

CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE SUSTRADOS DE POLVO DE COCO

PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF COIR DUST

Patricia Vargas Tapia¹, Javier Z. Castellanos Ramos^{1*}, Prometeo Sánchez García², Leonardo Tijerina Chávez³, Rosa Ma. López Romero² y José L. Ojodeagua Arredondo¹

¹ Unidad de Horticultura Protegida, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 6.5 Carr. Celaya-San Miguel Allende. 38110, Celaya, Gto., México. ² Edafología e ³ Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

*Autor para correspondencia (javier.castellanos.ramos@gmail.com)

RESUMEN

El polvo de coco (*Cocos nucifera* L.) es un material usado como sustrato, que destaca por su buena capacidad de retención de agua, alto contenido de agua fácilmente disponible, estabilidad como sustrato orgánico y bajo costo de adquisición en comparación con otros sustratos. Sin embargo, la salinidad y variabilidad son dos de los principales problemas de este sustrato, atribuidos al proceso de producción y a su origen. En el presente estudio se caracterizaron siete materiales (cinco mexicanos y dos de Sri Lanka) de empresas con diferente proceso de molienda. Se determinaron las características físicas, químicas y biológicas. Las propiedades físicas y químicas difirieron significativamente entre materiales. Las variaciones respectivas en índice de grosor fueron de 32 a 64 %; en densidad aparente y real, de 0.08 a 0.12 y 1.48 a 1.49 g cm⁻³; en capacidad de aireación, de 11 a 53 %; en capacidad de retención de agua, de 50 a 81 %; en el agua fácilmente disponible, de reserva y total disponible, de 18 a 35, 3 a 14 y de 21 a 40 %. El espacio poroso total fue mayor de 92 % en todos los materiales. En cuanto a características químicas el pH de los materiales fue ligeramente ácido (5.1 a 5.6), la conductividad eléctrica del extracto de saturación varió de 1.5 a 4.5 dS m⁻¹, la concentración de N-NO₃, Ca, Mg y micronutrientos en extracto de saturación fue baja, el N-NH₄ se encontró en un rango óptimo, mientras que las concentración de K, P, Na y Cl fueron marcadamente altas, con valores de 420 a 1261, 7 a 61, 60 a 226 y 244 a 1700 mg L⁻¹, respectivamente. Los valores de capacidad de intercambio catiónico variaron de 39 a 53 cmolc kg⁻¹, mientras que el índice de germinación fue de 30 a 114 %. Las características físicas y químicas fueron afectadas en mayor medida por las variaciones en el tamaño de partícula, que por el proceso molienda.

Palabras clave: Agua fácilmente disponible, capacidad de aireación, densidad aparente, pH.

SUMMARY

Coco (*Cocos nucifera* L.) coir dust is a material used as substrate because of its good capacity for water retention, high content of easily available water, stability as organic substrate and low acquisition cost, compared to other substrates. Nevertheless, salinity and variability are two of the main problems of this media, attributed to the production process and its origin. In the present study seven materials were characterized (five Mexicans and two from Sri Lanka) from companies with different grinding process. Physical, chemical and

biological characteristics were determined. Physical and chemical properties differed significantly among materials. Corresponding ranges for gross index were 32 to 64 %; for bulk and real density, 0.08 to 0.12 and 1.48 to 1.49 g cm⁻³; for air capacity, 11 to 53 %; and for water retention capacity, 50 to 81 %; easily available water, reserve and total available, 18 to 35, 3 to 14 and 21 to 40 %. Total porous space was higher than 92 % in all materials. Regarding chemical characteristics the pH of the substrates were a slightly acid pH (5.1 a 5.6), electrical conductivity of the saturation extract ranged from 1.5 to 4.5 dS m⁻¹, the concentration of NO₃-N, Ca, Mg and micronutrients in the saturation extract was low, NH₄-N was found in an optimal range, while K, P, Na y Cl concentrations were markedly high with values from 420 to 1261, 7 to 61, 60 to 226 y 244 to 1700 mg L⁻¹, respectively. Cation exchange capacity values ranged from 39 to 53 cmolc kg⁻¹, whereas the germination index ranged from 30 to 114 %. Physical and chemical characteristics were more affected by variations in particle size properties than by the grinding process.

Index words: Easily available water, air capacity, bulk density, pH.

INTRODUCCIÓN

El sustrato es un factor clave para la producción de hortalizas, plántulas y flores en invernadero. En México hay una amplia variedad de materiales (*i. e.*, polvo de coco, tezontle, perlita, pumacita, tepezil, compostas, turba, corteza de pino, cascarilla de arroz, entre otros) que se emplean como sustratos; sin embargo, se le ha dado poca importancia a su caracterización la cual desempeña un papel clave en el manejo agronómico del cultivo. Burés (1998) señala que de las características físicas y químicas del sustrato depende el manejo del riego y la fertilización, mientras que en la caracterización biológica se evalúa la estabilidad del material y la liberación de elementos o sustancias que pudieran afectar al cultivo (Lemaire *et al.*, 2003).

El proceso industrial del desecho del tejido del mesocarpio o cáscara del fruto del coco (*Cocos nucifera* L.)

permite obtener fibras largas, cortas y polvo; las primeras se utilizan para hacer cuerdas y colchones, entre otros usos; las fracciones restantes, que pueden ser o no tamizadas para separar fibras de longitud media, dan lugar al polvo y fibras cortas; éste es el material que se emplea como sustrato y se conoce como polvo de coco (Abad *et al.*, 2002). Los principales países productores de polvo de coco son Sri Lanka, India, Filipinas, Indonesia, México, Costa Rica y Guyana (Konduru *et al.*, 1999). En México este material se produce en los Estados de Colima, Michoacán y Veracruz, principalmente.

El polvo de coco se considera un material alternativo a la turba, tanto por razones ambientales como por presentar buenas características físicas (elevada capacidad de aireación a costa de una menor retención de agua de los tipos fácilmente y total disponible) (Evans *et al.*, 1996; Noguera *et al.*, 2000;) y químicas (elevada capacidad de intercambio catiónico) relacionadas directamente con la granulometría del material (Konduru *et al.*, 1999; Noguera *et al.*, 2003). Su principal problema es la salinidad y heterogeneidad atribuidas al proceso de molienda o desfibrado de la cáscara y al origen de ésta (Evans *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 2002). En México, el desfibrado o molienda de la cáscara de coco se realiza por dos métodos, en húmedo y en seco; en el primero las cáscaras se someten a un remojo previo antes de la extracción de fibras, mientras que en el segundo las cáscaras secas se procesan directamente.

A pesar de que México es uno de los principales productores de polvo de coco, la bibliografía relacionada con su caracterización física, química y biológica (Noguera *et al.*, 2000; García *et al.*, 2001; Abad *et al.*, 2002) es escasa y sólo uno de los artículos es de autores mexicanos. En la mayoría de los trabajos hechos en México sobre sustratos se le ha dado mayor importancia a los aspectos agro-nómicos, lo que ha llevado a los usuarios a un manejo empírico de estos materiales.

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar el sustrato de polvo de coco sometido a diferentes procesos de desfibrado, desde el punto de vista físico, químico y biológico, que permita a los usuarios hacer un manejo más adecuado de este sustrato en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Laboratorio de Sustratos en Celaya, Gto. se evaluaron siete materiales de polvo de coco (cinco de México y dos de Sri Lanka) (Cuadro 1). Los materiales mexicanos A, C, D y E se comercializan en pacas con una compresión de 2:1 (el volumen original es reducido a la mitad), y el B en forma dispersa (sacos de cultivo); los

originarios de Sri Lanka se comercializan en bloques (el F) y en sacos de cultivo (el G) con compresión de 6:1 (el volumen original es reducido a una sexta parte). El proceso de desfibrado de los materiales A y B (Empresa 1) es en húmedo, mientras que el de los C, D y E (Empresa 2) es en seco; ambas empresas se localizan en la misma zona, por lo que se supone que las condiciones de cosecha y edad del fruto son similares. Los materiales F y G de Sri Lanka hacen el desfibrado en húmedo. Adicionalmente, se evaluó la variación granulométrica (heterogeneidad) a través de siete meses en muestreos mensuales del material B (una por mes), denominadas de B₁ a B₇.

Cuadro 1. Sustratos de polvo de coco evaluados.

Material	Presentación comercial	Empresa	Procedencia
A	Paca que rinde 300 L expandida (descompresionada)	1	Colima, Méx.
B	Saco de cultivo de 5 kg (35 L)	1	Colima, Méx.
C	Paca de 238 L, Mezcla Hidropónica®	2	Colima, Méx.
D	Paca de 238 L, Medio®	2	Colima, Méx.
E	Paca de 238 L, Fino®	2	Colima, Méx.
F	Bloque de 0.63 kg (8-9 L)	3	Sri Lanka
G	Saco de cultivo de 2.7 kg (35 L)	3	Sri Lanka

De cada uno de los materiales A, C, D y E se tomaron al azar cinco submuestras (descompresionadas) de 10 L cada una, las cuales se mezclaron y el volumen de la muestra se redujo a 30 L por el método del cuarteo. Para el muestreo mensual del material B el procedimiento fue similar. Al recibir los materiales se les determinó el contenido de humedad (UNE-EN 13040:1999), excepto en los materiales F y G que primero se hidrataron y descomprimieron según las instrucciones del fabricante. Posteriormente, todos los materiales se secaron a 35 °C en una estufa con circulación de aire forzado. Una vez secos se procedió a su caracterización física, química y biológica.

La caracterización física incluyó: 1) Granulometría, mediante el método propuesto por Martínez (1993), con tamices de 0.125, 0.25, 0.50, 1.0, 2.0 y 4.0 mm; 2) Índice de grosor (IG), como porcentaje en peso de partículas con diámetro mayor a 1 mm (Richards *et al.*, 1986); 3) Densidad aparente (Da), por la Norma UNE-EN 13040:1999; 4) Densidad real (Dr) y espacio poroso total (EPT) (UNE-EN 13041:1999); 5) Capacidad de retención de agua (CRA), mediante el método descrito por Ansorena (1994); y 6) Curva de liberación de agua, por el método descrito por De Boodt *et al.* (1974) y las modificaciones de Martínez (1993) que incluyen capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de

reserva (AR), agua total disponible (ATD) y agua difícilmente disponible (ADD).

Para la caracterización química se consideró: 1) Materia orgánica (MO), por calcinación a 550 °C (Ansorena, 1994); 2) pH, conductividad eléctrica (CE) y elementos solubles, en extracto de saturación (Warncke, 1986), donde el pH se determinó en el extracto, y la CE del filtrado (Conductronic PC45); N-NO₃ y N-NH₄ por destilación con arrastre de vapor, Cl por valoración con nitrato de plata (Johnson y Fixen, 1990); K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu y Zn por absorción atómica (Thermo Serie M), y P y B con ICP-AES (PerkinElmer 3000 SCR); y 3) Capacidad de intercambio catiónico (CIC), con BaCl₂ según el método descrito por Ansorena (1994).

La caracterización biológica se basó en el método propuesto por Zucconi *et al.* (1981), que consiste en germinar semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el filtrado proveniente del extracto de saturación y en tres diluciones de éste (25, 50 y 75 %, v/v), y se calculó el índice de germinación (Ig):

$$Ig, \% = \left[\frac{G}{G_0} \right] \left[\frac{LR}{LR_0} \right] \times 100$$

Donde: G = Número de semillas germinadas en solución del sustrato; G₀ = Número de semillas germinadas en el blanco; LR = Longitud radicular medida en la solución de sustrato; y LR₀ = Longitud radicular medida en el blanco.

Las determinaciones físicas, químicas y biológicas se hicieron por triplicado. El diseño experimental fue completamente al azar; la comparación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), y para las variables físicas se hicieron análisis de regresión, con el paquete estadístico SAS v8.2 (SAS Institute, 1999).

Cuadro 2. Análisis granulométrico e índice de grosor (IG) para sustratos de polvo de coco.

Materiales	Diámetro de partícula (mm)							IG ^{††} (%)
	< 0.125	0.125-0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2.00-4.00	> 4.00	
A	14.1 a [†]	17.7 ab	17.3 b	15.9 c	5.7 d	1.9 d	27.3 b	34.9 c
B [†]	14.1 a	18.4 b	14.4 c	10.7 d	3.5 d	2.3 d	36.7 a	42.5 b
C	8.2 b	14.9 bc	19.4 a	25.1 b	12.5 c	10.2 b	9.8 de	32.5 c
D	9.2 b	13.2 cd	16.2 b	26.8 b	18.4 b	8.2 b	7.9 de	34.6 c
E	10.1 b	12.7 cd	16.4 b	28.0 b	17.6 b	9.2 b	6.1 e	32.9 c
F	3.5 c	11.2 d	20.0 a	32.3 a	17.0 b	5.7 c	10.4 d	33.0 c
G	1.0 c	2.1 e	5.4 d	27.1 b	28.9 a	17.6 a	17.9 c	64.4 a
DMS	2.6	3.0	1.7	4.0	2.2	2.3	4.2	5.8

[†]Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

^{††}Promedio de siete submuestras mensuales.

^{††}IG = Porcentaje en peso de partículas con diámetro > 1 mm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física

El contenido de humedad al recibir los materiales presentó diferencias estadísticas; los materiales A y B fueron los de mayores valores (38 y 49 %, respectivamente), debido al proceso de desfibrado en húmedo y baja compacación, y porque el sustrato no se seca completamente después del proceso; los materiales F y G originarios de Sri Lanka fueron los de menor humedad, 6 y 8 % respectivamente, debido a su alta compresión.

El análisis granulométrico (Cuadro 2) indicó diferencias estadísticas entre orígenes para cada fracción: A y B tuvieron un alto porcentaje de partículas mayores de 4 mm (fibras medias y cortas), mientras que en C, D, E y F la mayor proporción estuvo en el intervalo de 0.50 a 1 mm, y para G de 1 a 2 mm. Estos materiales fueron más heterogéneos que los reportados por Evans *et al.* (1996), quienes analizaron cinco productos de Sri Lanka y encontraron que cuatro de ellos variaron en un intervalo de partícula de 0.5 a 2 mm.

La variación granulométrica fue menor en la Empresa 2 (Cuadro 2), pues los materiales A y B de la Empresa 1 presentaron una distribución similar, con excepción de las partículas mayores de 4 mm; en la Empresa 2 (materiales C, D y E) la distribución fue semejante mientras que en la Empresa 3 el material F tuvo mayor proporción de partículas menores de 1 mm, y mayores de 1 mm en el material G. En cuanto al IG el producto G fue el de mayor valor con 64.4 % de partículas mayores de 1 mm, seguido de B con 42.5 %; los demás presentaron valores similares de 33 a 35 %. Noguera *et al.* (2000) reportaron una variación del IG de 12 a 66 % para polvo de coco de diferentes países.

En el análisis granulométrico de las submuestras B (Cuadro 3), la obtenida en el primer mes (B_1) fue la que presentó mayor diferencia con respecto a las demás porque tuvo la menor proporción de partículas menores de 0.25 mm y la mayor proporción de partículas mayores de 4 mm, lo que causa que ésta tenga mayor IG. A partir del segundo mes (B_2) la distribución granulométrica fue más homogénea, lo que se refleja en el índice de germinación (IG).

La densidad aparente (Da) presentó diferencias estadísticas entre materiales (Cuadro 4), con valores similares a los reportados por Noguera *et al.* (2000) y ligeramente superiores a los de Arenas *et al.* (2002). La Da disminuyó a medida que aumentó el IG (Cuadros 2 y 4), con variación entre la misma empresa. Es deseable tener sustratos con una Da baja pues éstos son ligeros, lo que facilita su acarreo y manejo en el invernadero. La densidad real (Dr) también fue significativa pero los materiales presentaron valores similares y cercanos al 1.5 g cm^{-3} encontrado por Arenas *et al.* (2002). El espacio poroso total (EPT) de todos los productos fue mayor de 92 %, similar al reportado por Noguera *et al.* (2000) y Arenas *et al.* (2002). Los valores de Da, Dr y EPT (Cuadro 4) se encuentran dentro del intervalo considerado como óptimo para sustratos, según Abad *et al.* (1993).

La relación entre la Da y el EPT fue alta ($EPT = 99.801 - 64.678 \text{ Da}$; $r = 0.997$, $n = 103$), con un coeficiente de correlación superior al reportado por Wilberg *et al.* (2005) ($r = 0.82$ con $n = 24$), para varios sustratos comerciales en Utha, EE. UU. Las relaciones agua:aire, capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua (CRA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua total disponible (ATD) y agua difícilmente disponible (ADD) difirieron significativamente entre muestras, independientemente del proceso de desfibrado (Cuadro 4). La determinación de CA y AFD en los sustratos es importante pues las raíces de los cultivos varían en sus requerimientos de aire y agua y de ello depende de su manejo agronómico (como el riego). La capacidad de aireación presentó una alta variación entre materiales y aumentó cuando las partículas mayores de 1 mm aumentaron (Cuadros 2 y 4), con valores menores a los reportados por Noguera *et al.* (2000) en polvo de coco, cuyas procedencias presentaron un índice de grosor más alto que los aquí determinados. El material B presentó el valor más alto debido a que posee 37 % de partículas mayores de 4 mm (fibra corta y media), mientras que E fue el de menor porcentaje (6 %) de esas partículas (Cuadro 2). Los materiales A, C, D, E y F se ubicaron dentro del valor óptimo para capacidad de aireación en sustratos, según Abad *et al.* (1993).

Cuadro 3. Análisis granulométrico e índice de grosor (IG), en siete submuestras mensuales del material B de polvo de coco.

Materiales	Diámetro de partícula (mm)							IG ⁺⁺ (%)
	< 0.125	0.125-0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2.00-4.00	> 4.00	
B_1	7.4 b [†]	13.0 b	13.0	13.0 a	4.5 a	5.2 a	44.0 a	53.6 a
B_2	14.4 a	17.0 ab	12.4	9.2 b	3.3 ab	3.4 ab	40.2 ab	46.9 ab
B_3	15.3 a	18.2 a	13.3	8.3 b	2.7 b	1.5 b	40.6 ab	44.8 ab
B_4	16.0 a	21.6 a	16.0	11.3 ab	3.6 ab	1.3 b	30.2 b	35.1 b
B_5	12.9 a	20.5 a	16.5	11.8 ab	3.5 ab	1.1 b	33.6 ab	38.3 b
B_6	16.0 a	19.8 a	15.0	10.4 ab	3.2 b	2.3 b	33.3 ab	38.8 b
B_7	16.6 a	18.5 a	14.3	10.9 ab	3.3 ab	1.6 b	34.8 ab	39.7 b
Media	14.1	18.4	14.4	10.7	3.5	2.3	36.7	42.5
DMS	4.5	4.9	ns	3.5	1.2	2.7	13.3	13.6

[†]Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ns = No significativo.

⁺⁺IG = Porcentaje en peso de partículas con diámetro > 1 mm.

Cuadro 4. Caracterización física: densidad aparente (Da) y real (Dr), capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua (CRA), espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua total disponible (ATD) y agua difícilmente disponible (ADD) en sustratos de polvo de coco.

Materiales	Da (g cm^{-3})	Dr	CA	CRA	EPT	AFD (% en volumen)	Sustitutos		
							AR	ATD	ADD
A	0.085 cd [†]	1.483 bc	31.9 c	64.5 c	94.3 b	29.7 b	10.0 b	39.7 ab	23.0 c
B^+	0.075 de	1.480 c	52.6 a	49.5 e	94.9 a	17.8 d	5.6 c	23.4 c	15.8 d
C	0.107 b	1.480 c	33.1 c	61.6 cd	92.8 d	31.2 ab	5.3 c	36.5 ab	23.2 c
D	0.095 c	1.488 abc	22.7 d	71.1 b	93.6 c	21.2 cd	13.5 a	34.7 b	36.9 b
E	0.117 a	1.490 ab	12.3 f	81.2 a	92.2 e	24.1 c	13.3 a	37.5 ab	41.8 a
F	0.087 cd	1.495 a	18.3 e	75.1 b	94.1 b	34.6 a	5.8 c	40.3 a	35.1 b
G	0.075 e	1.483 bc	37.1 b	58.2 d	94.9 a	18.0 d	3.3 d	21.3 c	35.9 b
DMS	0.01	0.009	3.7	4.2	0.4	4.6	1.1	5.2	2.9
Óptimo ⁺⁺	< 0.4	1.4-2.6	10-30	55-70	> 85	20-30	4-10	24-40	

[†]Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

⁺⁺Promedio de siete submuestras mensuales. ⁺⁺Valores óptimos, según Abad *et al.* (1993).

La proporción de agua fácilmente disponible presentó valores de 17.8 a 34.6 % (Cuadro 4), lo que coincide con lo reportado por Noguera *et al.* (2003), quienes indicaron que las fracciones menores de 0.50 mm son las que más influencia tiene sobre esta propiedad en polvo de coco. En el presente estudio, la fracción de 0.25 a 0.50 mm fue la de mayor influencia (Cuadro 2 y 4), lo que coincide con Hendreck (1983) quien en arena y corteza de pino observó que esa fracción tenía el mayor efecto sobre la capacidad de aireación y el agua disponible. Es importante destacar que en un sustrato con alta capacidad de aireación y poca agua fácilmente disponible, los riegos deben ser más frecuentes y con menores volúmenes que en un medio con abundante agua fácilmente disponible y baja capacidad de aireación.

Para el agua de reserva (AR), agua total disponible (ATD) y agua difícilmente disponible (ADD), los materiales presentaron valores en un rango de 3.3 a 13.5, de 21.3 a 40.3 y de 15.8 a 41.8 %, respectivamente (Cuadro 4); los productos A, B, C y F están en el rango óptimo de 4 a 10 % para AR, mientras que para ATD los materiales A, B, C, D, E y G se encuentran en el rango óptimo de 24 a 40 %, según Abad *et al.* (1993). El rango de valores para la capacidad de retención de agua fue de 49.5 a 81.2 %, superior a los reportados por Noguera *et al.* (2000), y se incrementó notablemente al disminuir el índice de grosor. Es decir, los materiales A y C son los que cumplen todos los parámetros físicos óptimos. En la caracterización física se observó una alta variación atribuida más a la diferencia en la granulometría que al proceso de desfibrado.

Caracterización química

Los valores de materia orgánica variaron de 93 a 96 % y presentaron diferencia estadística entre materiales, similar a lo reportado por Abad *et al.* (2002) en polvo de coco de diferentes países. El pH fue ligeramente ácido (de 5.1 a 5.6), que se ubica dentro del rango óptimo según Abad *et al.* (1993). Los valores de conductividad eléctrica (CE) fueron estadísticamente diferentes entre productos,

con un rango de 1.5 a 4.5 dS m⁻¹, y los mayores valores se observaron en los materiales de la Empresa 2 (Cuadro 5), con un proceso de desfibrado en seco; sin embargo, esta salinidad elevada no representa riesgo para su uso como sustrato (con excepción de cultivos muy sensibles), pues en ensayos de lixiviación controlada en polvo de coco, Noguera *et al.* (2000) concluyeron que el exceso de sales solubles es fácilmente lixiviado con el riego.

Para el contenido de N-NH₄ se encontraron valores de 0.7 a 5.7 mg L⁻¹ (Cuadro 5), superiores a los reportados por Abad *et al.* (2002); el K, Na y Cl fueron los elementos más elevados, con valores de 467 a 1262, 96 a 226 y 472 a 1633 mg L⁻¹, respectivamente, similares a los reportados por Abad *et al.* (2002) en materiales de varios países. En Ca y Mg la concentración fue de 4.3 a 10.8 y de 5.9 a 27.4 mg L⁻¹, respectivamente, mientras que el N-NO₃ sólo se detectó en los materiales A, B y G, con valores de 3.4, 2.8 y 4.0 mg L⁻¹, respectivamente. Estas cifras son inferiores a las recomendadas por Abad *et al.* (1993) para sustratos con un intervalo de mayor de 200, mayor de 70 y de 100-199 mg L⁻¹, para Ca, Mg y N-NO₃, respectivamente, aunque esto se puede modificar mediante la solución nutritiva y alcanzar el nivel nutrimental deseado. Para P los valores superaron a los reportados como óptimos por Abad *et al.* (1993), pero son similares a los de Noguera *et al.* (2000) en polvo de coco mexicano. La CIC presentó diferencia estadística entre materiales con valores de 39 a 53 cmol_c kg⁻¹, lo cual coincide con Abad *et al.* (2002) quienes reportaron valores de 32 a 52 cmol_c kg⁻¹ en polvo de coco también mexicano.

El contenido de microelementos presentó diferencia estadística entre materiales, con valores de 0.08 a 0.62, 0.01 a 0.02, 0.03 a 0.07 y 0.25 a 0.69 mg L⁻¹, para Fe, Cu, Mn y B, respectivamente. El Zn sólo se detectó en los materiales C, D y E, con valores de 0.04 mg L⁻¹ para C y 0.02 mg L⁻¹ para D y E. En todos los casos Cu, Mn y B se encontraron dentro del valor óptimo, y en Fe y Zn los resultados fueron ligeramente bajos para sustratos (Abad *et al.*, 1993).

Cuadro 5. Caracterización química en extracto de saturación y capacidad de intercambio catiónico (CIC), en sustratos de polvo de coco.

Materiales	pH	CE (dS m ⁻¹)	N-NH ₄	K	Ca	Mg (mg L ⁻¹)	Na	P	Cl	CIC (Cmol _c kg ⁻¹)
A	5.2 c [†]	2.6 c	4.3 abc	753.3 c	4.3 c	27.4 a	76.0 cd	35.8 d	871.4 c	41.2 cd
B [†]	5.2 c	2.6 c	4.4 abc	799.8 b	5.1 c	22.0 ab	60.7 d	37.4 cd	862.7 c	45.4 bc
C	5.1 c	4.5 a	4.7 ab	1261.9 a	10.8 a	25.6 ab	129.2 b	61.3 a	1633.7 a	44.1 bcd
D	5.1 c	3.2 b	0.7 c	910.0 c	7.0 b	19.1 ab	96.5 c	44.0 c	1107.0 b	47.3 b
E	5.2 c	3.6 b	5.4 a	1081.8 b	7.0 b	18.1 b	97.4 c	52.4 b	1267.5 b	53.1 a
F	5.3 b	1.5 d	5.7 a	268.2 e	4.7 c	5.9 c	151.5 b	7.4 e	472.5 d	39.0 d
G	5.6 a	2.2 c	1.3 bc	467.1 d	5.4 bc	7.2 c	226.6 a	13.4 e	722.9 c	45.1 bc
DMS	0.1	0.5	3.7	167.8	1.9	8.5	23.9	7.1	254.3	5.2
Óptimo ⁺⁺	5.2-6.3	0.75-3.5	0-20	150-249	>200	>70	---	6-10	---	>20

[†]Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

^{††}Promedio de siete submuestras mensuales. ⁺⁺Valores óptimos según Abad *et al.* (1993).

Los materiales C, D y E (Empresa 2 con desfibrado en seco) presentaron mayores valores de K, Na, P y Cl (mayor CE); sin embargo, hubo diferencia entre materiales de la misma empresa (Cuadro 5), que se puede atribuir a la distribución granulométrica. Konduru *et al.* (1999) encontraron altos niveles de K, Na y Cl en sustratos de coco provenientes de Filipinas a los cuales no se les había realizado proceso de humedecimiento, y concluyeron que los altos niveles de sales se deben a que los agricultores aplican NaCl y KCl alrededor de las palmas, y como son plantas semi-halófitas absorben estas sales y las transportan a los frutos. Es decir, el polvo de coco mexicano no es el único que tiene sales, y la diferencia radica en que en países como Sri Lanka se realiza un mayor lavado del sustrato para eliminar el exceso de sales.

Caracterización biológica

El índice de germinación (Ig) en la dilución del extracto a 25 % no mostró diferencia estadística entre materiales (Cuadro 6), lo que indica la importancia del lavado de la muestra antes de su uso. La mayor variación en Ig se presentó a partir de la dilución a 50 %, donde el material D obtuvo el menor valor (66 %), y a una dilución de 75 % el Ig fue menor en los materiales C y D. Al respecto, Zucconi *et al.* (1981) propusieron que los sustratos con Ig inferior a 60 % sean considerados fitotóxicos. En la determinación hecha en el extracto puro, el Ig fue más bajo en los materiales C, D y E, lo que concuerda con la mayor salinidad en estos materiales (Cuadro 5), ya que la lechuga es una especie sensible a sales. Por ello es recomendable lavar el sustrato antes de su uso a fin de eliminar el exceso de sales. Los bioensayos de germinación se pueden considerar como una herramienta sencilla y rápida para la detección de fitotoxicidad inespecífica.

Cuadro 6. Caracterización biológica: índice de germinación (Ig) en sustrato de polvo de coco.

Materiales	Porcentaje del extracto			
	25	50	75	100
A	95.3	113.6 a [†]	84.7 ab	62.7 bcd
B [‡]	95.9	98.6 ab	89.7 ab	73.0 b
C	96.6	93.7 abc	65.0 c	60.3 cd
D	96.9	66.0 d	32.3 d	29.7 e
E	114.3	86.6 bc	74.3 abc	57.0 d
F	117.2	100.0 ab	92.4 a	90.0 a
G	107.2	74.0 cd	70.7 bc	70.1 bc
DMS	ns	20.4	19.0	12.4

[†]Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ns = No significativo.

[‡]Promedio de siete submuestras mensuales.

CONCLUSIONES

Los materiales de polvo de coco presentaron una alta variación granulométrica entre empresas. Los materiales

A y C (mexicanos) fueron los que cumplieron con todos los parámetros físicos apropiados como sustrato. La concentración de N-NO₃, Ca, Mg y microelementos fue baja, el N-NH₄ se encontró en nivel óptimo mientras que la concentración de K, P, Na y Cl fue marcadamente alta para sustratos. Los materiales C, D y E fueron los que presentaron mayor salinidad. Las características físicas y químicas del sustrato de polvo de coco fueron afectadas en mayor medida por la distribución granulométrica que por el método de desfibrado o molienda. El índice de germinación fue afectado principalmente por la salinidad de los materiales. Las muestras de polvo de coco mexicanas cumplen con las características necesarias para ser consideradas como sustratos y sólo es necesario hacer un lavado previo antes de su uso para eliminar el exceso de sales y hacer un manejo adecuado a sus características.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Guanajuato, por el apoyo económico para la realización del proyecto "GTO-2002-C01-6200", y al CONACYT por la beca otorgada.

BIBLIOGRAFÍA

Abad M, P F Martínez, M D Martínez, J Martínez (1993) Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas Hort.* 11:141-154.

Abad M, P Noguera, R Puchades, A Maquieira, V Noguera (2002) Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Biores. Technol.* 82:241-245.

Ansorena J (1994) Sustratos. Propiedades y Caracterización. Mundiprensa. Madrid, España. 172 p.

Arenas M, C S Vavrina, J A Cornell, E A Hanlon, G J Hochmuth (2002) Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience* 37:309-312.

Burés S (1998) Introducción a los sustratos. Aspectos generales. In: *Tecnología de Sustratos. Aplicación a la Producción Viverística Ornamental, Hortícola y Forestal*. J N Pastor S (ed). Universitat de Lleida, España. pp:19-31.

De Boodt M, O Verdonck, I Cappaert (1974) Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37:2054-2062.

Evans M R, S Konduru, R H Stamps (1996) Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience* 31:965-967.

García C O, G Alcántar, R I Cabrera, F Gavi, V Volke (2001) Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivada en maceta. *Terra* 19:249-258.

Johnson G V, P E Fixen (1990) Testing soil for sulfur, boron, molybdenum and chlorine. In: *Soil Testing and Plant Analysis*. 3rd ed. R L Westerman (ed). Soil Sci. Soc. Am., Inc. Madison, WI. USA. pp:265-263.

Hendreck K A (1983) Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 14:209-222.

Konduru S, M R Evans, R H Stamps (1999) Coconut husk and processing effect on chemical and physical properties of coconut coir dust. *HortScience* 34:88-90.

Lemaire F, A Fatigues, L M Revière, S Charpentier, P Morel (2003) Cultures en Post et Conteneurs, Principes Agronomiques et Applications. 2a ed. INRA. Paris. 210 p.

Martínez F X (1993) Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas Hort.* 11:55-66.

Noguera P, M Abad, V Noguera, R Puchades, A Maquieira (2000) Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta Hort.* 517:279-288.

Noguera P, M Abad, R Puchades, A Maquieira, V Noguera (2003) Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 34:593-605.

Richards D, M Lane, D V Beardsell (1986) The influence of particle - size distribution in pinebark: sand: brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Sci. Hort.* 29:1-14.

SAS Institute (1999) The SAS System for Windows. Release 8.2. SAS Institute Cary, NC, USA.

UNE-EN 13040:1999 Mejoradores de Suelo y Sustratos de Cultivo: Preparación de Muestras para Ensayos Químicos y Físicos, Determinación del Contenido de Materia Seca, Contenido de Humedad y Densidad Aparente Compactada en Laboratorio. AENOR. Madrid, España. 19 p.

UNE-EN 13041:1999 Mejoradores de Suelo y Sustratos de Cultivo: Determinación de Propiedades Físicas, Densidad Aparente Seca, Volumen de Aire, Volumen de Agua, Valor de Contracción y Porosidad Total. AENOR. Madrid, España. 25 p.

Warncke D D (1986) Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 21:223-225.

Wilberg A, R Koenig, T Cerny-Koenig (2005) Variability in the physical and chemical properties of retail potting media. *HortTechnol.* 15:752-757.

Zucconi F, A Pera, M Forte, M De Bertoldo (1981) Evaluation toxicity of immature compost. *Biocycle* 22:54-57.