

RESEÑA ANALITICA

Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura

Caridad Ramos Alvariño.

Dpto. de Estudios sobre Contaminación Ambiental, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y calle 158, Playa, Apartado Postal 6414, Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido: 24 de octubre de 2003. Aceptado: 22 de diciembre de 2003.

Palabras clave: residuos orgánicos, compostaje, sustratos, abonos orgánicos.
Key words: organic residuals, composting process, substrate, organic manure.

RESUMEN. El incremento de la población mundial, y en consecuencia, el explosivo desarrollo urbano e industrial, ha generado un elevado volumen de productos considerados residuos. Estos materiales deben eliminarse de los ecosistemas para evitar que su presencia se convierta en un factor degradante de la calidad del ambiente y, por ende, en materiales contaminantes. Por otra parte, las elevadas necesidades de producción de alimentos han llevado a un uso intensivo de la tierra, provocando un agotamiento de los suelos debido a la explotación, de grandes cantidades de elementos nutritivos. Se produce además, una desaparición progresiva de la fracción orgánica del suelo. Esta problemática y el conocimiento acerca de las enormes cantidades de desechos, llevó a considerar que la utilización agrícola de dichos desechos conduciría, a una solución alternativa, donde el ciclaje de nutrientes asegura mayores eficiencias de funcionamiento del sistema. Pero es conveniente acotar que, el arribo al suelo de materiales frescos o con un grado de transformación incompleta debe ser visto con cierta reserva, en virtud de posibles efectos detrimetiales derivados de la presencia, en dichos materiales, de compuestos o elementos tóxicos o contaminantes. Una novedosa valorización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos son tratados anaerobiamente. El objetivo del presente trabajo consistió en discutir los aspectos más significativos de los residuos orgánicos de origen urbano industrial se pretenden incorporar al suelo como una alternativa económica en la agricultura como abonos orgánicos o sustratos. Los aspectos básicos incluyen: la materia orgánica del suelo, sus funciones y los factores para la incorporación de los residuos orgánicos; el compostaje, calidad y efectos en el suelo; los sustratos, sus propiedades, características, tipos según su utilización y propiedades, su descripción, elaboración y aspectos tecnológicos.

ABSTRACT. The world population's increase, and in consequence the explosive industrial and urban development, has generated a high volume of products considered residuals. These materials should eliminate the ecosystems to avoid that their presence becomes a degrading factor of the quality of the environmental and polluting materials. On the other hand, the enormous necessities of production of food have taken an intensive use of the earth; being caused an exhaustion of the soil due to the exploitation, of big quantities of nutritious elements. A progressive disappearance of the organic fraction of the soil also takes place. This problem and the knowledge about the enormous quantities of waste, made that the agricultural use of this waste would lead to a solution alternative, where the cycling of nutrients assures bigger efficiencies of operation of the system. But it is convenient to delimit that, the arrival at the soil of fresh materials or with a grade of transformation incomplete should be done with certain reservation, by virtue of possible detrimental effects, derivative of the presence, in these materials, of compound or toxic elements or pollutants. A novel valorization of the organic fraction of the residuals solid urban is treated anaerobically. The organic residuals of industrial urban origin seek to incorporate to the soil like an economic alternative in the agriculture like organic manure or substrate. The basic topic include: organic matter and natural and agricultural ecosystems functioning, factors affecting soil organic matter; Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects, quality and effects in the soil; The substrates their characteristics, types according to their use and property, description, elaboration and technological aspects.

INTRODUCCION

La necesidad de la producción de alimentos ha llevado a un uso intensivo de la tierra, lo que ha dado lugar a un agotamiento de los suelos debido a la explotación de grandes cantidades de elementos nutritivos. Lo anterior ha motivado la desaparición progresiva de la fracción orgánica del suelo. Por otro lado, las enormes cantidades de desechos de diferentes producciones y actividades, ha llevado a considerar que la utilización agrícola de dichos desechos conduciría, a una solución alternativa, que se asemeja en mayor grado a un equilibrio ideal, donde el ciclaje de nutrientes asegura mayores eficiencias de funcionamiento del sistema, sin embargo, en este caso, se está revalorizando el residuo, despojándolo de su carácter contaminante y se añadirían al suelo materiales orgánicos, que cumplen, básicamente, dos funciones: suministrar nutrientes para los cultivos, vía mineralización y mantener el pool orgánico del suelo, vía humificación.

Tipos de residuos orgánicos incorporados al suelo.¹

- **Residuos frescos.** Material que no ha experimentado ningún tipo de proceso de degradación, por ejemplo: los estiércoles frescos y el uso directo de lodos producidos en los procesos de depuración de aguas urbanas o industriales.

- **Residuos parcialmente descompuestos.** Materiales donde se ha

producido cierto grado de cambio, es decir, que no han recibido ningún tipo de tratamiento controlado de transformación, por lo que el grado de modificación es, en la mayoría de los casos, producto del azar, consecuencia de diferencias entre el tiempo de producción y el uso.

■ Residuos bien descompuestos.

Materiales con un grado de modificación importante que poseen una concentración de materiales más estables, los cuales son, en muchos casos, similares a aquellos presentes en el suelo. En este grupo se incluyen materiales que han sido sometidos a un proceso controlado de transformación, tal es el caso de los denominados compost.

■ Materiales orgánicos de residuos de cosecha y abonos verdes.

Materiales cuyo uso permite efectos beneficiosos sobre las propiedades físicas del suelo y su fertilidad química, favoreciendo además, la conservación del suelo y la racionalización del uso de fertilizantes químicos. Por ejemplo: los materiales orgánicos de residuos de cosecha, que desde el punto de vista comercial carecen de valor, sin embargo, poseen un contenido energético y de componentes nutritivos que pueden ser reintroducidos en los ciclos biogeoquímicos de los distintos elementos. Los abonos verdes, se refieren al aprovechamiento de plantas que son capaces de acumular nutrientes con un consumo muy bajo de insumos, las cuales son sembradas con el fin último de ser utilizadas como abonos orgánicos. Estos materiales son fuente de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y microelementos.

Compostaje como alternativa.¹ El compostaje se define como un proceso en el cual el residuo es sometido a una degradación biooxidativa bajo condiciones controladas, cuyo producto final es el compost.² El material producido está constituido, en un elevado porcentaje, de materiales orgánicos estables, cuya identidad química original ha sido modificada hacia estructuras similares a aquellas que conforman el humus del suelo y, por lo tanto, tendrían funciones semejantes a las de la materia orgánica nativa. Ejemplo de materiales usados: residuos agrícolas, incluyen los residuos de cosecha y estiércoles; residuos sólidos: de las industrias de alimentos, papeleras, madereras, de pieles, y las

basuras de la ciudad, los lodos de plantas de tratamiento de aguas: industriales y urbanas. Algunos de estos materiales requieren de la aplicación de tratamientos previos al compostaje, para eliminar características indeseables.

Tendencia al uso de sustratos, el llamado cultivo sin suelo³

Es previsible que en los próximos años se produzca un aumento en la cantidad total de sustratos. La prohibición del uso del bromuro de metilo, así como la paulatina eliminación en años sucesivos de otros desinfectantes del suelo, hará incrementar sin duda, la superficie destinada al llamado cultivo sin suelo de algunas especies. Hasta ahora, los más usados son los inertes, lo que exige controlar la fertilización en cada momento, interviniendo sobre las características de las disoluciones nutritivas. En las últimas campañas se introducen sustratos sobre bases orgánicas, principalmente, fibra de coco, se empiezan a sustituir los materiales tradicionales.^{4,5} El cultivo en sustratos se parece más al cultivo en suelo, pues estos tienen elevada capacidad de retención de nutrientes,⁶ lo que puede evitar al agricultor posibles errores.

Actualmente existe una importante tendencia a la búsqueda de sustratos alternativos y al desarrollo de las técnicas de reutilización de sustratos y de las posibilidades de reciclar los usados.

Como ejemplo, en la región de Murcia se emplean diferentes tipos de sustratos dependiendo de cuál sea la finalidad de su uso. Sin lugar a dudas, la producción de plantas para trasplante es el sector que más cantidad de sustrato, principalmente orgánico, emplea. También utilizan importantes cantidades de sustratos los cultivos sin suelo, la producción de plantas ornamentales, el sector de la jardinería y los viveros frutales y forestales.³ Las primeras empresas dedicadas a la producción de plantas de hortalizas para trasplante aparecieron en Murcia a principios de los ochenta.^{6,7} En el año 1999, la producción regional total de plantas hortícolas fue de casi 2 400 000 000. El sector de frutales y cítricos también es un consumidor de importantes cantidades de sustratos. Se puede estimar un uso global de 3 000 000 L de fibra de coco, 750 000 L de turba negra, 300 000 L de turba rubia, 200 000 L de perlita y otras cantidades menores de otros

sustratos y arena. Especies cultivadas en cultivo sin suelo en la región de Murcia: tomate, pimiento, melón, pepino, lechuga, clavel, rosa, helecho, entre otras.³

El objetivo del presente trabajo consistió en discutir los aspectos más significativos de los residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se pretenden incorporar al suelo como abonos orgánicos o sustratos, alternativa económica en la agricultura, y utilizarlos como referencia en la evaluación de los lodos que se obtengan de la valorización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos tratados anaerobiamente.

DESARROLLO

En el desarrollo del trabajo se presentan principalmente tres aspectos como son: la materia orgánica del suelo, el compostaje y los sustratos. Los dos últimos de interés particular, dado que son los más similares a los lodos que se puedan obtener del tratamiento anaerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO¹

La materia orgánica del suelo constituye un todo heterogéneo en el que la producción de las formas más estables es el resultado de un conjunto de reacciones físicas, químicas y biológicas. A estas formas químicamente muy estables, se les conoce con el nombre de humus, dejando al lado la coexistencia de los distintos estados de organización de la fracción orgánica del suelo, cada una de las cuales ejercerá una función característica dentro del sistema.⁹

Las sustancias húmicas constituyen el 85 % de la fracción orgánica del suelo. Entre los residuos que llegan a este se encuentra un conjunto de compuestos orgánicos, principalmente proteínas, lípidos, carbohidratos, ácidos nucleicos, lignina, entre otros.

Estudiar la materia orgánica estable del suelo no resulta sencillo, por cuanto debe ser realizado sin la influencia de la fase inorgánica. Esto viene a constituir la primera limitación en este tipo de estudios, ya que dicha separación no resulta fácil, siendo muchas las investigaciones que se han dedicado a la búsqueda de métodos de separación eficientes. Una vez logrado el aislamiento, se ha empleado un gran número de métodos, con ese fin

cuya finalidad es la caracterización físico-química de los distintos integrantes de esa fracción aislada del suelo.

El llegar a tener la fracción orgánica estable en el suelo, especialmente, en los agroecosistemas, implica garantizar el retorno del material que se exporta mediante el suministro de nuevo material orgánico, que luego de los procesos de degradación y el establecimiento del balance entre los procesos de mineralización y humificación, garantece la alimentación a largo plazo del pool orgánico del suelo.

Ha sido una preocupación constante de quienes trabajan en el área de incorporación de residuos orgánicos (RO) al suelo, encontrar la mejor forma de evaluar su destino una vez introducidos al sistema suelo, intentando *conocer a priori* la proporción de estos que será mineralizada y cuál la remanente. Los resultados de los trabajos realizados han llevado a concluir que entre el 60 y el 80 % del carbono contenido en un RO va al ambiente como CO₂, y del 5 al 20 es retenido en la biomasa microbiana con posibilidad de pasar a la materia orgánica estable del suelo.¹⁰⁻¹²

La materia orgánica del suelo (MOS). Funciones¹

Las funciones que definen el ambiente que servirá de soporte a los productos primarios, están asociadas a los efectos de la MOS sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Propiedades químicas. Como consecuencia de su naturaleza, la materia orgánica interviene en un elevado porcentaje de los procesos físicos y químicos que se dan en el sistema suelo, gobernando características tales como la capacidad de intercambio catiónico (CIC); la capacidad amortiguadora; el potencial redox; el suministro de nutrientes y la interacción con agentes xenobióticos.

Interacción con compuestos xenobióticos

En las últimas décadas, y como consecuencia de la actividad humana moderna, se ha vertido sobre los suelos una gran cantidad de compuestos organo-sintéticos. Algunos de ellos son añadidos en forma directa, los herbicidas y desinfectantes por ejemplo, y otros que llegan al suelo como consecuencia de un uso incompleto en el comportamiento del sistema al cual estaban destinados. Ejemplo de esto es el

caso de los insecticidas, destinados a tallos y hojas, sin embargo, entre un 40 y 60 % no son usados y llegan al suelo, por el arrastre de la lluvia y del riego.

También se encuentran incluidos aquellos compuestos provenientes de actividades distintas a la agrícola, tal es el caso de los bifenilos polichlorados provenientes de la actividad industrial, los cuales son extremadamente resistentes a los procesos de biodegradación, por lo que permanecen en el ambiente por largos períodos de tiempo.

Propiedades físicas. Al igual que sobre las propiedades químicas, ha sido posible detectar que la MO del suelo tiene una elevada influencia sobre el comportamiento de sus características físicas, se reporta su efecto sobre: estructura, compactación, retención de humedad, color, resistencia a la erosión, etcétera.

Factores a tener en cuenta para la incorporación de los residuos orgánicos al suelo¹

Es importante la discusión sobre los factores que gobiernan el comportamiento de los residuos orgánicos una vez incorporados al suelo y el predominio de uno u otro proceso, mineralización o humificación. Los factores a considerar se agrupan en tres categorías: los inherentes al residuo, a las condiciones edafoclimáticas y al hombre como responsable del manejo que se le está dando al sistema.

Factores inherentes al residuo. Naturaleza, edad, relación C : N, contenido de lignina y polifenoles del material.

Factores edafoclimáticos. Temperatura, contenido de humedad y características del suelo.

Factores antrópicos o de manejo. Cantidad (o proporción) de residuo utilizado, grado de finura del material incorporado, tipo de labranza, utilización de fertilizantes.

Funciones de los materiales orgánicos incorporados al suelo¹

- Servir de abono orgánico mediante el aprovechamiento de las concentraciones de macro y micronutrientes que se generan, una vez ocurrida la mineralización.
- Restaurar o incrementar la materia orgánica del suelo. Tanto referido a los suelos que han perdido la fracción orgánica como consecuencia de un manejo inade-

cuado como los que en su condición natural presentan bajos contenidos de materia orgánica.

- Mantener las cantidades de materia orgánica en suelos que, debido a una explotación intensiva, están siendo sometidos a un elevado riesgo de pérdida.

Posibles efectos de la incorporación al suelo de algunos materiales frescos o con un grado de transformación incompleta, por la presencia en ellos de compuestos o elementos tóxicos o contaminantes, entre los que se pueden señalar los siguientes: ácidos de bajo peso molecular, formas disponibles de metales pesados, compuestos fitotóxicos, y químicos alelopáticos, microorganismos patógenos a plantas y animales, estos últimos podrían producir cambios en las poblaciones indígenas del suelo.

La posibilidad de ocurrencia de efectos adversos ha llevado al convencimiento de que es necesario un tratamiento previo del residuo a utilizar, de manera de garantizar la producción de materia orgánica de elevada estabilidad. Los residuos tratados presentan menores efectos detrimetiales sobre las características del suelo. Es deseable que el producto final sea higiénicamente inobjetable. En general, se ha aceptado que el tratamiento más generalizado, que permite el logro de estos objetivos, es el compostaje.

COMPOSTAJE

Durante el compostaje, el residuo se somete a una degradación bioxidativa bajo condiciones controladas, y como producto final se obtiene el compost.² El material producido está constituido, en un elevado porcentaje, de materiales orgánicos estables, cuya identidad química original ha sido modificada hacia estructuras similares a aquellas que conforman el humus del suelo y, que por lo tanto, tendrán funciones semejantes a las de la materia orgánica nativa. A pesar del establecimiento de definiciones por organismos internacionales, como la FAO, es posible a menudo detectar aplicaciones inadecuadas en las cuales dichos términos son usados para hacer alusión a procesos no controlados, verificados bajo condiciones anaerobias, e inclusive, para procesos fermentativos cuyos productos sólo han experimentado transformaciones incompletas por lo que resultan muy heterogéneos.¹

Materiales usados en el proceso de compostaje¹

- Residuos agrícolas, incluyen los de cosecha y estiércoles.
- Residuos sólidos: industrias de alimentos, papeleras, madereras, pieles, basuras de la ciudad.
- Lodos de plantas de tratamiento de aguas: industriales y urbanos.

Algunos de estos materiales requieren la aplicación de tratamientos previos al compostaje para eliminar características indeseables. Un ejemplo es la necesidad de inactivar los fenoles contenidos en los residuos de la industria maderera, por cuanto, presentan un elevado carácter fitotóxico.

Necesidad de evaluar la calidad del compost¹

La preocupación por determinar la calidad de un compost de manera previa a su incorporación al suelo, ha llevado a plantear el uso de un conjunto de técnicas e indicadores, que permitan obtener la seguridad de no producir efectos indeseables en él tales como, inmovilización de nitrógeno. Lo anterior se produce, usualmente cuando no hay una transformación completa de los materiales celulosicos, presencia de niveles tóxicos de productos de metabolismo anaeróbico o compuestos alelopáticos y elevados contenidos de sales o metales pesados.

Efectos de la aplicación al suelo¹

El efecto que la aplicación del compost provoca en el suelo depende de factores propios de él (donde el tipo de material que le da origen y su estado de maduración parecen ser los de mayor relevancia) y de las condiciones edafoclimáticas donde es aplicado. En general, la composición de un compost puede ser muy variable (Tabla 1).

Para compost provenientes de lodos, se han encontrado intervalos cercanos o comprendidos en los mencionados, sólo que se les atribuyen contenidos importantes de metales pesados (Tabla 2).

Los compost obtenidos a partir de residuos vegetales o estiércoles presentan indicadores similares a los mostrados en la tabla 1. Con referencia a los metales pesados, no se ha señalado la presencia en cantidades que pudieran inducir preocupación alguna. En el caso de aquellos que provienen de desechos de la industria maderera, se ha señalado como un problema importante el contenido de sustancias in-

hibidoras de la actividad biológica del suelo.¹⁴

La aplicación del compost puede producir en el suelo los efectos, que se presentan a continuación:

- Incremento en la materia orgánica una vez establecido el balance mineralización-humificación, en función de factores tales como: la madurez del compost, tipo de suelo, contenido de materia orgánica original del suelo, pH, temperatura, humedad, aireación y presencia de cultivos.^{16,17}
- Incremento de las poblaciones microbianas del suelo, lo cual es consecuencia de la gran variedad de microorganismos que pueden estar presentes en un compost, así como el aporte de sustrato carbonado foráneo.^{18,19}
- El efecto sobre el nitrógeno dependerá, de las relaciones C : N y lignina-celulosa, entre otras de las características del compost. En tal sentido,²⁰ se han atribuido al compost derivado de residuos sólidos urbanos un importante efecto residual en lo que a nitrógeno se refiere.
- Los compost contienen, en general, alrededor del 1 % de potasio, que al estar en forma inorgánica es cedido rápidamente a los cultivos. Estos materiales también contienen cantidades apreciables de micronutrientes que estarán a disposición de los cultivos, en razón de lo cual, han sido consi-

derados como correctores de deficiencias de estos elementos en el suelo.²¹

Ante aspectos positivos tan relevantes, no es posible dejar de lado el riesgo real de posibles efectos contaminantes en el medio, los que pueden actuar de las maneras siguientes:

Provocar toxicidad a los microorganismos del suelo y plantas.

Llegar al hombre y a los animales, mediante su traslocación a través de la cadena trófica.

Contaminar cuerpos de agua debido al desplazamiento superficial, o aguas subterráneas, por medio de procesos de percolación profunda.

SUSTRATO

El concepto de sustrato es el siguiente: todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta.²²

Propiedades de los sustratos de cultivo²²

Propiedades físicas

Porosidad. Es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, y por tanto, lo estará por aire o agua en una cierta proporción. Su valor óptimo no debería ser inferior del 80 a 85 %, aunque sustratos de menor porosidad pueden ser utilizados ventajosamente en determinadas condiciones.

La porosidad debe ser abierta, pues la porosidad ocluida, al no estar en contacto con el espacio abierto

Tabla 1. Composición del compost de residuos sólidos urbanos.¹³

Variable	Intervalo
Materia orgánica (g/kg)	200 a 600
Acidos húmicos (g/kg)	6 a 70
Acidos fulvicos (g/kg)	1 a 100
Nitrógeno total (%)	0,4 a 1,8
N nitrito (g ⁻¹)	0 a 70
N amoniacal (g ⁻¹)	0 a 30
Fósforo total (%)	0,15 a 0,50
Azufre total (%)	0,3 a 0,9
Potasio (%)	0,25 a 1,0
Calcio (%)	2 a 12
Mg (%)	0,5 a 2,5
pH	7,0 a 8,5
Conductividad (mS/cm)	6 a 15
Densidad aparente (g/cm ³)	0,5 a 0,7

Tabla 2. Contenido de metales pesados en un compost de lodos residuales.¹⁵

Elemento	Concentración (mg/kg)
Hierro	1,67
Cobre	542
Plomo	553
Cromo	946
Zinc	1 676
Níquel	72
Cadmio	22

to, no experimenta intercambio de fluidos con él y por tanto, no sirve como almacén para la raíz. El menor peso del sustrato será el único efecto positivo. El espacio o volumen útil de un sustrato corresponderá a la porosidad abierta.

El grosor de los poros condiciona la aireación y retención de agua del sustrato. Poros gruesos suponen una menor relación superficie : volumen, por lo que el equilibrio tensión superficial-fuerzas gravitacionales se restablece cuando el poro queda solo parcialmente lleno de agua, formando una película de espesor determinado.

El equilibrio aire-agua se representa gráficamente mediante las curvas de humectación. Se parte de un volumen unitario saturado de agua y en el eje de ordenadas se representa en porcentaje el volumen del material sólido más el volumen de porosidad útil. Se le somete a presiones de succión crecientes, expresadas en centímetros de columna de agua, que se van anotando en el eje de las abscisas. A cada succión corresponderá una extracción de agua cuyo volumen es reemplazado por el equivalente de aire. De modo que a un valor de abscisas corresponde una ordenada de valor igual al volumen del material sólido más el volumen de aire. El volumen restante hasta el 100 % corresponde al agua que aún retiene el sustrato.

Densidad. La densidad de un sustrato se puede referir bien a la del material sólido que lo compone y entonces se habla de densidad real, o bien, a la densidad calculada considerando el espacio total ocupado por los componentes sólidos más el espacio poroso, y se denomina densidad aparente.

La densidad real tiene un interés relativo. Su valor varía según la materia de que se trate y suele oscilar entre 2,5 a 3 para la mayoría de los de origen mineral. La densidad aparente indica indirectamente la porosidad del sustrato y su facilidad de transporte y manejo. Su magnitud se prefiere baja (0,7 a 01) y que garantice una cierta consistencia de la estructura.

Estructura. Puede ser granular como la de la mayoría de los sustratos minerales o bien fibrilar. La primera no tiene forma estable, acoplándose fácilmente a la forma del contenedor, mientras que la segunda dependerá de las características de las fibras. Si son fijadas por algún tipo de material de cementación, conservan formas rígidas y

no se adaptan al recipiente, pero tienen cierta facilidad de cambio de volumen y consistencia cuando pasan de secas a mojadas.

Granulometría. El tamaño de los gránulos o fibras condiciona el comportamiento del sustrato, ya que además de su densidad aparente varía su comportamiento hídrico a causa de su porosidad externa, que aumenta de tamaño de poro conforme sea mayor la granulometría.

Propiedades químicas

La reactividad química de un sustrato se define como la transferencia de materia entre el sustrato y la disolución nutritiva que alimenta las plantas a través de las raíces. Esta transferencia es recíproca entre sustrato y disolución de nutrientes y puede ser debida a reacciones de distinta naturaleza:

Químicas. Se deben a la disolución e hidrólisis de los propios sustratos y pueden provocar:

- Efectos fitotóxicos por liberación de iones H^+ y OH^- y ciertos iones metálicos como el Co^{2+} .
- Efectos carenciales debido a la hidrólisis alcalina de algunos sustratos que provoca un aumento del pH y la precipitación del fósforo y algunos microelementos.
- Efectos osmóticos provocados por un exceso de sales solubles y el consiguiente descenso en la absorción de agua por la planta.

Físico-químicas. Son reacciones de intercambio de iones. Se dan en sustratos que contienen materia orgánica o los de origen arcilloso (arcilla expandida) es decir, aquellos en los que hay cierta capacidad de intercambio catiónico. Estas reacciones provocan modificaciones en el pH y en la composición química de la disolución nutritiva por lo que el control de la nutrición de la planta se dificulta.

Bioquímicas. Son reacciones que producen la biodegradación de los materiales que componen el sustrato. Se producen sobre todo, en materiales de origen orgánico, destruyendo la estructura y variando sus propiedades físicas. Esta biodegradación libera CO_2 y otros elementos minerales por destrucción de la materia orgánica.

Normalmente, se prefieren los sustratos inertes frente a los químicamente activos. La actividad química aporta a la disolución nutritiva elementos adicionales por procesos de hidrólisis o solubilidad. Si

estos son tóxicos, el sustrato no sirve y hay que descartarlo, porque aunque sean elementos nutritivos útiles entorpecen el equilibrio de la disolución al superponer su incorporación un aporte extra con el que habrá que contar, y dicho aporte no tiene garantía de continuidad cuantitativa (temperatura, agotamiento, etc). Los procesos químicos también perjudican la estructura del sustrato, cambiando sus propiedades físicas de partida.

Propiedades biológicas

Cualquier actividad biológica en los sustratos es claramente perjudicial. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. También pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas de partida. Generalmente disminuye su capacidad de aireación, pudiéndose producir asfixia radicular. La actividad biológica está restringida a los sustratos orgánicos y se eliminarán aquellos cuyo proceso degradativo sea demasiado rápido.

Así, las propiedades biológicas de un sustrato se pueden concretar en:

Velocidad de descomposición. La velocidad de descomposición es función de la población microbiana y de las condiciones ambientales en las que se encuentre el sustrato. Esta puede provocar deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas) determina la velocidad de descomposición.

Efectos de los productos de descomposición. Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos se atribuyen a los ácidos húmicos y fulvicos, que son los productos finales de la degradación biológica de la lignina y la hemicelulosa. Una gran variedad de funciones vegetales se ven afectadas por su acción.

Actividad reguladora del crecimiento. Es conocida la existencia de actividad auxínica en los extractos de muchos materiales orgánicos utilizados en los medios de cultivo.

Características y normalización de los sustratos¹

El mejor medio de cultivo depende de numerosos factores como son el tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas, etc.), especie vegetal, condicio-

nes climáticas, sistemas y programas de riego y fertilización, aspectos económicos, etcétera.

Ante la problemática planteada por la utilización de diferentes métodos de caracterización de sustratos y enmiendas de suelo por parte de los laboratorios de los distintos estados de la Unión Europea, existen distintos grupos de trabajo, en el seno del Comité Europeo de normalización, dedicados a establecer métodos de análisis unificados que permitan que sean comparables los resultados analíticos de los sustratos comercializados obtenidos por diferentes laboratorios.²³

En líneas generales, las propiedades que en mayor medida caracterizan a un sustrato, en cuanto a su aptitud para la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, son las siguientes:^{24, 25}

Propiedades físicas:^{26,27}

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- Suficiente suministro de aire.
- Adecuada distribución del tamaño de las partículas (que mantenga las condiciones anteriores)
- Baja densidad aparente.
- Elevada porosidad.
- Estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón del medio).

Propiedades químicas:^{25,27,28}

- Baja o apreciable capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente.
- Suficiente cantidad de nutrientes asimilables, a no ser que se desee contar con un sustrato inerte.
- Baja salinidad.
- Elevada capacidad reguladora para mantener constante el pH.
- Mínima velocidad de descomposición.

Otras propiedades:

- Ausencia de semillas de malas hierbas, nemátodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas.
- Reproductividad y disponibilidad.
- Bajo coste.
- Facilidad de mezcla.
- Facilidad de desinfección y presentar estabilidad frente a la desinfección.
- Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.

Sustratos tradicionales y alternativos^{3,22,29}

Actualmente existe una gran preocupación por introducir nuevos

sustratos que sean alternativos a los tradicionales más utilizados,^{5,30} buscando materiales que sean reutilizables, reciclables y que no provengan de fuentes no renovables, como las turbas. Una base de datos con la caracterización físico-química, disponibilidad, usos y precios de venta de más de 125 sustratos, los materiales potencialmente utilizables y los componentes está instalada en el servidor de Internet del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, de España.³

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, los cuales están basados en el origen de los materiales, su naturaleza, su utilización, sus propiedades, su capacidad de degradación, etcétera.

Clasificación según su utilización^{3,22,29}

A continuación, se presenta un inventario, clasificado desde el punto de vista de su utilización hortícola, tanto de sustratos tradicionales como más novedosos, en el que se menciona para estos últimos, algunos de los trabajos realizados o en curso para su puesta a punto.

Materiales orgánicos

De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica: turba rubia y negra.

De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables que se obtienen mediante síntesis química: espumas de poliuretano, poliestireno expandido, etcétera.³²

Subproductos y residuos de actividades agrícolas, industriales y urbanas. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje o estabilización para su adecuación como sustratos: cáscara de arroz, paja de cereales, desechos de lino, fibra de coco, orijo de uva, orujo de aceituna, corteza de árboles, fibra de madera, serrín y virutas de madera, corcho, ascículas de pino, compostaje de champiñones, residuos sólidos urbanos, lodos de depuradoras, algas, plantas marinas, kenaf, restos de poda, etcétera.^{6,33-39}

Materiales inorgánicos

De origen natural. Se obtienen a partir de rocas y minerales de origen variado. Se modifican muchas veces de modo ligero mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables: arena, grava, granito, tierra volcánica, piedra pómez, puzolanas volcánicas, etcétera.

Transformados o tratados. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, y a veces tam-

bien químicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida. No son biodegradables: perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etcétera.^{6,39,40}

Subproductos y residuos industriales. Son materias procedentes de muy distintas actividades: escorias de alto horno, partículas estériles del carbón, etcétera.

Clasificación según sus propiedades²²

Sustratos químicamente inertes. Arena granítica o silícea, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etcétera.

Sustratos químicamente activos. Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, etcétera.

Las diferencias entre ambos vienen determinadas por la capacidad de intercambio catiónico o de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato. Los químicamente inertes actúan como soporte de la planta, no intervienen en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la disolución fertilizante. Los sustratos químicamente activos sirven de soporte a la planta, pero a su vez, actúan como depósitos de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización, los almacenan o ceden, según las exigencias del vegetal.

Descripción general de algunos sustratos^{22, 29}

Sustratos naturales

Agua. Es común su empleo como portador de nutrientes, aunque también se puede emplear como sustrato.

Gravas. Suelen utilizarse las que poseen un diámetro entre 5 y 15 mm, se destacan las gravas de cuarzo, la piedra pómez y las que contienen menos de un 10 % de carbonato de calcio.

Arenas. Las que proporcionan los mejores resultados son las arenas de río. Aunque la retención de agua de estos materiales es baja y su permeabilidad muy elevada, su efecto en las mezclas depende de la granulometría, la proporción usada y las propiedades físicas de los otros constituyentes.²⁹

Tierra volcánica. Son materiales de origen volcánico que se utilizan sin someterlos a ningún tipo de tratamiento, proceso o manipulación. Están compuestos de sílice, álumi-

na y óxidos de hierro. También contienen calcio, magnesio, fósforo y algunos oligoelementos.

Turbas. Se forman por descomposición parcial de la vegetación de zonas pantanosas o con exceso de agua, en circunstancias anaerobias y medio generalmente ácido; se originan, al cabo de un largo período de tiempo. Son estratos más o menos densos con restos de vegetales y materia orgánica en diversos estados de descomposición de propiedades físicas y químicas variables en función de su origen.²⁹

Corteza de pino. Se pueden emplear cortezas de diversas especies vegetales, (desechos de zonas forestales) aunque la más empleada es la de pino, que procede básicamente de la industria maderera. Al ser un material de origen natural posee una gran variabilidad. Las cortezas se emplean en estado fresco (material crudo) o compostadas. Las cortezas crudas pueden provocar problemas de deficiencia de nitrógeno y de fitotoxicidad, por lo que se requiere aplicar mayores cantidades de N para evitar carencias en los cultivos, ya que es necesario compensar el consumo que origina su descomposición biológica, dada su elevada relación C : N. Se suele recomendar adicionar sulfato ferroso, para reducir el pH y compensar su baja relación Fe : Mn. En algunos casos liberan productos fitotóxicos, orgánicos, férricos, taninos, terpenos, etc. o minerales como manganeso, por lo que es necesario compostarlos previamente a su uso. La fitotoxicidad de este tipo de productos varía con la especie y la región, es mayor en la zona basal y suele aumentar con la edad.²⁹

Se han utilizado sustratos puros de compost de cortezas para el cultivo de plantas de follaje, con buenos resultados si se adaptan adecuadamente a las prácticas de riego y fertilización.

Las cortezas de árboles de madera dura tienen un contenido en celulosa elevado, por lo que su descomposición es mucho más rápida que en el caso anterior y las necesidades de N mayores. Frecuentemente, liberan productos fitotóxicos mientras dura este proceso, por lo que su compostaje es obligatorio. Una vez compostados suelen presentar pH demasiado elevado, que debe ser corregido con adición de azufre o azufre + sulfato ferroso. El efecto supresivo de enfermedades fúngicas observado se atribuye a los micro-

organismos que los colonizan tras el proceso de compostaje.

Serrín. La descomposición de la madera es muy rápida y las demandas de N elevadas, por lo que resulta necesario compostar este sustrato. Su riqueza final en nutrientes es más baja que en el caso de las cortezas.²⁹

Cascarilla de arroz. Subproducto de la industria arrocera que se utiliza directamente, una vez que ha sido extraída la semilla del cereal. Es un material ligero y poroso que se adiciona a las mezclas para mejorar el drenaje y la aireación sin afectar el contenido de sales, nutrientes o el pH.²⁹ Su descomposición es normalmente lenta. Presenta una elevada relación C : N por lo que para satisfacer la demanda producida por su progresiva descomposición resulta necesario incrementar el aporte de N al menos un 10 %.

Fibra de coco. Este producto se obtiene como material de desecho de la industria y se desarrolla principalmente en zonas tropicales. La fibra de coco es relativamente estable, pero requiere compostaje para eliminar compuestos fitotóxicos que se liberan del material fresco.

Compost de residuos urbanos. Se elaboran por compostaje de desechos orgánicos procedentes de las ciudades tras un proceso de selección y depuración de las basuras urbanas. Los lodos de depuradora utilizados como enmienda orgánica en cultivos extensivos e intensivos también se proponen en ocasiones como componentes de sustratos para plantas ornamentales.²⁹

En general, suelen considerarse adecuados si se utilizan en baja proporción, pues por su elevado contenido en nutrientes deben ser considerados como fertilizantes orgánicos. Pueden presentar contenidos relativamente importantes de sodio y metales pesados, por lo que hay que considerar que la legislación establece sus niveles máximos.²⁹ Probablemente el problema más frecuente es la toxicidad por Zn.

Sustratos artificiales

Lana de roca. Es un material obtenido a partir de la fundición industrial a más de 1 600 °C de una mezcla de rocas basálticas, calcáreas y carbón.

Perlitá. Material obtenido como consecuencia de un tratamiento térmico a unos 1 000 a 1 200 °C de una roca silícea volcánica del grupo de las riolitas.

Vermiculita. Se obtiene por la exfoliación de un tipo de micas sometido a temperaturas superiores a los 800 °C.

Arcilla expandida. Se obtiene tras el tratamiento de nódulos arcillosos a más de 100 °C, con la formación de unas bolas de corteza dura y un diámetro, comprendido entre 2 y 10 mm.

Poliestireno expandido. Es un plástico troceado en flóculos de 4 a 12 mm, de color blanco.

Elaboración de sustrato

En la mayoría de los casos, la elaboración de sustrato constituye la mezcla formada por dos o más componentes con el fin de combinar sus propiedades físicas y químicas para obtener un medio adecuado al cultivo que se trate. Ejemplos son los típicos sustratos de turba-arena, cortezas-arena, turba-perlita, donde los materiales orgánicos aportan su elevada capacidad de intercambio iónico y de retención de agua, y los componentes minerales, el drenaje y la aireación. Es necesario por lo tanto considerar: la homogeneidad de los productos primarios, las propiedades físicas y químicas y la modificación tras el mezclado, la adición de enmiendas y fertilizantes, el proceso de mezclado, el diseño de mezclas mediante programa lineal (para facilitar el diseño de nuevos sustratos y disminuir los riesgos que significa hacerlo de forma intuitiva).²⁷

Aspectos tecnológicos de la elección y uso de sustratos³

Un gran número de materiales puede ser utilizado, separadamente o en mezclas, en la preparación de los medios de cultivo tanto en viveros como en cultivo sin suelo. No existe, como se ha explicado anteriormente, la forma idónea de uso universal. La elección de los materiales óptimos para cada utilización en concreto ha de venir determinada usualmente por los factores económicos y técnicos^{24,37} siguientes: tipo de cultivo, clima, especie cultivada, método de riego, finalidad, suministro y homogeneidad, precio, aspectos fitosanitarios y uso y mejoramiento de sustratos.

Tipo de cultivo. Debe considerarse si el cultivo va a realizarse al aire libre o en invernadero. Las plantas de exterior deben cultivarse en sustratos de mayor densidad aparente con el objetivo de que soporten las inclemencias climáticas (vientos, lluvias torrenciales).

Clima. Un microclima con temperaturas elevadas y un déficit elevado de saturación de vapor de agua, requiere un sustrato con elevada capacidad de retención de agua, una velocidad de evaporación más lenta y una mayor resistencia a la descomposición.

Especie cultivada. Las distintas especies presentan diferentes exigencias en las características químicas e hidrofísicas del sustrato. Su característica acidófila o basófila, la tolerancia o no a la salinidad, la predisposición a la asfixia radical, la sensibilidad a la presencia de determinados elementos, la adaptación a los cambios térmicos.

Método de riego. El método que se emplee estará en función de la capacidad de retención de agua del sustrato.

Finalidad. Las características dependerán de la finalidad y fase de desarrollo para los que vaya a ser utilizado. Ej. Sustratos para germinación de semillas y crecimiento de plántulas en semillero, para crecimiento y desarrollo de las plantas, para cultivos sin suelo, para enraizamiento.

Suministro y homogeneidad. El material elegido debe reunir las características de disponibilidad abundante y elevada homogeneidad, con suministro estable. Materiales tales como algunas turbas negras, corteza de pino, serrín, residuos sólidos urbanos y otros requieren de procesos de compostaje. Su origen puede ser distinto cada vez y sus procesos de preparación pueden variar de una partida a otra, pudiendo cambiar, consecuentemente, sus características físico-químicas.

Precio. Puede ser particularmente elevado. Debe tenerse en cuenta que el costo del sustrato no debe comprometer otros factores y aspectos del cultivo, ya que el material elegido debe permitir optimizar la producción evitando riesgos e inconvenientes.

Aspectos fitosanitarios. La ausencia de sustancias tóxicas (fenoles, sales de amonio, aminas terciarias, isocianatos, metales pesados, ácidos orgánicos, entre otros) y elementos patógenos es imprescindible en cualquier sustrato. Igualmente ha de tenerse en cuenta que la actividad de los distintos productos fitosanitarios es muy diferente en el suelo y en los sustratos, y que dentro de éstos también existe una enorme variabilidad.^{41,42} En cuanto a la detección de efectos fitotóxicos en los sustratos, se están desarro-

llando métodos para evaluar la existencia inicial de compuestos tóxicos en el medio, así como el grado de madurez biológica de este, pues estas toxinas pueden aparecer en el transcurso de la descomposición de productos originalmente inocuos.^{38,43}

El uso y el mejoramiento de sustratos. En dependencia de su empleo pueden ser mejorados mediante procesos de rizobacterización o micorrización⁴⁴ o mediante la adición de materiales diversos o por determinados tratamientos.^{45,46}

CONCLUSIONES

Se cuenta con datos de importancia que permiten realizar la evaluación de los lodos que se obtengan de diferentes residuos orgánicos de origen urbano e industrial, con vistas a su posterior incorporación al suelo, sin riesgo de causar su detrimento y que además, coadyuban a la ejecución de proyectos presentes y futuros.

Es preciso tener en cuenta los diversos aspectos revisados para una correcta utilización de los residuos orgánicos que permite mejorar las condiciones del suelo y a su vez, contribuya a una producción en términos de sustentabilidad, teniendo en cuenta la importancia de la materia orgánica en ellos.

Por lo tanto, se hace necesario el estudio de los distintos sustratos disponibles localmente y sus posibles mezclas con diferentes características físicas, químicas y biológicas y su posterior efecto en el suelo.

Principalmente en las zonas tropicales y subtropicales con la presencia de suelos empobrecidos y erosionados, con una tasa de mineralización elevada debido a las elevadas temperaturas y precipitaciones, donde frecuentemente es difícil mantener los contenidos de materia orgánica, considerando el efecto que tienen sobre numerosos procesos del suelo, las respuestas deben basarse en mejorar el aprovechamiento de los recursos locales para proteger los suelos e incrementar a su vez, la materia orgánica en ellos.

BIBLIOGRAFIA

- Rivero C. Materia Orgánica del Suelo. Revista *Alcance*, 57, 1-4, 61-62, 111-113, 127-130, 139-142, 1999.
- Golueke C.G. Composting. A review of rationale principles and public health. *Compost Sci.*, 17, 11-14, 1975.
- Franco J.A. Los sustratos agrícolas en la región de Murcia. *Agrícola Vergel*, 235, 376-384, 2001.
- Schemilewski G. Sustratos turbosos avanzan en países mediterráneos. *Horticultura Internacional*, 30, 110-115, 2000.
- Burés S. Perspectivas para la producción y comercio de sustratos. *Horticultura*, 150, 32-36, 2001.
- Franco J.A. and Gutiérrez L. Los semilleros hortícolas en la Región de Murcia. *Hortoinformación*, 5, 40-44, 1995
- Zanon P. Influencia del sustrato en la producción de rosas para flor cortada. *Agrícola Vergel*, 231, 189-192, 2000.
- González F.J. and Abad E. La producción semillerística en la región de Murcia: Un sector en continua evolución. DEA-Asaja, mayo, 22-23, 1998.
- Turenne J.F. Soil organic matter and soil fertility in tropical and subtropical soil. Soil and their management. Sino-european perspective. E. Maltby and T. Wollerter (Ed.). London, Elsevier *Applied Science*, 255-275, 1988.
- Jenkinson S. Studies on decomposition of ¹⁴C-labeled organic matter in soil. *Soil Sci.*, 111, 64-70, 1971.
- Stott D., Elliot L., Papenick R., Campbell G. Low temperature or low water potential effects on the microbial decomposition of wheat residue. *Soil Biol. Biochem.*, 18, 577-582, 1986.
- Janzen H. and Radder G. Nitrogen mineralization in a green manure-amended soil as influenced by cropping history and subsequent crop. *Plant Soil*, 120, 125-131, 1989.
- Nogales R. Efecto de los compost de RSU sobre el sistema suelo-planta. Curso sobre tratamiento de residuos urbanos. Universidad Autónoma, Madrid, España, 19, 1993.
- Basham J.M. Extraction and partial purification of non-volatile frugal inhibitor from composted hardwood bark. M.S. Thesis. The Ohio State University, 42, 1980.
- Bigeriego M. Aplicación agronómica de lodos residuales. Curso sobre tratamiento de residuos urbanos. Universidad Autónoma, Madrid, España, 44, 1993.
- Alexander M. Introduction to soil microbiology. New York, John Wiley & Sons, 491, 1980.
- Convertini G. and Ferri D. Proprietà chimiche e potenzialità agronomiche della sostanza organica di un compost da rifiuti solidi urbani applicato nel tavoliere pugliese. Int. Humic Subs. Soc. Sezione Italiana. Ia Convegno Nazionale Riasconti e Labori, 63-64, 1995.
- Mustin M. Le compost, question de la metier organique. París. Ed. Francois Dubusc, 954, 1987.
- Park J. and Cousin S. Soil biological health and agro-ecological chance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 56, 137-148, 1995.
- Hernández M.T., García F., Costa F., Valero J.A., Ayuso M. Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. *Suelo y Planta*, 2, 373-384, 1992.

21. Nogales R., Navarro R., Baca M.T., Gallardo-Lara F. DTP-extractable micronutrients in soil of contrasting pH affected by organic wastes and elemental sulfur. *Trends in Trace Elements*, **1**, 93-106, 1989.
22. INFOAGRO. Tipos de sustratos de cultivo. http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.asp (2003). Consulta: 18 de abril de 2003.
23. Martínez FX. and Burés S. Nueva normativa europea y española sobre sustratos y enmiendas. *Acta de Horticultura*, **23**, 21-42, 1998.
24. Abad M., Noguera P., Noguera V. Turba para semilleros. En: II Jornadas sobre semillas y semilleros hortícolas. Ed. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, 80-101, 1995.
25. Abad M. and Noguera P. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En Urrestarazu M. Ed. Manual de cultivos sin suelo. Ed. Universidad de Almería, Almería, 101-142, 1997.
26. Ansorena J. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ed. MundiPrensa, Madrid, 172, 1994.
27. Argo W.R. Root medium physical properties. *Hort Technology*, **8**, 486-494, 1998.
28. Franco J.A., Esteban C., Rodríguez C. Effects of salinity on various growth stages of muskmelon cv. Revigal. *Journal of Horticultural Science*, **68**, 899-904, 1993.
29. Cid M. del C. Materiales utilizados en la elaboración de sustratos. *Agric平tura Verge*, septiembre, 492-501, 1993.
30. Abad M., Noguera P., Carbonell S., Burés S. Resultados de la Acción Especial CICYT Elaboración de un inventario de sustratos y materiales adecuados por ser utilizados como sustratos o componentes de sustratos en España. *Actas de Horticultura*, **23**, 45-61, 1998.
31. Benoit F. and Ceustersmans N. Polyurethane ether foam (PUR) an ecological substrate for soilles growing. *Plymer Recycling*, **2**, 109-115, 1996.
32. Pieters J., Van Assche B., Buekens A. Reducing solid waste streams specific to soilles horticulture. *HortTechnology*, **8**, 396-401, 1998.
33. Verdonck O. Composts from organic waste materials as substitutes for the usual horticultural substrates. *Biological Wastes*, **6**, 325-330, 1988.
34. Aguado M.T., Ortega M.C., Moreno M.T., Ordovás J. Cultivo de adelfa en sustrato de corcho. *Actas de Horticultura*, **9**, 465-488, 1993.
35. Aguado M.T., Ortega M.C., Moreno M.T., Suárez M. P. Growth and nutrient content of pelargonium grown in cork oak bark substrate. *Acta Horticulturae*, **342**, 293-296, 1993.
36. Nappi P. and Barberis R. Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. *Acta Horticulturae*, **342**, 249-256, 1993.
37. Abad M., Noguera P., Noguera V., Roig A., Cegarra J., Paredes C. Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, **19**, 92-109, 1997.
38. Ortega M.C., Moreno M.T., Ordovás J., Aguado M.T. Behavior of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Scientia Horticulturae*, **66**, 125-132, 1996.
39. Pellicer C., Pérez A., Abadía A., Rincón L., Sáez J., Balsalobre E. Comportamiento del cultivo de pimiento sobre los sustratos perlita, lana de roca y fibra de coco. II. Parámetros de la nutrición. *Agrícola Verge*, **227**, 740-745, 2000.
40. Marfá O., Martínez A., Orozco R., Serrano L., Martínez FX. The use of fine grade perlites in lettuce bag cultures II. Physical properties, rheological effects and productivity. *Acta Horticulturae*, **342**, 339-348, 1993.
41. Franco J.A., Pérez-Saura M., Fuchs P. Efectos de la aplicación de TCMTB sobre el desarrollo inicial de plantas de pepino en cultivos sin suelo. *Cuadernos de Fitopatología*, **63**, 174-178, 1999.
42. Franco J.A., Pérez-Saura M., Fuchs P. Efectos de la aplicación de TCMTB en el transplante de melón en sustrato y en suelo. *Cuadernos de Fitopatología*, **65**, 81-90, 2000.
43. Moreno M.T., Aguado M.T., Carmona E. El empleo de bioensayos para la detección de efectos fitotóxicos en sustratos y enmiendas. *Acta de Horticultura*, **23**, 81-97, 1998.
44. González A., Lacasa A., Rodríguez R., Fernández J.A., Franco J.A. Rizobacterización de plántulas de pimiento: influencia en la fase de semillero y en la producción del cultivo. *Agrícola Verge*, **227**, 727-735, 2000.
45. Franco J.A., Bañón S., Madrid R. Effects of protein hydrolysate applied by fertigation on the effectiveness of calcium as a corrector of blossom-end rot in tomato cultivated under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, **57**, 283-292, 1994.
46. Hatwigsen J. and Evans M.R. Humic acid seed and substrate treatment promote seedling root development. *HortScience*, **35**, 1231-1233, 2000.

CORROSIÓN Y PROTECCIÓN

Grupo de Corrosión e Ingeniería de Materiales, Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría".

Calle 114 y 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba.
Tel.: (537) 204 0745. Fax: 204 0641. email: jdom@quimica.ispjae.edu.cu



CONSULTORÍAS, ASESORAMIENTO Y SERVICIOS:

- Diseño y evaluación de sistemas de protección catódica: estudios de campo, proyectos, equipos y montaje.
- Selección, evaluación y aplicación de inhibidores de corrosión en sistemas industriales.
- Preparación de superficies metálicas con fines anticorrosivos y decorativos.
- Electrodepositión de metales y tratamiento de sus residuos.
- Diseño mecánico y anticorrosivo de equipos de la industria química.
- Problemas de corrosión en estructuras de hormigón armado.
- Deterioro y protección de instalaciones industriales diversas. Petróleo y gas, energética, alimentaria, médico-farmacéutica y otras.
- Corrosión y protección de sistemas de enfriamiento, climatización, suministro de agua y vapor en la industria o en instalaciones de servicios turísticos, hospitalarios y similares.
- Cursos, diplomados, maestrías, doctorados a solicitud.

Vasta experiencia profesional avalada por más de 30 años de trabajo.