

## EVALUACION AGRONOMICA DE LOS SUSTRATOS DE CULTIVO

M. Abad  
M.D. Martínez-Herrero  
Departamento de Producción Vegetal  
Universidad Politécnica  
46022 Valencia

P.F. Martínez-García  
Instituto Valenciano de  
Investigaciones Agrarias  
Apartado Oficial  
46113 Moncada (Valencia)

J. Martínez-Corts  
Escuela de Capacitación Agraria  
Excma. Diputación Provincial  
46470 Catarroja (Valencia)

### Resumen

La finalidad de cualquier buen medio de cultivo es producir una planta de calidad en el más corto período de tiempo, con los más bajos costes de producción. En adición, la obtención y la eliminación del sustrato, una vez haya sido utilizado, no deberían provocar un impacto medioambiental de importancia. La evaluación agronómica de los sustratos de cultivo pasa por diferentes etapas. En primer lugar, debería procederse a la caracterización de los materiales, determinándose sus propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas. A continuación, dichas propiedades deberían estudiarse críticamente, comparándolas con las del sustrato "ideal". Posteriormente, y en aquellos casos en que las propiedades del material se desvíen significativamente de los valores óptimos recomendados, debería procederse a mejorar, de modo sencillo, dichas propiedades. Finalmente, deberían llevarse a cabo ensayos de crecimiento vegetal: ensayos en semilleros, ensayos en maceta, ensayos en condiciones de hidroponía y ensayos de enraizamiento de estacas. La realización de los ensayos de crecimiento bajo condiciones particulares (aire libre / invernadero, época del año, calidad de las aguas de riego, etc.) exige: 1) seleccionar las especies vegetales a utilizar como planta testigo, 2) diseñar las estrategias de manejo de los sustratos durante el ciclo de cultivo, especialmente los contenedores, el riego y la fertilización, y, 3) evaluar el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo mediante el control de los parámetros más adecuados a la hora de estimar la respuesta vegetal. Estos ensayos de crecimiento deberían incluir también sustratos comerciales como control de referencia.

### Abstract

Horticultural evaluation of growth media for container-grown plants.

The objective of a good growing medium is to produce a high quality plant in the shortest time period at the lowest cost. Additionally, substrate manufacture and disposal should not cause any environmental impact of significance. The horticultural evaluation of growth media for container-grown plants follows different stages. Firstly, the characterization of the materials should be carried out by determining their physical, physico-chemical, chemical and biological properties. Then, such properties should be critically studied and compared to those of the "ideal" substrate. Later, particularly with those materials whose properties significantly differ from the optimal/acceptable values, such properties should be improved by means of simple methods. Finally, plant growth experiments should be conducted: seedbeds, pot cultures, trials under hydroponic conditions and rooting tests of cuttings. The achievement of these growth tests under particular conditions (open field/greenhouse, season, quality of irrigation water, etc.) requires: 1) to choose the plant species to be used as test plant, 2) to outline substrate management during the growing period, specially in relation to containers, watering and fertilization, and, 3) to check the vegetative growth and reproductive development by recording the most suitable parameters for the estimate of

plant response. Those growth tests should also include commercial substrates as controls.

## 1. Introducción

Las técnicas culturales utilizadas en la producción vegetal han experimentado cambios rápidos y notables durante las últimas cuatro décadas en Europa y más recientemente en España. Unido a estos cambios tecnológicos, se ha producido una notable sustitución del cultivo tradicional en el suelo por el cultivo en sustrato.

Las principales razones de esta sustitución han sido (Abad, 1991; Martínez-García y Abad, 1992):

- a) la necesidad de transportar las plantas de un lugar a otro, y,
- b) la existencia de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, particularmente salinización, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas.

Desde el punto de vista hortícola, el objetivo/la finalidad de cualquier medio de cultivo es producir una planta de calidad en el más corto período de tiempo, con los más bajos costes de producción. En adición, la obtención y la eliminación del sustrato, una vez haya sido utilizado, no deberían provocar un impacto medioambiental de importancia.

## 2. La evaluación agronómica de los sustratos de cultivo

La evaluación agronómica de los sustratos de cultivo pasa por diferentes etapas (figura 1):

- a) la caracterización de los materiales,
  - b) el estudio crítico de sus propiedades,
  - c) la mejora sencilla, en su caso, de dichas propiedades, y, finalmente,
  - d) la realización de ensayos de crecimiento vegetal.
- Todas estas etapas se desarrollan ampliamente a continuación.

## 3. La caracterización del sustrato y el estudio crítico de sus propiedades

La primera etapa en la evaluación agronómica de un sustrato de cultivo es la caracterización del mismo, determinándose sus propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas.

La metodología analítica para la determinación de las propiedades de los medios de cultivo y su discusión han sido abordadas por otros autores en este mismo volumen: físicas (X. Martínez), físico-químicas y químicas (C. Cadahía).

Posteriormente, dichas propiedades deberían estudiarse críticamente, comparándolas con las del sustrato "ideal".

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes características del medio de cultivo (Joiner y Conover, 1965; Raviv et al., 1986):

### 3.1. Propiedades físicas

-----

- a) elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible,
- b) suficiente suministro de aire,
- c) distribución del tamaño de las partículas que mantendrá las

- d) condiciones antes mencionadas, baja densidad aparente,
- e) elevada porosidad, y,
- f) estructura estable, que impedirá la contracción (o hinchazón) del medio.

### 3.2. Propiedades químicas

-----

- a) baja o moderada capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente,
- b) suficiente nivel de nutrientes asimilables,
- c) baja salinidad,
- d) elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH, y,
- e) mínima velocidad de descomposición.

### 3.3. Otras propiedades

-----

- a) libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos,
- b) reproductibilidad y disponibilidad,
- c) bajo coste,
- d) fácil de mezclar, y,
- e) resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

En las tablas 1 y 2 se presentan los niveles óptimos o estándar para las propiedades físicas y químicas más importantes de los sustratos de cultivo.

Si bien dichos niveles pueden variar en función de las exigencias de la especie vegetal, el medio ambiente, las prácticas de manejo, etc, los intervalos que se presentan en las mencionadas tablas constituyen un excelente punto de referencia a la hora de llevar a cabo la evaluación agronómica de los medios de cultivo.

En la tabla 3 se muestran los valores límite de concentración de metales pesados en los materiales utilizados como sustratos de cultivo.

## 4. Los bioensayos de germinación como métodos rápidos para evaluar la calidad de los sustratos de cultivo

Estos ensayos biológicos son de gran utilidad en la evaluación agronómica de los sustratos, ya que existe una estrecha relación entre los resultados obtenidos y la potencialidad agronómica de los mencionados medios de cultivo (Zucconi et al., 1981a, b).

La utilización de materiales inadecuados, con propiedades físico-químicas y químicas desfavorables para el crecimiento vegetal (salinidad elevada, presencia de ácidos alifáticos de cadena corta, amoníaco, fenoles, etc), resulta en la inhibición de la germinación de las semillas y en la reducción del crecimiento de las raíces.

Un buen bioensayo debe reunir las siguientes características: a) - ser simple, sencillo y fácil de manipular con una instrumentación elemental, b) - ser repetible, c) - ser rápido, y, d) - mostrar una sensibilidad elevada.

El modo de operar de estos bioensayos de germinación consiste básicamente en obtener un extracto acuoso del material en estudio, incubar las semillas con dicho extracto y evaluar el proceso de la germinación, controlando diferentes parámetros (número de semillas germinadas, longitud de las raíces, etc).

Se han descrito muchos bioensayos en la bibliografía (para literatura ver Jorba y Trillas, 1984; Iglesias y Pérez, 1989), utilizando semillas de distintas especies (cebada, judía, lechuga, etc) que se incuban en diferentes medios (arena, papel de filtro, etc).

Entre los diferentes ensayos recogidos en la literatura, merece ser destacado el de Zucconi et al. (1981a, b). Este método está siendo ampliamente utilizado durante estos últimos años y ha sido adoptado oficialmente en Italia. La humedad del material se fija en el 60% y el extracto acuoso es extraído mediante presión, recomendándose una exposición de 15 minutos a 250 atmósferas. Semillas de *Lepidium sativum* L son colocadas en placas Petri de 5 cm. de diámetro con papel de filtro conteniendo 1 ml. del extracto. Se recomiendan 10-15 repeticiones de 6-8 semillas. Las semillas se incuban durante 24 horas en la oscuridad a 27 °C. Se calcula un índice de germinación (IG) multiplicando el porcentaje de germinación de las semillas por la longitud media de las raíces (ésta última expresada como % respecto al control).

Si bien un material con un IG >50% es considerado como aceptable para ser utilizado como abono orgánico (Zucconi et al., 1981a,b), en el caso de los sustratos de cultivo deberían considerarse IGs mucho más elevados, en todo caso no significativamente inferiores al IG del control.

## 5. Mejora, en su caso, de las propiedades del material

En aquellos casos en que las propiedades del material se desvíen significativamente de los valores estándar u óptimos y las técnicas de manejo aplicables no llegasen a resultar en un comportamiento óptimo del sustrato, se debería proceder a la mejora de dichas propiedades.

Se deberían diseñar estrategias de mejora sencillas, que no resultasen en unos costes adicionales elevados.

### 5.1. Compostaje/envejecimiento

- - - - -

El término compostaje se aplica a la descomposición biológica aeróbica de los residuos orgánicos en condiciones controladas (Saña y Soliva, 1987).

Como consecuencia de la aplicación de la técnica del compostaje se obtienen materiales biológicamente "estables", lo que se traduce en la evitación del bloqueo de los nutrientes, la eliminación de las sustancias inhibitoras del crecimiento (fitotóxicas), etc. (Verdonck et al., 1987; Schmilewski, 1991).

El proceso, los sistemas y las aplicaciones del compostaje han sido abordados en este volumen por otros autores, presentándose aquí información sobre el proceso de envejecimiento de algunos materiales orgánicos utilizados como sustratos de cultivo.

Se entiende por envejecimiento ("ageing") a los cambios que ocurren en un material orgánico como resultado del paso del tiempo, debidos fundamentalmente a factores ambientales y bajo condiciones poco controladas.

Las toxinas orgánicas (fenoles, resinas, taninos, etc) e inorgánicas (manganeso) de las cortezas de los árboles (pino, picea, etc) pueden ser eliminadas o reducidas envejeciendo dichas cortezas previamente a su utilización como medio de cultivo (Yazaki y Nichols, 1978; Bunt, 1988).

El envejecimiento del compost ya utilizado para el cultivo del champiñón resulta en: a) - un incremento en la capacidad de retención de agua fácilmente disponible y en la densidad aparente, y, b) - una

reducción altamente significativa de la contracción y del contenido en  $N-NH_4$ , todo ello favoreciendo la utilización de este subproducto como sustrato de cultivo (Lohr et al., 1984a,b).

#### 5.2. Lixiviación

Si el material a utilizar como sustrato mostrase una salinidad inicial elevada, debida a la presencia de sales solubles en exceso, debería someterse a lixiviación controlada.

La lixiviación con agua de calidad, aplicando un volumen de agua aproximadamente igual a 1,5 ó 2 veces la cantidad de agua retenida por el sustrato, corrige el problema de la salinidad. De acuerdo con esta condición, se han obtenido resultados altamente satisfactorios lavando las turbas negras procedentes de las formaciones turbosas litorales del Levante español (Abad et al., 1990, 1991), el compost ya utilizado para el cultivo del champiñón (Lohr et al., 1984a,b) y la fracción sólida fibrosa obtenida mediante digestión anaerobia y separación a partir del estiércol vacuno (Chen et al., 1984).

#### 5.3. Corrección del pH

Si el pH del material estuviera fuera del intervalo recomendado (tabla 2), debería llevarse a cabo el ajuste de dicho pH. En el caso de los sustratos ácidos se requiere la adición de cal, caliza, dolomita, etc, con objeto de provocar un incremento en el pH. El pH neutro o alcalino de los sustratos básicos puede reducirse mediante la adición de azufre u otros compuestos azufrados (sulfato de aluminio, sulfato ferroso, etc).

Las cantidades de cal o azufre a añadir al sustrato dependen, entre otros factores, de: a) - su pH original, b) - el pH final deseado, y, c) - su capacidad de intercambio catiónico, siendo las necesidades de enmienda tanto más elevadas cuanto mayor es la capacidad de cambio del material. En este sentido, una mezcla de turba herbácea negra y arena (3:1, vol/vol) necesitó, para elevar 1 unidad su pH, el doble de enmienda (caliza + dolomita) que un medio compuesto por turba Sphagnum finlandesa y arena (3:1, vol/vol), situación que estuvo directamente relacionada con la mayor capacidad de cambio de la turba negra (Bunt, 1988).

Resulta evidente, por tanto, que un programa racional de enmienda requiere el conocimiento de la curva de valoración de cada sustrato específico y no debe guiarse por criterios empíricos (Martínez et al., 1988).

#### 5.4. Mezcla

Raramente un material cumple por sí solo las características requeridas para unas determinadas condiciones de cultivo. En la mayoría de los casos, será necesario recurrir a mezclas de varios materiales, en distintas proporciones, con objeto de adecuarlos a las condiciones requeridas.

La mezcla de un componente (sustrato) con otros materiales naturales o de síntesis, orgánicos o minerales, tiene un efecto marcado sobre las propiedades físicas y químicas de aquél.

La mezcla de materiales orgánicos alternativos (de disponibilidad local) con turba rubia resulta en unas propiedades físicas muy favorables: baja densidad aparente, porosidad total elevada, alta capacidad de retención de agua fácilmente disponible, baja contracción, etc. Estos efectos positivos se han encontrado mezclando turba rubia con turbas negras eutróficas (Abad et al., 1990, 1991), con orujo de uva compostado

(Chen et al., 1988), con compost de residuos sólidos urbanos (Siminis y Manios, 1990), con cortezas de pino compostadas (Verdonck et al., 1984; Verdonck y Gábriels, 1988), con compost de lodo de depuradora más corteza de pino (Pivot, 1988), etc.

En adición, la mezcla de turba rubia con otros materiales orgánicos salinos y/o básicos se traduce en una reducción de la salinidad y/o del pH (Chen et al., 1988; Pivot, 1988; Siminis y Manios, 1990; Kämpf y Jung, 1991).

En otras ocasiones, la baja capacidad de aireación de muchas turbas rubias se ha incrementado mediante la mezcla de éstas con otros materiales tales como vermiculita (Chen et al., 1988), perlita (Verdonck et al., 1984), cortezas de pino compostadas (Verdonck et al., 1984; Verdonck y Gábriels, 1988), etc.

Siempre que se mezclen dos o más materiales, deberá prestarse una especial atención a la homogeneidad de la mezcla resultante, con objeto de obtener mezclas lo más homogéneas posibles.

## 6. Ensayos de crecimiento vegetal

La capacidad de un sustrato para producir una planta en condiciones óptimas es el resultado de la interacción compleja entre distintos tipos de factores y, en consecuencia, su calidad sólo puede ser evaluada finalmente mediante la realización de ensayos de crecimiento vegetal (Brown y Emino, 1981).

Las aplicaciones básicas más importantes del cultivo en sustrato, son:

a) - ensayos en semilleros, b) - ensayos en maceta (ornamentales, plántones frutales, planta forestal, etc), c) - ensayos en condiciones de hidroponía (planta hortícola de consumo, flor cortada, etc), y, d) - ensayos de enraizamiento de estacas.

La realización de los ensayos de crecimiento bajo condiciones particulares (aire libre/invernadero, época del año, calidad de las aguas de riego, etc) exige: a) - seleccionar las especies vegetales a utilizar como planta testigo, b) - diseñar las estrategias de manejo de los sustratos durante el ciclo de cultivo, especialmente los contenedores, el riego y la fertilización, y, c) - evaluar el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo mediante el control de determinados parámetros.

Los ensayos deberían diseñarse según los modelos experimentales, el número de repeticiones, el tamaño por repetición, etc, señalados por el diseño estadístico de experiencias, con objeto de obtener resultados consistentes y fiables.

Estos ensayos de crecimiento deberían incluir también sustratos comerciales como control de referencia.

### 6.1. Selección de las especies vegetales a utilizar como planta testigo

Una amplia gama de especies son susceptibles de ser utilizadas como plantas control en los ensayos de crecimiento.

Para ser utilizada como planta testigo, una especie debería reunir las siguientes características :

- a) Disponer de extensa información bibliográfica,
- b) Ser fotoperiódicamente indiferente (de día neutro),
- c) Ser de crecimiento rápido,
- d) Proceder de material vegetal uniforme (híbridos, clones),

- e) Ser de fácil cultivo, y,
- f) Tener una especial sensibilidad a las propiedades que interesa estudiar en el sustrato.

En relación con este último apartado, Handreck y Black (1989) han clasificado los cultivos hortícolas y ornamentales en diferentes categorías, de acuerdo con su tolerancia/sensibilidad a la salinidad. La adaptación de los cultivos ornamentales al pH del sustrato ha sido presentada por Jiménez y Caballero (1990). Por último, Johnson (1968) ha recogido las necesidades aproximadas de aireación en la zona radicular de distintas especies ornamentales.

## 6.2. Diseño de las estrategias de manejo del sustrato durante el ciclo de cultivo

### 6.2.1. Contenedores

El crecimiento de las plantas y la calidad de su sistema radicular se ven fuertemente afectados por las características de los contenedores en que crecen aquéllas (Lemaire et al., 1989).

El efecto de los contenedores sobre el crecimiento vegetal viene mediado por: a) - condiciones físicas, que afectan las relaciones aire-agua del sustrato, y, b) - condiciones químicas, relacionadas con el potencial nutritivo del volumen del sustrato.

A medida que disminuye la altura del sustrato en el contenedor, se reduce su capacidad de aireación. Para conseguir un buen drenaje y una aireación óptima, se deberían elegir contenedores tan profundos como fuera posible para cada situación particular.

La sección del contenedor afecta a la calidad del sistema radicular, encontrándose un incremento en dicha calidad con el aumento de la sección.

El volumen del contenedor debe equipararse con el tamaño de la planta. Una planta grande crecerá más lentamente en un contenedor pequeño que en uno amplio.

Es conveniente comprobar que el tamaño del contenedor no va a afectar a los parámetros de crecimiento a medir.

En cuanto a la forma del contenedor, ésta debería guardar relación con el tipo de raíz de la planta a cultivar, que puede ser de crecimiento vertical en profundidad, o de crecimiento lateral y superficial.

Otros factores relacionados con el contenedor (color, material, etc) pueden también afectar el crecimiento de las plantas.

### 6.2.2. Riego

Regar correctamente una planta consiste en aportar el agua según las exigencias de ésta.

En comparación con los cultivos en el suelo, el riego de los cultivos en contenedor presenta las siguientes particularidades (Lemaire et al., 1989): a) - elevadas necesidades instantáneas de agua por unidad de masa radicular, b) - reducido volumen de sustrato disponible para la planta, c) - existencia de una pared impermeable en la base del sustrato, y, d) - importancia relativa de los fenómenos de advección.

Todo lo anterior implica un riesgo de estrés hídrico, el cual debe prevenirse con un mayor control del riego. Este control se traduce en la

regulación correcta del volumen o dosis de agua a aplicar y de la frecuencia del riego.

Varios factores son decisivos en esta regulación, debiendo ser integrados: a) - la demanda climática, b) - la especie y el estado de desarrollo de la planta, y, c) - las propiedades del sustrato. La demanda climática transpiratoria viene determinada por la radiación solar y el déficit de presión de vapor del aire ambiente. Esta demanda junto con el estado de desarrollo de la planta y su capacidad de respuesta a las condiciones ambientales, en términos de resistencia estomática, son los parámetros que determinan la respuesta transpiratoria del cultivo. El sustrato interviene a través de su capacidad de retención de agua fácilmente disponible (EAW) y de su capacidad de aireación (AFP). En función de estos parámetros, la dosis de agua a aportar se calcula como el producto de la disponibilidad en agua del sustrato (EAW) por el volumen del contenedor.

En la práctica del riego en contenedores, el agua se maneja de forma excedentaria, con dos objetivos: 1) - conseguir uniformidad en la distribución del agua en el sustrato, y, 2) - evitar, por lavado, la acumulación de sales. El exceso suele oscilar entre el 10 y el 30% del drenaje, en función de la época del año, el estado de desarrollo de la planta y la calidad del agua de riego.

### 6.2.3. Fertilización

El objetivo de cualquier programa de fertilización es poner a disposición de la planta un suministro continuo de nutrientes, en cantidades suficientes y bien equilibrados, con objeto de conseguir el nivel de crecimiento requerido.

La capacidad de fertilización en un contenedor, en un momento dado, depende de (Lemaire et al., 1989): a) - la cantidad de agua, limitada a la capacidad de retención hídrica del sustrato en el contenedor, y, b) - la cantidad de abono en la fase acuosa, limitada a una concentración máxima específica para cada planta (barrera fisiológica).

Las condiciones particulares del cultivo en contenedor requieren una renovación frecuente del potencial nutritivo. La técnica de la fertilización consistirá en determinar la cantidad y naturaleza de los abonos más adecuados para mantener el sistema radicular en una solución nutritiva de composición equilibrada.

La solución al problema de la fertilización de los cultivos en contenedor pasa por: a) - conocer las características del sustrato (físicas, físico-químicas, químicas y biológicas), b) - conocer las necesidades en elementos minerales de las especies vegetales, en las distintas etapas de su ciclo de cultivo, y, c) - conocer las características de los distintos tipos de abonos a utilizar y su comportamiento en las condiciones de empleo particulares.

Los métodos de aplicación de los fertilizantes en los sustratos son: a) - De base o pre-plantación (fertilizantes solubles vs. fertilizantes de liberación lenta), y, b) - A lo largo del cultivo (fertirrigación y fertilización foliar).

### 6.3. Evaluación del crecimiento de las plantas

- - - - -

La evaluación del crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo se llevará a cabo controlando (midiendo) los parámetros más adecuados a la hora de estimar la respuesta vegetal.

Para la validez de estas determinaciones, es necesario asegurar la igualdad de las condiciones de exposición a factores climáticos, tales



como radiación, temperatura, humedad, convección, etc. De este modo, y empleando un material vegetal homogéneo, se puede conseguir una variabilidad despreciable debida al ambiente.

#### 6.3.1. Medidas de crecimiento y desarrollo

- A) Pesos fresco y seco
  - A.1) Del total de la planta
  - A.2) De los distintos órganos o partes anatómicas (raíz, tallo, hojas, etc)
- B) Índices de crecimiento (RGR, NAR, LAR, etc)
- C) Caracteres morfológicos y anatómicos (altura de la planta, longitud de los entrenudos, número de hojas, tamaño de la hoja, longitud de las raíces, número de flores formadas, etc)

#### 6.3.2. Control de la cuantía y la calidad de las cosechas

- A) Cosecha y sus componentes. Estudio de su variación temporal
- B) Precocidad. Estudio de la cosecha en otros períodos críticos
- C) Calidad de la cosecha: cosecha comercializable (por tamaño, por fisiopatías, etc)

#### 6.3.3. Medidas de síntomas de toxicidad

- A) Medida de la reducción del crecimiento
- B) Medida de cambios de color (cartas de color, contenido en clorofila, etc)
- C) Medida de índices que puedan asociarse a las características específicas que interesa estudiar (p.ej., para la salinidad, número de estomas por unidad de área foliar, o contenido de agua por unidad de área foliar)

### 7. Conclusión

Las principales funciones de un sustrato de cultivo son proporcionar un medio ambiente "ideal" para el crecimiento de las raíces y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas.

El factor más importante a la hora de elegir un determinado material como medio de cultivo es la ausencia de sustancias que sean tóxicas para las plantas. Un elevado número de materiales cumplen esta condición y pueden, por tanto, ser utilizados con éxito, siempre que su manejo esté adaptado a los requerimientos del medio y de la cosecha. La conclusión "... este sustrato particular dió los mejores resultados en términos de crecimiento vegetal" realmente quiere decir "... este sustrato dió los mejores resultados bajo el sistema particular de manejo que prevaleció durante el experimento". Un cambio en las prácticas de manejo o un cambio en el medio ambiente a menudo proporcionan resultados completamente diferentes.

### 8. Referencias

- Abad, M., 1991. En: La Horticultura Española en la C.E., eds. L. Rallo y F. Nuez. Ediciones de Horticultura S.L., Reus, pp. 270-280.
- Abad, M., Noguera, V., Martínez-Herrero, M.D., Herrero, M.A., Fornes, F., y Martínez-Corts, J., 1990. Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales, 5: 247-258.
- Abad, M., Martínez-Herrero, M.D., Noguera, V., Fornes, F., y Martínez-Corts, J., 1991. Actas de Horticultura, 5: 479-484.

- Brown, O.D.R., y Emino, R.R., 1981. *HortScience*, 16: 78-80.
- Bunt, A.C., 1988. *Media and Mixes for Container-Grown Plants*. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London, 309 pp.
- Chen, Y., Inbar, Y., Raviv, M., y Dovrat, A., 1984. *Acta Horticulturae*, 150: 553-561.
- Chen, Y., Inbar, Y., y Hadar, Y., 1988. *Soil Science*, 145: 298-303.
- De Boodt, M., 1975. *Annales de Gembloux*, 81: 59-72.
- Handreck, K.A., y Black, N.D., 1989. *Growing Media for Ornamental Plants and Turf*. New South Wales University Press, Kensington, 401 pp.
- Iglesias, E., y Pérez, V., 1989. *Biological Wastes*, 27: 115-142.
- Jimenez, R., y Caballero, M., 1990. *El Cultivo Industrial de Plantas en Maceta*. Ediciones de Horticultura S.L., Reus, 664 pp.
- Johnson, P., 1968. *Horticultural and Agricultural Uses of Sawdust and Soil Amendments*. Paul Johnson, National City (California), 23 pp.
- Joiner, J.N., y Conover, C.A., 1965. *Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida*, 25: 320-328.
- Jorba, J., y Trillas, M.I., 1984. *Acta Horticulturae*, 150: 67-74.
- Kämpf, A.N., y Jung, M., 1991. *Acta Horticulturae*, 294: 271-283.
- Lemaire, F., Dartigues, A., Rivière, L.M., y Charpentier, S., 1989. *Cultures en Pots et Conteneurs*. INRA-PHM Revue Horticole, Paris-Limoges, 184 pp.
- Lohr, V.I., O'Brien, R.G., y Coffey, D.L., 1984a. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109: 693-697.
- Lohr, V.I., Wang, S.H., y Wolt, J.D., 1984b. *HortScience*, 19: 681-683.
- Martínez-Farré, F.X., Casasayas, R., Burés, S., y Cañameras, N., 1988. *Acta Horticulturae*, 221: 105-116.
- Martínez-García, P.F., y Abad, M., 1992. *Acta Horticulturae* (in press).
- Pivot, D., 1988. *Acta Horticulturae*, 221: 75-84.
- Raviv, M., Chen, Y., e Inbar, Y., 1986. En: *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*, eds. Y. Chen y Y. Avnimelech. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, pp. 257-287.
- Saña, J., y Soliva, M., 1987. *El Compostatge. Procés, Sistemes i Aplicacions*. Diputació de Barcelona, Barcelona, 96 pp.
- Schmielewski, G.K., 1991. *Acta Horticulturae*, 294: 89-98.
- Siminis, H.I., y Manios, V.I., 1990. *BioCycle*, 31: 60-61.
- Verdonck, O., y Gabriëls, R., 1988. *Acta Horticulturae*, 221: 19-23.
- Verdonck, O., Penninck, R., y De Boodt, M., 1984. *Acta Horticulturae*, 150: 155-160.
- Verdonck, O., De Boodt, M., y Gabriëls, R., 1987. En: *Compost: Production, Quality and Use*, eds. M. De Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L'Hermite y F. Zucconi. Elsevier Applied Science Publishers Ltd., London, pp 399-405.

- Warncke, D.D., 1980. En: Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region, ed. W.C. Dahnke. North Dakota Agr. Expt. Sta. Bull. 499 (rev.), pp. 31-33.
- Wright, R.D., Grueber, K.L., y Leda, C., 1990. HortScience, 25: 658-660.
- Yazaki, Y., y Nichols, D., 1978. Australian Forest Research, 8: 185-198.
- Zucconi, F., Forte, M., Monaco, A., y De Bertoldi, M., 1981a. BioCycle, 22: 27-29.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., y De Bertoldi, M., 1981b. BioCycle, 22: 54-57.

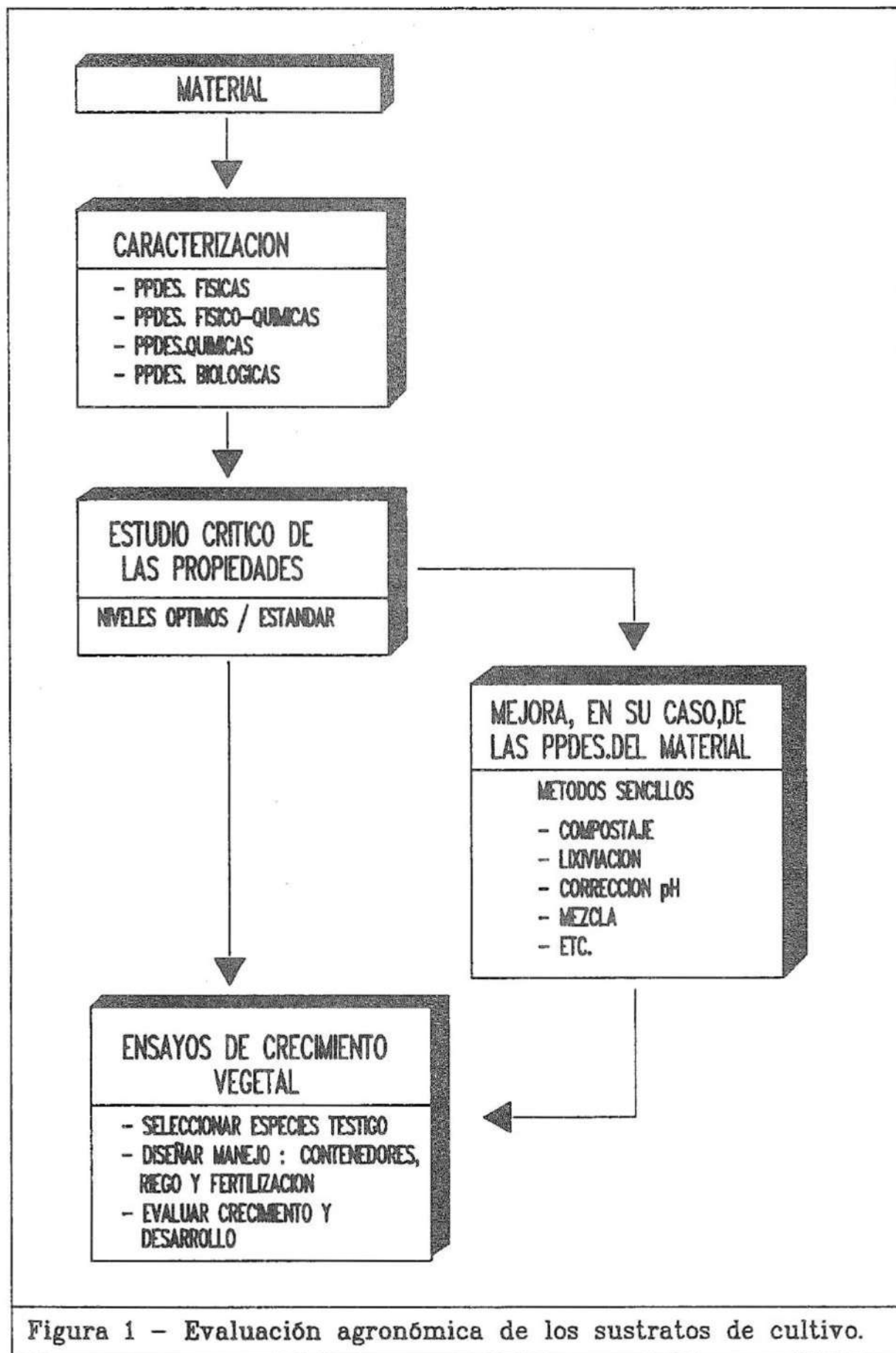


Tabla 1 - Niveles óptimos para las propiedades físicas de los sustratos de cultivo.

Propiedad	Nivel óptimo
Tamaño de partícula (mm)	0,25 - 2,50
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	< 0,4
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	1,45 - 2,65
Espacio poroso total (% en vol.)	> 85
Retención de agua (% en vol.) a:	
- 10 cm	55 - 70
- 50 cm	31 - 40
- 100 cm	25 - 31
Capacidad de aireación (% en vol.)	10 - 30
Agua fácilmente disponible (% en vol.)	20 - 30
Agua de reserva (% en vol.)	4 - 10
Agua total disponible (% en vol.)	24 - 40
Valor "R" (cm)	10 - 30
Contracción (% en vol.)	< 30

Elaboración propia a partir de De Boodt (1975), Raviv et al. (1986) y Bunt (1988).

Tabla 3 - Valor límite de concentración de metales pesados en los materiales utilizados como sustratos de cultivo.

Elemento	Valor límite (ppm)	
	Para hortalizas	Para ornamentales
Zn	1.000	1.500
Cu	100	500
Pb	600	1.000
Cr	150	200
Ni	50	100
Co	50	50
Hg	5	5
Cd	5	5

Fuente: Verdonck et al., 1987.

Tabla 2 - Niveles óptimos para las propiedades físico-químicas y químicas de los sustratos de cultivo.

Propiedad	Nivel óptimo
pH (extracto de saturación)	5,2 - 6,3
Conductividad eléctrica (dS/m) (extracto de saturación)	0,75 - 3,49
Capacidad de cambio catiónico (meq/100g)	
- Fertirrigación permanente	Nula o muy baja
- Fertirrigación intermitente	> 20
Cenizas (%)	< 20
Materia orgánica (%)	> 80
Relación carbono: nitrógeno (C/N)	20 - 40
Nutrientes asimilables (ppm): (extracto de saturación)	
N - NO <sub>3</sub>	100 - 199
N - NH <sub>4</sub>	0 - 20
P	6 - 10
K	150 - 249
Ca	> 200
Mg	> 70
Fe	0,3 - 3,0
Mn	0,02 - 3,0
Mo	0,01 - 0,1
Zn	0,3 - 3,0
Cu	0,001 - 0,5
B	0,05 - 0,5

Elaboración propia a partir de Warncke (1980), Raviv et al. (1986), Bunt (1988), Lemaire et al. (1989) y Wright et al. (1990).