillas de malezas. Seguido a la pasteurización, es muy importante que cada vez que se requiere agua, se debe aplicar una cantidad suficiente para asegurar un lixiviado de manera que no ocurra una acumulación de nitrógeno amoniacal originado en el estiércol. Aún si no es plantado un cultivo en el sustrato, este debe ser lixiviado periodicamente. Una acumulación de nitrógeno amoniacal contribuye al contenido total de sales del sustrato.

5.6 Residuos de cosechas

Ocasionalmente son usadas una variedad de enmiendas orgánicas, ocasionalmente, que incluyen paja, bagazo de caña, cascarilla de café y granza de arroz entre otros . Todos estos materiales pueden ser usados con éxito pero requieren conocimiento y manejo cuidadoso. Estos materiales tienen un índice C:N amplio que causa demanda de nitrógeno. Si este es calibrado y se agrega nitrógeno extra, no aparecen problemas.

5.6.1 Cascarilla de arroz

El tamaño de partícula es ligeramente mayor a la de aserrín. La cascarilla es incorporada con facilidad en un medio para mejorar el drenaje. Está disponible a un costo bajo en cierta áreas y puede ser utilizado en sustitución o junto con turba. Las cascarilla de arroz es de peso ligero, uniforme en grado y calidad, más resistente a la descomposición que el olote y posee menor efecto en la reducción del nitrógeno por los microbios del suelo. No introduce plagas, pero es recomendada la pasteurización del sustrato, porque contiene muchas semillas de malezas.

Se utiliza, sin compostar, como un sustituto de la vermiculita por su peso ligero, volumen y resistencia a la descomposición. Sus características se pueden mejorar mediante molienda. Es un material rico en carbono. La granza tiene contenidos altos en potasio y sílice.

5.6.2 Paja

La paja es usada en ocasiones como enmienda de un sustrato pero debe ser recortada en pedazos de 8 cm o menos para permitir una incorporación uniforme a la mezcla. El aporte de trabajo es caro. Puesto que la paja descompone rápido, debe ser agregada dos a tres veces al año, lo cual también hace que sea una propuesta cara.

La paja es más deseable que el estiércol como fuente de materia orgánica biologicamente activa. El contenido de sales solubles en la paja es muy bajo, es de grado y calidad uniforme, y es facilmente disponible a un costo bajo relativo cuando se compara con estiércol. El medio de cultivo preparado con paja puede ser pasteurizado sin el desarrollo de amonio tóxico. De hecho, la paja picada puede ser usada para prevenir la formación de amonio en sustratos cuando este elemento es un problema después de la pasteurización.

5.6.3 Olotes

Molidos o enteros los olotes de maíz son usados como cobertura de rosas en invernadero. Ellos preveen la evaporación rápida de la humedad de la superficie, y mantienen temperaturas más uniformes, y protegen de la dispersión producida por el agua de riego. Conforme se descomponen, se liberan cantidades grandes de dióxido de carbono a la atmósfera del invernadero.
Este enriquecimiento con dióxido de carbono es el beneficio más importante derivado del uso de olotes y otros materiales orgánicos de rápida descomposición en invernaderos.

Los olotes raramente se usan como fuente de materia orgánica para medios de cultivo. En la producción de rosas, los olotes semidescompuestos de la cobertura pueden ser mezclados en el sustrato después de la remoción de las plantas viejas. El tamaño de partícula disponible generalmente puede ser demasiado grueso para la mayoría de los cultivos en potes. Contienen 6 a 7 % de azúcar lo que da un incremento muy rápido en la actividad microbiana después que son aplicados en la superficie como cobertura o incorporados en el medio de crecimiento. La incorporación de olotes produce una reducción en la concentración de nitrato en el medio, por lo que es necesaria la aplicación complementaria para prever una deficiencia en los cultivos en crecimiento.

5.6.4 Broza de café

Se refiere a la pulpa (epicarpio y mesocarpio) del fruto del café que se constituye en un desecho abundante y problemático. Se acumula en masas húmedas, difíciles de airear y secar. Por lo general se prefieren materiales de la cosecha del año anterior, que ya se ha estabilizado y descompuesto. Los materiales frescos son ricos en cafeína y fenoles y se ha determinado que son alelopáticos.

La broza de café es rica en nutrientes y materia orgánica pero composta lentamente debido a su alto contenido de humedad. Para manejar el contenido alto de humedad, se debe permitir que drene, y luego es mezclada con material seco y estiércol para ser compostada.

Su uso en la formulación de sustratos para potes no es adecuado porque descompone muy rápido, pierde la forma y, si no está bien mezclado, forma masas (pelotas) que limitan la aireación de las raíces.

5.6.5 Desechos de frutas

Los residuos del proceso de jugos y enladado son ricos en nutrientes. Por lo general son muy húmedos por lo que tienen problemas de aireación y compactación si no se manejan correctamente. Deben ser compostados mezclados con materiales como paja, granza o aserrín. Las cáscaras son ricas en fósforo y potasio y son buenos activadores de las pilas de compostado.

5.6.6 Bagazo de caña de azúcar

Se refiere a dos tipos de subproductos de la industria azucarera; a la porción fibrosa de la caña, después de la extracción del jugo, se le conoce como bagazo y a los lodos de los filtros, la torta remanente, conocida como cachaza. El desecho primario de la molienda y prensado, es rico en fibras relativamente grandes y suelto. Se produce en grandes cantidades, es muy poroso y liviano. Debe compostarse para eliminar los azúcares remanentes que producen ácidos acéticos al oxidarse.

Figura 13. Los almácigos en bandeja son semilleros portátiles que reducen los daños a las raíces dando buena respuesta al transplante.

Figura 14. Los residuos de cosechas que son de utilidad para la producción de sustratos.

Figura 15. De izquierda a derecha, entre cada puño hay una semana de diferencia. Se observan cambios importantes en las características del material, al compostar.

El bagazo compostado, cuando seco, absorbe humedad rápidamente, hasta siete veces su peso en agua, sin volverse muy húmedo. Se descompone rápidamente en el sustrato por lo que puede producir competencia por nitrógeno y reducción del volumen. La CIC es relativamente alta y nutricionalmente tiene cantidades adecuadas de calcio y elementos traza para el uso con plantas sin adiciones fuertes de enmiendas.

El otro material es la torta obtenida de los filtros (cachaza de ingenio, no de trapiche). Muy rica en elementos minerales, en especial fósforo, potasio, calcio y magnesio. Tiene un pH alto (cerca de 8 a 10), pero es bajado con el compostado (5,5) y la adición de un fertilizante acidulante, como sulfato de amonio.

El material compostado es muy adecuado para su uso como medio.

5.6.7 Fibra de coco

El uso de fibra de coco (fibras y polvo) en medios ha sido probado con éxito. El material es liviano, poroso, y tiene una excelente capacidad de retención de humedad. Un gramo de fibra de coco, fínamente molido, absorbe 8 gramos de agua. El cuadro 5 destaca sus características comparadas con las de un *peat*.

Cuadro 5. Propiedades del polvo de fibra de coco comparado con turba (Miller & Jones, 1995).

Propiedad	fresca	3-4 meses	3-4 años	Turba
Densidad (g/cc)	0,066	0,054	0,054	0,084
Poros totales (%)	95,45	96,30	96,30	94,17
Volumen de aire %	39,50	22,30	33,90	31,47
Agua fácilm. disponible	15,60	22,30	33,90	18,90
pH (agua)	5,77	5,98	5,98	5,34
Conductividad Electrica (us/cm)	600,00	108,00	235,00	130,00
Materia Orgánica %	92,28	96,45	92,07	82,24
Tasa de descomposición	56,05	52,63	58,33	45,27
N total mg/100g	510,00	529,00	796,00	921,00
CIC meq/100g	107,00	120,00	150,00	130,00

De la cáscara de la pipa se aprovecha la fibra y la cáscara. La fibra es utilizada para la fabricación de varios artículos, la cáscara puede ser procesada para producción de sustratos.

En Tailandia la cáscara es compostada por 60 días para luego ser utilizada como sustrato.

5.7 Turba (Peat)

El término turba (*peat*) se refiere a varios materiales que son similares en origen pero muy distintos en su composición botánica y en sus propiedades físicas y químicas.
La turba se forma por la acumulación de materiales específicos de plantas en lugares mal drenados.

La turba consiste en vegetación acuática, pantanosa o de ciénaga parcialmente descompuesta. La composición de los diferentes depósitos de turba varía mucho, dependiendo de la vegetación original, estado de descomposición, contenido mineral y grado de acidificación.

El tipo de materia vegetal y su grado de descomposición determina en gran medida el valor de la turba para el uso en medios de cultivo.

La turba puede ser clasificada en cuatro tipos distintos: (1) turba de musgo *Sphagnum*; (2) turba de musgo Hypneum; (3) turba de cañuela y junco; y (4) turba de humus o estiércol.

De los tipos de turba; la turba de musgo es la menos descompuesta, y proviene de *Sphagnum*, *Eriophorum* y otros musgos. La turba que proviene de otras clases de musgos se deshace con facilidad, comparada con la originada por el *Sphagnum*, siendo preferible esta. Las turbas de cañuela y otras plantas acuáticas se descomponen rápidamente.

5.7.1 Turba de musgo Sphagnum (Peat moss)

Es la forma de materia orgánica más popular para la preparación de sustratos para potes. Satisface más el criterio para la selección de ingredientes de sustratos que cualquier otra forma de materia orgánica disponible para la industria en invernadero. Está disponible lista, es baja en sales solubles, fácil de mezclar con otros componentes cuando húmeda, uniforme en calidad dentro de una marca, y de larga duración en un sustrato. El drenaje y la aireación son muy mejorados. No agrega cantidades apreciables de nutrientes, ni su uso resulta en una disminución en los nutrientes disponibles. La acidez de esta turba varía con su origen, pero en general es bastante ácida. El pH se ajusta fácilmente con encalado. El aspecto más importante es que no ocurren cambios biológicos o químicos, en el medio de cultivo, preparado con esta turba después de la pasteurización. Tiene la mayor capacidad de retención de humedad que cualquier otro tipo de materia orgánica y mantiene esta propiedad cuando se remoja después de secada al aire.

5.8 Compost

No se refiere a un material específico sino a un proceso, que bien conducido mejora las propiedades físicas y da un balance a la relación C:N, en el material orgánico utilizado para la producción de sustratos. Un buen compostado puede producir un material con casi todas las propiedades de un buen sustrato, peso ligero, buena capacidad de retención de humedad, sin ser demasiado caro.

El compost es muy útil cuando es mezclado con ingredientes menos absorbentes en medios utilizados para enraizamiento de esquejes, o para el transplante de plantas bien establecidas.
El aumento del contenido de materia orgánica en el sustrato se logra mejor por medio de la adición de materiales orgánicos compostados. El uso de materiales orgánicos frescos debe ser evitado porque el crecimiento de las plantas y la descomposición de

los materiales requieren nitrógeno. Como resultado, el crecimiento de las plantas es reducido debido a la competencia por nitrógeno

Un buen proceso debe asegurar un producto maduro y uniforme. En general el proceso de compostado rápido mejora las características físicas, químicas y biológicas de los materiales orgánicos frescos, los hace más estables, homogéneos, manejables, más porosos, mejoran sus características de retención de humedad, aireación y capacidad de intercambio de cationes.

5.9 Componentes inorgánicos

Los componentes inorgánicos son incluidos en medios para potes para mejorar las características físicas, drenaje y aireación debido al aumento de los macroporos. En algunos casos el componente inorgánico es de peso muy ligero; mientras otros son de peso considerable.

Cuadro 6. Características de varios componentes, orgánicos e inorgánicos, de sustratos (Miller & Jones, 1995).

Componente	**Densidad** kg/m^3	**pH**	**nutrientes**	**esterilidad**	**CIC** meq/100g
Turba (*Sphagnum spp.*)	96,1 - 128,2	3,5 - 4,0	mínimos	variable	180
Vermiculita	64,1 - 120,2	6,0 - 7,6	K-Mg-Ca	sí	82
Perlita	72,1 - 112,1	6,8 - 8,0	ninguno	sí	3,5
Corteza de pino	128,2 - 448,6	3,3 - 6,0	mínimos	variable	52,6
Fibra de coco	84,0 - 54	5,8 - 6,0	N	variable	120-150

El cuadro 6 muestra las buenas características de la fibra de coco comparada con otros materiales de origen orgánico. Pero hace falta conocer otros materiales de origen local que tengan similares cualidades.

5.9.1 Agregados gruesos

En general son usados varios tipos de materiales gruesos para preparar medios. Son incluidos arena, perlita, vermiculita, arcilla calcinada los cuales son añadidos a los medios de cultivo para aumentar el número de poros grandes, para reducir la capacidad de retención de humedad y para mejorar el drenaje y la aireación. Un agregado grueso es un componente esencial para el tipo de sustrato requerido para plantas que crecen en recipientes.

5.9.1.1 Grava

La grava y arena de origen calcáreo, deberán ser evitadas, porque estos materiales tienen un contenido alto de carbonato de calcio, el cual pasará del medio a la solución de nutrientes, obteniendose así un pH muy elevado.

Este incremento en la alcalinidad frena la absorción del hierro, causando su deficiencia en las plantas. La mejor grava o arena será siempre aquella de origen volcánico.Tanto la grava como la arena volcánica tienen muy poca influencia en el pH de la solución de nutrientes.

5.9.1.2 Arena

El tamaño de partícula de la arena es un factor crítico en la selección de este componente. Las arenas finas contribuyen muy poco en mejorar las condiciones del sustrato, y su uso puede resultar en una reducción del drenaje y la aireación. Algunas arenas pueden contener limo y arcilla por lo que se deben lavar completamente para remover estan partículas muy finas. Es preferible una arena limpia con tamaños de partícula de 0,5 a 2 mm de diámetro. El porcentaje de partículas medias (0,25 a 0,50 mm) y finas (0,05 a 0,25) deben formar una proporción relativa pequeña de la arena usada en un medio de cultivo. De otro modo, la adición de arena puede producir un cemento, junto con las partículas del suelo, y provocar una compactación mayor que la deseada.

La arena es el agregado grueso más económico pero a la vez el más pesado. El peso adicional aumenta los costos de manejo y embarque de plantas cultivadas en un medio que la contiene. Es baja en nutrientes y en capacidad de retención de humedad, y es quimica y biologicamente inerte. Un medio que contiene arena debe ser pasteurizado porque la arena puede ser contaminada con patógenos del suelo en el proceso de lavado. Sus especificaciones se dan en el cuadro 7.

La arena es un medio viejo favorito para enraizamiento de esquejes. También es utilizado para ofrecer drenaje y aireación en mezclas que incluyen *turba*, suelo, y compost. Deberá de lavarse y tamizar para dejarla libre de partículas mayores de 2 mm de diámetro o menores de 0,6 mm. Una arena tamizada para cultivo deberá drenar con facilidad y no empozarse después de un riego abundante.

Figura 16. Los sustratos deben ser probados y comparados para asegurar su calidad.

Figura 17. Las arcillas tienden a separarse del sustrato y acumularse en el fondo afectando el crecimiento de las raíces.

Figura 18 Una buena proporción de materia orgánica compostada mejora las características del sustrato.

Cuadro 7. Especificaciones de la arena de grado de concreto (ASTM) (Resh,1982).

Porcentaje del total que pasa el tamiz	Tamaño de malla (hoyos/pg^3)	Tamaño de partícula (mm)
100	3/8 pg	9,5
95-100	No. 4	6,4
80-100	No. 8	3,2
50-85	No. 16	1,6
25-60	No. 30	0,85
10-30	No. 50	0,51
2-10	No. 100	0,25

5.9.1.3 Perlita

Es un buen sustituto de la arena para dar aireación en sustratos. Su principal ventaja sobre la arena es su peso ligero cercano a 95 g/l (de 80 a 128 kg por m^3), comparado con 1 600 a 1 920 g/l de la arena. Perlita es una roca volcánica silicia que, triturada y calentada a 982°C, se expande para formar partículas blancas con numerosas celdas con aire encerrado. El agua puede adherirse a la superficie, pero no es absorbida. Perlita es esteril, quimicamente inerte, tiene una CIC insignificante de 0,15 meq/100 cc, y es casi neutra con un valor de pH de 7,0 a 7,5. Su efecto sobre el pH del sustrato no es apreciable. Su costo es mucho mayor que la arena. Como norma, es utilizada cuando es una ventaja la densidad baja del sustrato. No es afectada por la pasteurización.

Para uso hortícola el tamaño de partículas más usado es el de 1,58 a 3,18 mm. La perlita adsorbe de tres a cuatro veces su peso en agua, no tiene capacidad de intercambio iónico y no contiene nutrientes minerales. El tamaño más fino es útil como medio de germinación, mientras que las partículas mayores u hortícolas son las más apropiadas para mezclarlas con turba, a partes iguales.

Para un buena capacidad de intercambio, entonces, es esencial la mezcla con turba, vermiculita, corteza compostada, o con algún material con esta buena característica. Es gustada por su grado fino para cubrir semillas recién sembradas bajo techo, porque seca rápidamente después del riego y mantiene seca la superficie del medio de siembra, inhibiendo la presencia de enfermedades. Es también un excelente aligerador del suelo, para proveeer aireación y drenaje.

Se ha utilizado perlita grosera como medio para establecer esquejes de ciertas plantas de enraizamiento lento. En la mayoría de medios los tallos tienden a podrir cuando se colocan en neblina, antes de que las raíces inicien. La perlita grosera ofrece buen drenaje, así los tallos mantienen suficiente humedad para enraizar, pero no están tan mojados como para podrir.

La perlita seca es un poco polvosa; es mezclada con facilidad con suelo y turba. Tiene la tendencia a flotar hacia la superficie de la mezcla durante el riego, pero no es un problema crítico para el crecimiento de las plantas.

5.9.1.4 Pumita y escoria volcánica

La pumita, igual que la perlita, es un material silíceo de origen volcánico, puede utilizarse después de molido y tamizado para darle el tamaño adecuado. No necesita de calentarse. Tiene las mismas propiedades de la perlita, aunque es más pesada y no absorbe tanta agua, puesto que no ha sido deshidratada. Se utiliza en mezclas de turba y arena para el cultivo de plantas en maceta.

Es muy porosa, con peso cercano a 480 kg/m^3 y tiene aspecto de escoria de hornos. Pómez es un cristal natural color blanco que se forma cuando espuma de lava incandescente fluye del volcán y se enfría dando un sólido tan rápidamente que los cristales no fueron capaces de formarse. Es muy ligera y puede ser sustituida por perlita.

5.9.1.5 Vermiculita

Es producida para propósitos industriales y hortícolas por el calentamiento de vermiculita mineral a temperatura de 745 a 1 000°C. Las partículas de vermiculita expandida están compuestas por una serie de capas como placas con una muy alta capacidad de absorción de agua y nutrientes. La retención de nutrientes y agua ocurre en la superficie exterior y entre las capas de las partículas.

La densidad es baja 110 a 160 g/l. Esta propiedad liviana la hace muy deseable en sustratos para plantas en macetas. La capacidad de retención de agua de la vermiculita es alta por la extensa área superficial dentro de cada partícula. Las propiedades de aireación y drenaje también son buenas por los poros grandes entre las partículas. El tamaño común es de 6 a 10 mallas.

La CIC es de 19 a 22,5 me/100 g (1,9 a 2,7 me/100 cc). Los nutrientes minerales predominantes en vermiculita son potasio, magnesio y calcio. El contenido de potasio de la vermiculita llena parte, pero no todas las necesidades de un cultivo.

La vermiculita es un componente muy deseable en un sustrato sin suelo por su gran retención de humedad y nutrientes, buena aireación, y baja densidad. La vermiculita expandida puede ser comprimida con facilidad entre los dedos. Bajo el peso de sustratos con tierra, la vermiculita tiende a comprimirse, lo cual reduce mucho la aireación. Se rompe cuando es manipulada en condiciones húmedas. En consecuencia, es mejor empleada para plantas en potes donde la mezcla es utilizada una vez.

5.10 Agregados sintéticos

Son utilizados varios materiales plásticos como ingredientes de medios de cultivo. Algunos de ellos son subproductos de la industria del plástico; otros son preparados específicamente para su uso como sustratos para plantas. Son usados con más eficiencia como sustitutos de arena y perlita en mezclas preparadas con turba *Sphagnum* o corteza de pino.

5.10.1 Hojuelas de poliestireno

Un subproducto del proceso de espuma de poliestireno, las hojuelas de poliestireno no tienen olor, son quimicamente neutras y muy resistentes a la descomposición. No absorben agua internamente y retienen poca agua en la superficie de las partículas. Las hojuelas de poliestireno mejoran el drenaje, aireación y reducen la densidad aparente del sustrato. Pueden ser descompuestas por las temperaturas altas y por algunos solventes orgánicos. Los tratamientos de vapor o desinfestación con cloropicrina, dicloropeno, o bromuro de metilo pueden causar su desintegración.

5.10.2 Espuma de poliestireno

El material es más conocido como Styrofoam®, Styropor®. Como la perlita, constituye un buen sustituto para la arena, dando una mejor aireación y un peso liviano al sustrato. Es un producto sintético blanco que contiene numerosas células cerradas llenas de aire. Es muy liviano, pesa menos de 24 g/l. Al igual que la arena, no absorbe agua y no tiene una CIC apreciable. Es neutro y no afecta el pH del sustrato.

El poliestireno puede obtenerse en burbujas o en hojuelas. Son satisfactorias burbujas de 3 a 10 mm de diámetro y hojuelas de 3 a 13 mm de diámetro en un sustrato para plantas. Son utilizadas partículas mayores en sustratos para bancos y para plantas epífitas como orquídeas. Su precio puede variar considerablemente dependiendo de la fuente. Los desechos pueden ser molidos para formar un excelente componente para sustrato. El poliestireno ha sido prohibido en algunas regiones debido a su arrastre por el viento y las superficies de aguas donde se constituye un problema estético. En otras localidades ha sido prohibido en el campo. Su futuro es cuestionable en este momento.

5.10.3 Espuma de urea formaldehido

Las espuma de urea formaldehido son preparadas mezclando aire con una resina líquida y permitiendo a la mezcla enfriar bajo temperaturas controladas. Se debe permitir que disipen el exceso de vapores de formaldehido antes de ser incorporada al medio de cultivo. Están disponibles en bloques de 51 × 51 × 102 mm. Los bloques son convenientes para el transporte y almacenado y pueden ser despedazados con rotador de suelo. Las partículas de espuma son como esponjas con una gran capacidad de retención de humedad. Contienen un 30 % de nitrógeno total del cual solo un 0,25 % está en forma soluble inicialmente. El pH de las espumas es cercano a 3,0; ellos pueden bajar el pH de la mezcla conforme se descompone.

5.10.4 Lana de roca

Este material se obtiene por fundición a 1 600°C de una mezcla formada por 60% de diabasa, 20% de carbón y 20% de caliza, transformándose con posterioridad.

En el comercio está disponible en formas distintas, cada una para usos muy diferentes en tablas de cultivo y cubos de semillero para propagación, tabletas para flores y hortalizas.
También está disponible en forma granular como un componente en la formulación de sustrato. La forma granular tiene propiedades de una muy alta capacidad de

disponibilidad de agua y aireación. Aunque es ligeramente alcalina, no regula el pH. Mezclada con componentes ácidos como la turba bajará inmediatamente el pH. Tiene una CIC insignificante, por lo que no contribuye en la retención de nutrientes. Una mezcla en volúmenes iguales de lana de roca y turba hacen un sustrato excelente.

FORMULACIONES DE SUSTRATOS

En la selección de componentes y sus proporciones, para la formulación de sustratos, se deben tomar en cuenta las características que definen las cuatro funciones básicas de un medio para cultivo en recipientes: anclaje, retención de humedad, porosidad e intercambio de nutrientes para la planta.

Por lo anterior, solo interesa saber las características que posee el medio y no cuáles son los materiales que lo componen, como erroneamente se acostumbra.

6.1 Sustratos con tierra

El sustrato con base de tierra se utiliza más para la producción de flores de corta y follajes en bancos. En otros países un porcentaje muy pequeño de productores, de plantas en potes, usan sustrato con tierra.

La tierra provee una CIC, nutrientes y retención de agua razonables. Cuando un tercio del suelo es sustituido por arena, esas propiedades se reducen. Para restaurarlas, tradicionalemente se ha agregado al sustrato una enmienda con CIC y retención de agua altos, en vez de un tercio adicional de tierra.

La excelente estructura foliar del musgo *Sphagnum* da gran cantidad de poros estrechos para retener agua. La turba tiene una de las mayores capacidades de retención de agua que cualquier otra enmienda, cerca del 60 % del volumen. Así, la turba *Sphagnum* provee buena capacidad de retención de humedad y una buena aireación si es gruesa.

El sustrato por lo general requiere de tres enmiendas durante la formulación. **1a.**, el pH debe ser ajustado en el rango de 6,2 a 6,8 con cal o dolomita agrícola. Cuando es usado un suelo neutro o alcalino no se requieren ajustes. Los suelos ácidos pueden requerir unos 6 kg de cal por m^3. **2a.**, ofrecer fósforo agregando 1,8 kg de superfosfato, 0-20-0, o 0,9 kg de superfosfato, 0-45-0 por m^3. **3a.**, una mezcla completa de nutrientes de las que existen muchas fórmulas en el mercado.

A veces la cantidad de materia orgánica es adecuada pero el contenido de arcilla muy alto. El drenaje pobre y las rajaduras, cuando se seca, son síntomas de esta condición. Esto es prevaleciente cuando se utiliza suelo arcilloso. El problema es resuelto con la adición de arena al sustrato. No se usa la perlita puesto que el peso no es problema en los bancos.
A veces se usa arcilla calcinada que, además de proveer macroporos para el drenaje y la aireación, contiene numerosos microporos dentro de cada partícula para aumentar la retención de agua y tiene una CIC alta que mejora la retención de nutrientes. Una

cantidad equivalente al 10 a 15 % del volumen del banco es incorporada al sustrato. Es caro pero solo necesita ser aplicado una vez puesto que resiste el rompimiento.

El cuadro 8 muestra cuatro formulaciones con base de tierra. No parece que en la selección de materiales se hayan tomado en cuenta las características exigidas por las cuatro funciones basicas. No es clara la necesidad de arena, que aumenta el peso, ni el papel de la gallinaza y el estiércol de vacuno.

Cuadro 8. Algunas mezclas recomendadas por el Ministerio de Agricultura y Ganaderia (Guia Agropecuaria)

Fórmula				
No. 1	Arena 10 %	Cascarilla de arroz 25%	Tierra buena 50%	Burucha descompuesta 15%
No. 2	Arena 10%	Cascarilla de arroz 15%	Tierra buena 50%	Compost 25%
No. 3	Arena 10%	Burucha descompuesta 15%	Tierra buena 50%	Estiércol de vacuno 25%
No. 4	Arena 10%	Cascarilla de arroz 15%	Tierra buena 50%	Gallinaza 25%

En general los suelos de los países tropicales son arcillosos y poseen una capacidad muy alta de fijación de fósforo, lo que los hace deficientes para su utilización como sustrato para la producción de plantas. Esto es un problema serio en la producción de árboles frutales y forestales en bolsas, los que son llevados al campo sin haber desarrollado un sistema radical adecuado, lo cual redunda en bajos rendimientos iniciales.

6.1.1 Adaptación del suelo a recipientes

La solución lógica, para los problemas de recipientes poco profundos, es un cambio a texturas gruesas para aumentar el diámetro de los poros. Esto resuelve los problemas de aireación, pero crea un nuevo problema por la reducción de la capacidad de retención de agua del medio. Cuando el diámetro de las partículas que forman un medio son aumentadas, se reduce el área de superficie total de estas partículas en un volumen dado. Puesto que el agua es retenida sobre la superficie de estas partículas, la cantidad total de agua en el medio decrece conforme el diámetro de las partículas aumenta (la textura se vuelve más gruesa).

El suelo debe ser preparado para su uso en recipientes, dandole una textura más gruesa y aumentando su estructura, antes de la siembra. Una textura más gruesa puede ser alcanzada por la mezcla de arena con el suelo. La estructura puede ser mejorada por la incorporación al suelo de partículas de agregados grandes como la turba y compost.

Figura 19. Esquejes enraizados en sustrato a base de compost.

Figura 20. Medio de germinación utilizando granza de arroz pura.

Figura 21. Cobertura a base de materia orgánica compostada (sin tierra) para mejorar el crecimiento de helechos.

6.2 Sustratos sin suelo

La falta de un suelo adecuado, en forma permanente y de bajo costo así como y los problemas físicos, químicos y biológicos citados antes han hecho conveniente el uso de medios sin suelo.

Las necesidades de un cultivo sin suelo son evidentes por las infecciones que estos sufren con nemátodos y algunas enfermedades que van unidas a la pobre estructura de aquellos suelos, lo que hace marginal el beneficio de los cultivos en invernadero.

Otros productores están interesados en el embarque, a largas distancias, de plantas en potes y deben tener plantas acabadas tan livianas como sea posible. Un sustrato sin suelo puede ser formulado en densidades más livianas que en sustratos con tierra.

Y otros buscan sustratos sin suelo como una forma de automatización, pues se pueden comprar listos para su uso, eliminando así la necesidad de agregar otra labor o instalaciones de mezclado.

6.2.1 Componentes de un sustrato sin tierra

Hay tantos materiales disponibles que los productores cometen el error de mezclar muchos tipos equivocados juntos. Las cuatro funciones del sustrato (soporte de las plantas, aireación, retención de nutrientes y retención de humedad) deben ser consideradas en el desarrollo de la fórmula. Se necesita materia orgánica o arcilla para proveer CIC para la retención de nutrientes. A menos que la materia orgánica y la arcilla estén en agregados gruesos para facilitar la aireación, se necesitan partículas de textura gruesa como la arena, la perlita, o el poliestireno. Si la materia orgánica o la arcilla seleccionados tienen una alta capacidad de retención de humedad, como lo hace la turba, no son necesarios más componentes. Sin embargo, si la materia orgánica usada es de capacidad insuficiente de retención de humedad, como aserrín, podría ser necesario incluir un segundo material orgánico o arcilloso (como la turba o arcilla calcinada) para aumentar la capacidad de retención de agua. La densidad deseada del medio puede ser obtenida evitando las partículas muy gruesas o demasiado arcillosas.

Un buen sustrato no debe contener más que uno a tres componentes. La selección de componentes dependerá, de su disponibilidad y costo. Un cultivador que puede comprar turba al por mayor o aquel situado cerca del punto donde es obtenida de modo que los costos de transporte son mínimos, debería utilizar turba por su superior capacidad de retención de agua y CIC. Si el peso del sustrato no es un problema, el productor debe mezclar con componentes más baratos de texturas gruesas, como lo es la arena. Si se requiere un peso ligero, pueden ser usados componentes considerablemente más costosos, perlita y vermiculita. Si se requiere un peso ligero y el productor es afortunado por estar localizado cerca de una fuente de hojuelas o cuentas de poliestireno, la densidad más ligera puede ser obtenida con un costo menor que la perlita. Un productor localizado en un área de aserradero es probablemente encontrará aserrín y burucha de modo económico.
La arena es añadida al aserrín porque ella se acomoda entre las partículas de madera, añadiendo así una mayor área de superficie, y como consecuencia, más retención de

agua en un volumen dado de sustrato. Recuerdese que la arena es añadida al suelo con el propósito contrario, aquel de separar las partículas para abrir poros largos para aireación. Siempre, la turba de musgo es añadida también al aserrín para aumentar bastante la retención de humedad y la retención de nutrientes.

En la elección de una mezcla determinada. para la confección de un sustrato. es necesario pensar en la fase del cultivo en que se hallan las plantas para las que se va a preparar el medio. Si se trata de semilleros se requerirá una textura fina, estructura estable y alta capacidad de retención de agua para lograr el mantenimiento de una humedad constante. Pero si el sustrato se prepara para macetas, se requerirá una estructura media a gruesa, con buenas porosidad total y libre, que dé una aireación adecuada y un drenaje conveniente, mayor cantidad de nutrientes, una CIC elevada y capacidad tampón.

El sustrato para enraizamiento de esquejes debe tener condiciones similares a las del medio para germinación de semillas, prestando atención sobre todo a la porosidad libre para favorecer el intercambio gaseoso, factor de gran importancia en el proceso de rizogénesis. El medio de enraizamiento desempeña tres funciones:

- ✓ **Sostener la estaca en su lugar durante el periodo de enraizamiento.**
- ✓ **Proporcionar humedad constante a la estaca.**
- ✓ **Permitir la llegada de aire a la base de la estaca.**

6.2.2 Formulaciones a base de turba

Las mezclas U.C. (Universidad de California) fueron de las primeras mezclas sin suelo utilizadas en Estados Unidos de América en los 50s. Son una serie de cinco sustratos que van desde 100 % turba *Sphagnum* hasta 100 % de arena fina y combinaciones intermedias de los dos. Estos sustratos son formulados por productores individuales. El sustrato de invernadero para potes más popular de esta serie es la mezcla mitad turba mitad arena fina. La designación arena fina indica arena entre 0,5 y 0,05 mm de diámetro, la cual es equivalente a una arena que pasa una zaranda de 30 mallas pero es retenida por una zaranda de 270 mallas. Las mezclas de turba fueron introducidas en la Universidad de Cornell a inicios de los 60s. La mezcla A está compuesta de mitad turba de musgo *Sphagnum* y la otra mitad por vermiculita de grado hortícola. La mezcla B contiene perlita hortícola en vez de vermiculita. Mientras algunos productores formulan mezclas *Peat-Lite*, hay en el mercado una cantidad de preparaciones comerciales de sustratos sin suelo similar a *Peat-Lite Mix A*.

Llama la atención que el sustrato más discutido está compuesto de solo dos componentes.

Esto es posible porque uno es turba, que tiene sola la mayor capacidad de retención de agua que cualquiera de los componentes citados, una CIC significativa, y un grado modesto de aireación si no es molido fino. En los casos donde son agregados arena, perlita, se da un aumento de la aireación.

Las adiciones de arcilla y vermiculita aumenta la CIC además de aireación. La turba es muy cercana a un medio ideal por ella misma si contiene agregados gruesos. Los productores europeos han aprendido a cultivar cosechas de alta calidad en turba sola. Si este sistema es utilizado, es importante cuidarse del exceso de humedad por riegos demasiado frecuentes. Puesto que la turba retiene nutrientes, es importante que no sean aplicadas sobredosis de fertilizante y que el sustrato sea completamente humedecido cada vez que el riego es necesario para asegurar que el exceso de sales de los nutrientes remanentes son lixiviados del medio.

Las mezclas *Peat-lite* se desarrollaron en la Universidad de Cornell, New York; con partes iguales de vermiculita y turba, habiéndose utilizado principalmente para la germinación de semillas, transplantes y cultivo en contenedores de plantas sembradas en primavera y anuales; algunos agricultores las han utilizado para el cultivo de tomates en bancadas en vez de aserrín.

Las mezclas *Peat-Lite* son considerablemente más ligeras que las UC, puesto que la perlita y vermiculita son una décima parte menos pesadas que la arena fina. Las mezclas *Peat-Lite* están hechas con partes iguales de turba de *Sphagnum* y perlita hortícola o vermiculita n° 2.

En el cuadro 9 se presentan una lista de sustratos para enraizar. Estos son las mezclas más comunes producidas por los mismos productores y son representativas de muchas de las mezclas preparadas. La primera mezcla es la clásica basada en tierra que contiene volúmenes iguales de suelo franco, turba y arena de grado de concreto. Si uno considera vermiculita como sustituto del suelo, resulta una mezcla sin tierra en el cuadro. Esto es razonable puesto que la vermiculita tiene propiedades de alta retención de agua y nutrientes. Note que la turba, de la mezcla clásica, puede ser retenida o puede ser parcial o completamente sustituida por corteza. Las fórmulas y los componentes utilizados con corteza de pino y corteza de madera dura son las mismas. Cuando la turba se combina con corteza, no es necesario usar vermiculita. Otras materias orgánicas, incluyendo diferentes materiales orgánicos compostados, se deben ver como un sustituto parcial o total de la turba. Perlita, poliestireno, o cualquier otra partícula gruesa capaz de impartir propiedades de drenaje y aireación al sustrato pueden ser sustituidos por arena de la mezcla clásica con base de suelo. Las empresas que producen grandes cantidades de sustratos casi siempre evitan el uso de arena porque desgastan rápidamente el equipo de mezcla y aumentan los costos de embarque.

Cuadro 9. Diversas fórmulas de sustratos y sus usos comunes, en países templados (Hartman; 1991).

Componentes de la mezcla				Uso
1 tierra	1 turba	1 arena		para potes y bancos
1 vermiculita	1 turba			para germinador
2 vermiculita	2 turba	1 perlita		para plantas
1 vermiculita	1 corteza de pino			para plantas
2 vermiculita	2 corteza de pino		1 perlita	para plantas
2 vermiculita	1 turba	1 corteza de pino	1 perlita	para plantas
	1 turba	3 corteza de pino	1 arena	para plantas
	1 turba	3 corteza dura	1 arena	para plantas
1 lana de roca	1 turba			para plantas
3 lana de roca	7 turba			para plantas

6.2.3. Economía

El productor que elije el uso de un sustrato sin suelo debe decidir si comprarlo listo para usar o para mezclar. Esta decisión debe ser hecha individual y basada en los costos. El productor debe calcular el costo del sustrato que va a formular y compararlo con el precio comercial del sustrato incluido el transporte. En el cálculo de los costos de formulación, está seguro de incluir el tiempo de manipuleo, costos administrativos, costos de depreciación de las mezcladoras, alguna faja de transporte y cargador para llenar las mezcladoras, edificios para acopiar los componentes del sustrato, costos de pasteurización si fuera necesaria, y todos los costos de las labores. Si formula un sustrato con base de tierra o sin tierra, usted puede ser sorprendido por los costos verdaderos.

Un sustrato comercial, mientras es caro en el valor facial, no es muy diferente en los costos del sustarto individual formulado y puede ser en un momento más barato si una fuente estable de componentes de costo bajo no están disponibles para hacer las propias mezclas.

6.2.4 Mezclas para países tropicales

Muchos proyectos de vivero mostraron que, después de la siembra, el crecimiento fue mucho más pobre de lo esperado. Los viveristas tienden a relacionar la calidad de sus cultivos con la apariencia del sistema foliar el cual es criado en condiciones de vivero y siempre manipulado con la adición de nutrientes. El desarrollo radical es igualmente importante pero, desafortunadamente, con frecuencia soslayado. Parte del problema descansa en el tipo de recipiente utilizado y en la cantidad y calidad de las raíces desarrolladas dentro del recipiente durante esa etapa.

Las raíces de las plantas deben efectivamente atar el medio dentro del pote. Para que esto suceda la formación de raíces dentro del recipiente debe ser amplia y rápida.

El ingrediente básico más común utilizado como sustrato para potes, en los países tropicales, es suelo, en mezcla con arena y materia orgánica (casi siempre estiércol) en diferentes proporciones. Pero, en los países templados, el principal componente de las mezclas para recipientes es materia orgánica, por lo común turba.

En los países tropicales la proporción de materia orgánica en la mezcla es muy pequeña, y se ha demostrado que las mezclas para potes con una fracción mineral muy alta, mientras que ofrece un excelente soporte y buen crecimiento de la parte aérea, en vivero, no permite el desarrollo de un sistema radical fibroso de alta calidad. Además, en muchos casos el suelo utilizado en la mezcla tiene fracciones muy altas de arcilla y limo. Estos componentes inevitablemente se acumulan en el fondo de los recipientes, eliminando los espacios de aire mientras producen un ambiente totalmente inadecuado para el desarrollo radical.

En general, se establecen los siguientes puntos al respecto:

- ✓ **En los países templados la mezclas orgánicas para potes son fáciles de obtener, no así en los países tropicales y subtropicales.**
- ✓ **Las mezclas orgánica son más livianas y más económicas de transportar que las mezclas con base de tierra.**
- ✓ **Las raíces de las plantas tienden a amarrar completamente las mezclas orgánicas, aún después de un periodo corto de crecimiento, mientras esto raramente sucede en mezclas a base de tierra.**
- ✓ **El riego es más fácil de manejar para mezclas orgánicas que para mezclas de tierra.**
- ✓ **Las mezclas orgánicas retienen mejor la humedad en tránsito lo que da a las plantas más oportunidad de sobrevivir después del transplante.**

Con estos beneficios es sorprendente que se siga utilizando suelo como base para la producción de vivero. La cantidad de materia orgánica agregada generalmente es pequeña, haciendo poca diferencia en peso, capacidad de retención de humedad, o en la necesidad de amarre por las raíces. La razón de esto es que los ingredientes orgánicos son dificiles de encontrar en la cantidades adecuadas y a precios satisfactorios en estos países. Es probable que la razón fundamental sea que los beneficios financieros no han sido evaluados debido a que las ganancias, en la mejora de la plantación, se acreditan a las características genéticas, más que a la mejora física.

Las responsabilidades del viverista siempre terminan cuando las plantas dejan el vivero y entonces se siente poco responsable de la plantación. También siempre la meta de la gestión es la cantidad más que la calidad, puesto que los números son tangibles mientras la calidad es subjetiva.

La tarea más importante de los administradores de los viveros debería ser obtener la mejor calidad posible de desarrollo de raíces para sus plantas. Esto requerirá un enfoque diferente para obtener ingredientes para formular mezclas para recipientes. El

uso de materiales orgánicos de fácil obtención en países tropicales han demostrado su valor, no en términos financieros, sino en términos biológicos.

La investigación más ámplia en la producción de buenos viveros en recipientes se ha realizado en los países templados. La investigación en viveros ha demostrado que el desarrollo de un sistema de raíces fibrosas es esencial para una buena calidad de los plantones. La eficiencia absorbente de la raíz está directamente relacionada a su área de superficie y la raíces fibrosas ofrecen la mayor área de superficie. El desarrollo de raíces fibrosas está relacionada a la porosidad de la mezcla para potes la cual a cambio está relacionada con la fracción orgánica de la mezcla. La fracción orgánica de la mezcla ayuda a resistir la compactación y retiene agua, mientras mantiene la porosidad para el movimiento del aire y el crecimiento de las raíces.

Figura 22. No importa las dimensiones del vivero, el uso de un sustrato adecuado es el factor de producción más importante y que mejor resuelve los problemas de manejo.

Los ingredientes orgánicos, como la turba y humus, son obtenidos con facilidad en muchos países templados. Los viveros grandes en EUA y Europa pueden comprar mezclas comerciales para potes listas para usar, evitandose la necesidad de hacer sus propias mezclas.

Los materiales usados más comunes son turba de musgo, vermiculita, perlita, arena, y aserrín. En los países tropicales la importación de mezclas para potes o sus componentes es muy costosa.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

Alvarado, M. 1999. Preparación y desinfestación de sustratos para la propagación de plantas hortícolas. Curso de Horticultura I. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San Pedro. 5 p.

Ballester, J. 1992. Substratos para el cultivo de plantas ornamentales. Ministerio de Agricutura Pesca y Alimentación, Madrid. Divulgadoras Número 11/92 HD. 44 p.

Fonteno, D. 1999. Sustratos: tipos y propiedades físicas químicas. En: Agua, sustratos y nutrición. David W. Reed, Editor. Trad. M. Pizano. Hortitécnia, Bogotá. pp. 93-123.

Guerrero, F. y A. Masaguer. 1997. Los sustratos en los semilleros hortícolas. Vida Rural (España) 47:52-55.

Hartman, H. & D. Kester. 1991. Plant Propagation: Principles and Practices. 5th. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. pp. 15-47.

Hill, L. 1985. Secrets of Plant Propagation. Garden Way, Powal, Vermont. pp. 6-8.

Hoitink, H. 1980. Composted Bark, A Lightweight Growth Medium With Fungicidal Properties. Plant Disease 64:142-147.

Hoitink, H. 1991. Status of Compost-Amended Potting Mixes Naturally Suppressive to Soilborne Diseases of Floricultural Crops. Plant Disease 75:869-873.

Mastalerz, J. 1977. The Greenhouse Environment. John Wiley, New York. pp. 340-421.

Miller, J. & N. Jones 1995. Organic and Compost-Based Growing Media for Tree Seedling Nurseries. The World bank, Washington. 75 p.

Nelson, P. 1991. Greenhouse Operation and Management. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. pp. 171-208.

Pinamonti, F *et al*. 1997. Use of Compost in Soilless Cultivation. Compost Science & Utilization 5(2):38-46.

Resh, H. M. 1982. Cultivos hidropónicos. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 73-81.

Todos los derechos reservados. Este manual no podrá ser total o parcialmente reproducido en ninguna forma, incluyendo fotocopia, sin la autorización escrita del ***Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria-OIRSA.***

Este manual fue distribuido por el OIRSA a través del ***Proyecto Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación no Tradicional-VIFINEX,*** con financiamiento de la República de China.

Costa Rica, Noviembre, 2002