

# Residuos industriales para incrementar la capacidad de retención de humedad en un sustrato arenoso

Industrial residues for increasing the capacity of water retention in a sandy substrate

Fabiel Vázquez-Cruz<sup>1\*</sup>, Carlos Rodríguez-Rodríguez<sup>1</sup>, Sigfrido David Morales-Fernandez<sup>1</sup>, Armando Ibáñez-Martínez<sup>1</sup>, Guillermo Jesuita-Pérez Marroquín, Raúl Berdeja-Arbeu

---

## RESUMEN

Una de las preocupaciones en materia medioambiental en relación con la industria textil son las elevadas cantidades de los residuos que se pueden generar, tales como lodos, piedras y arena. El objetivo de este estudio fue cuantificar la porosidad total, curva de retención de humedad y variación de la humedad a través del tiempo en lodo industrial, piedra pómez, arena y la combinación de estos sustratos, para determinar su uso potencial como sustratos alternativos. Se encontró que el contenido de humedad aumentó a medida que se incrementó la porosidad del sustrato. El mayor contenido de humedad fue de 41%, el cual se obtuvo con el lodo industrial; además, tuvo menor pérdida de humedad diaria (3.1%) en comparación con 4.1% en arena. De acuerdo con los resultados obtenidos, los residuos industriales son una alternativa potencial para emplearlos como sustratos; sin embargo, es necesario realizar estudios químicos y microbiológicos para evaluar si contienen elementos tóxicos o contaminantes que pudieran afectar el crecimiento los cultivos o la salud de los consumidores.

## PALABRAS CLAVE

lodo industrial, sustratos, piedra pómez, frecuencia de riego

## ABSTRACT

One of the environmental concerns related to the textile industry is the high quantities of waste that can be obtained, such as sludge, stones and sand. The objective was to quantify the total porosity, the humidity retention curve, the variation of humidity through time in industrial sludge, pumice stone, sand, and the combination of these substrates, to determine their potential use as alternative substrates. It was found that the moisture content increased as the porosity of the substrate increased. The highest moisture content was 41%, which was obtained with the industrial sludge, in addition, had less daily moisture loss (3.1%) compared to 4.1% in sand. According to the results obtained, the industrial residues can be an alternative to use them as substrates; however, it is necessary to carry out chemical and microbiological studies to assess whether the industrial residues content toxic elements or contaminants that might affect the growth of crops or the health of consumers.

## KEYWORDS

industrial sludge, substrates, pumice stone, irrigation frequency

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Agrohidráulica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Teziutlán, Puebla, México.

\* Autor para correspondencia. Av. Universidad s/n, San Juan Acateno. 73965 Teziutlán, Puebla, México.

Correo electrónico: fabiel.vazquez@correo.buap.mx

## INTRODUCCIÓN

Un aspecto importante en la producción en invernadero es el sustrato que se utiliza para el crecimiento de los cultivos (Cruz-Crespo et al. 2013). Éste es el material que permite un óptimo desarrollo de las plantas (SAGARPA 2009), y puede ser orgánico, inorgánico o sintético (FAO 2002). Los materiales más empleados son: arena, grava, piedra pómez (también llamada jal, pumita o pumicita), turba, arcilla expandida, perlita, vermiculita, carbón, y los desechos industriales como cascarilla de arroz, cáscara de coco, cáscara de café, lana de roca y espumas fenólicas (Calderón y Cevallos 2002). Las principales funciones de los sustratos son: retención de humedad y nutrientes, aireación radical y su aportación a la planta para actuar como amortiguador de las reacciones químicas (Acosta-Durán et al. 2004).

La capacidad de retención de humedad es una característica importante en cualquier sustrato (Burrés-Pastor 2002). Cabrera (1999) menciona que el volumen de agua total disponible para la planta debe ser de, al menos, 30% del volumen total del sustrato. Por su parte, Salazar et al. (2014) sugieren que, para producir el doble de alimentos que se requiere en los próximos 30 años, la agricultura tendrá que incrementar de manera notable la eficiencia en el uso del agua.

De acuerdo con Cruz-Crespo et al. (2013), la piedra pómez es uno de los desechos industriales que se pueden emplear debido a su alta capacidad de retención de humedad. Por otro lado, Narváez-Ortiz et al. (2014) sugieren utilizar lodos textiles industriales, siempre y cuando, la parte comestible del vegetal no se encuentre en contacto directo con el sustrato. Moinereau et al. (1987), por su parte, mencionan que la arena es un material que se puede utilizar como sustrato. La utilización de sustratos regionales tiene ventajas como su disponibilidad y menor costo (Humpert 2000).

En la zona de Teziutlán, Puebla, existen procesadoras textiles que desechan lodos industriales y piedra pómez como subproductos de la elaboración de ropa, lo que a largo plazo puede ocasionar contaminación al suelo y al ambiente. Por lo antes mencionado, el objetivo de esta investigación fue evaluar la porosidad total, curva de retención de humedad, variación de la humedad a través del tiempo en lodo industrial, piedra pómez, arena, y la combinación de estos sustratos, para determinar su uso potencial como sustratos alternativos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero tipo túnel con cubierta de plástico (5 m de ancho × 6 m de largo × 2.5 m de alto), de la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ubicado en la localidad de San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, de octubre a noviembre de 2016. Se utilizaron bolsas de polietileno con capacidad de 2 l, a las cuales se les agregó 1 l de sustrato. El diseño de tratamientos se muestra en el cuadro 1.

El sedimento grueso se obtuvo de los residuos del desarenador de una central hidroeléctrica de la región. Éste fue tamizado para eliminar las partículas mayores a 2.0 mm (gravas) con tamiz del mismo número y las menores de 0.06 mm para limos y arcillas (tamiz 44 micrones), para obtener la fracción de arena (Resh 2001); posteriormente, fue sumergido en cloro a 1% durante 24 h, para después lavarlo con agua con el objetivo de eliminar el exceso de sales carbonatadas en la arena (Resh 1989). Finalmente, se sometió a un secado a la sombra y a la intemperie.

**Cuadro 1. Sustratos (tratamientos) elaborados con residuos industriales, Teziutlán, Puebla, México.**

TRATAMIENTO	SUSTRATO	CANTIDAD (g)
T <sub>1</sub>	Arena	1000
T <sub>2</sub>	Arena + piedra pómez	500 + 500
T <sub>3</sub>	Arena + lodo	500 + 500
T <sub>4</sub>	Lodo	1000
T <sub>5</sub>	Arena + lodo + piedra pómez	333 + 333 + 333
T <sub>6</sub>	Piedra pómez	1000

La piedra pómez se obtuvo de los desechos de una textilera de la región, donde se emplea en el proceso de lavado de la mezclilla y con tamaño menor a 6 mm. El material se trituró con ayuda de un molino eléctrico y se tamizó para obtener un diámetro de entre 2 y 3.5 mm, dimensiones que retienen mayor cantidad de agua (Segura et al. 2008). El lodo fue proporcionado por la misma textilera; éste se genera a partir de todos los sedimentos de telas, pinturas, etcétera, que se utilizan en el proceso de lavado de mezclilla. Se colocaron pequeñas cantidades en capsulas de aluminio en horno de convección a 105 °C, durante

24 h para acelerar el proceso de secado. Muestras de 1.5 kg de cada material (arena, piedra pómez y lodo) fueron utilizadas en el análisis en laboratorio.

### VARIABLES EVALUADAS

**Porosidad total.** Mediante la metodología descrita por Ansorena (1994).

**Curva de retención de humedad.** Se determinó a las tensiones de 0, 10, 50 y 100 centímetros columna de agua mediante la metodología descrita por De Boodt et al. (1974).

**Variación de humedad.** A través del tiempo. Este proceso se realizó con base en la metodología utilizada por Segura et al. (2008) y consistió en obtener el peso de cada tratamiento con una báscula digital marca Ranger® para calcular el peso seco total (PST=sustrato+bolsa); posteriormente, se agregó a cada bolsa 1,000 ml de agua con una probeta hasta saturación y se dejó así por 48 h. Transcurridas las 48 h, las bolsas de todos los tratamientos se perforaron por la base para drenar el exceso de agua, hasta que la frecuencia de goteo fue de una gota cada 10 segundos (Preciado et al. 2002). En ese momento, se obtuvo el peso húmedo inicial de cada maceta (PHI), que al restarle el PST, indicó el peso contenido de humedad inicial (HI).

Una vez obtenida la HI, la evaluación consistió en el registro del peso de las macetas, que se realizó diariamente a las 12:00 del día para así determinar el momento de riego (se consideró la suma del contenido de humedad a PMP de cada material: piedra pómez, lodo y arena, más el PST), para conocer el tiempo que tardaron los tratamientos en llegar al momento de riego.

La frecuencia de aplicación de agua se calculó mediante la suma de la capacidad de campo (CC) de los diferentes tratamientos, más el PST, debido a que el agua retenida a una tensión menor a 33 kPa es considerada fácilmente disponible para las plantas. Para determinar el momento de riego (peso de maceta=CC+PST), se registraron los pesos correspondientes a las 12:00 h del día durante 23 días. La cantidad de agua aplicada en cada riego se definió mediante la diferencia en peso (g) entre el criterio de riego y el contenido de humedad inicial. Este proceso se realizó en tres ocasiones para observar si el comportamiento es similar a través del tiempo, una vez que el material se sometió a secado al aire y sombra.

### DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completamente al azar con seis tratamientos

y cuatro repeticiones; la unidad experimental fue una maceta. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación por el método de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) mediante el programa Statistical Analysis Software versión 9.1 (SAS Institute, 2004).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El menor porcentaje de porosidad total fue de 53.33% en el tratamiento 2 (arena + piedra pómez) y 3 (arena + lodo), y el mayor, de 61.11% en el tratamiento 6 (piedra pómez) (cuadro 2). Estos resultados coinciden con los reportados por Noguera et al. (2000) y García et al. (2001). De acuerdo con Pastor-Sáenz (1999), un adecuado porcentaje de porosidad de los sustratos es con valores superiores a 85%.

**Cuadro 2. Porosidad de sustratos elaborados con residuos industriales, Teziutlán, Puebla, México.**

TRATAMIENTO	SUSTRATO	POROSIDAD TOTAL (%)
T <sub>1</sub>	Arena	60.00
T <sub>2</sub>	Arena + piedra pómez	53.33
T <sub>3</sub>	Arena + lodo	53.33
T <sub>4</sub>	lodo	49.11
T <sub>5</sub>	Arena + lodo + piedra pómez	54.00
T <sub>6</sub>	Piedra pómez	61.11

### Curva de retención de humedad

En la figura 1, se observa que la arena obtuvo un comportamiento homogéneo entre el porcentaje de humedad del sustrato y las diferentes tensiones de humedad (centímetros columna de agua). La arena, a una tensión de 0 cm columna de agua, presentó 48% de humedad, mientras que la piedra pómez presentó 20% de humedad, resultados que corresponden a la mayor capacidad de retención de humedad de acuerdo con los valores reportados por De Bood et al. (1974).

El tratamiento 1 (arena), a una tensión de 0 centímetros de columna de agua, mostró mayor porcentaje de humedad (48%), mientras que el tratamiento 4 (lodo), a la misma tensión, presentó 38% de humedad. La arena superó a los lodos en porcentaje de humedad en volumen del sustrato a partir de 10 centímetros de columna de agua (figura 2). Estos valores coinciden con lo reportado por Bautista-Vargas et al. (2015).

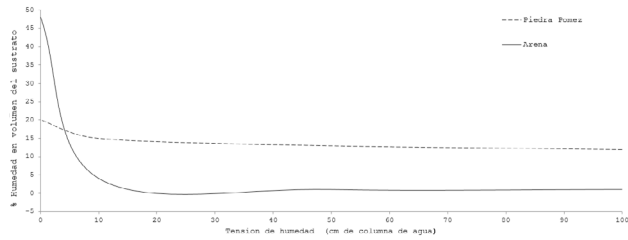


Figura 1. Curva de retención de humedad de la piedra pómez y arena.

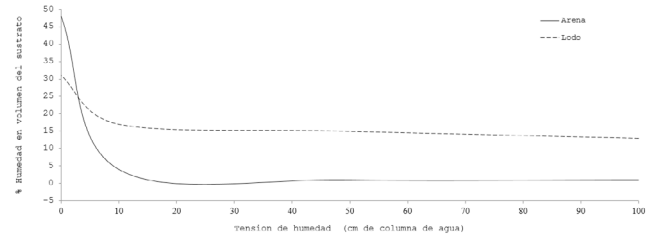


Figura 2. Curva de retención de humedad del lodo industrial.

Cuadro 3. Peso seco y húmedo de sustratos elaborados con residuos industriales y su comportamiento a través del tiempo.

T	PS (g)	PHI (g)	HI (g)	PESO DEL AGUA EN LAS MACETAS (g) A TRAVÉS DEL TIEMPO (DÍAS)						
				1	2	3	4	5	23	Promedio
T <sub>1</sub>	1000	1479	454	413	353	309	266	240	029	139 <sup>c</sup>
T <sub>2</sub>	1032	1632	600	542	458	410	368	343	093	231 <sup>bc</sup>
T <sub>3</sub>	1013	1715	702	627	550	497	448	412	107	265 <sup>b</sup>
T <sub>4</sub>	1009	1895	886	848	772	718	667	635	281	473 <sup>a</sup>
T <sub>5</sub>	1018	1633	615	557	485	437	392	366	170	278 <sup>b</sup>
T <sub>6</sub>	1035	1648	613	583	512	466	425	405	172	305 <sup>b</sup>

T: tratamientos, PS: peso seco, PHI: peso húmedo inicial, HI: contenido de humedad inicial, g: gramos. Valores medios con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### Variación de la humedad a través del tiempo

El mayor contenido de humedad inicial fue en el tratamiento 4 (lodo) con 886 g, y el menor, en el tratamiento 1 (arena) con 454 g (cuadro 3). Tras haber transcurrido 23 días del establecimiento, el menor contenido de humedad se observó en el tratamiento 1 (arena) con 29 g, y el mayor, en el tratamiento 4 (lodo) con 281 g. El valor menor de contenido de humedad promedio durante 23 días de evaluación se obtuvo en el tratamiento 1 (arena) con 139 g y el mayor en el tratamiento 4 (lodo) con 473 g; las diferencias fueron estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ). En este sentido, Segura et al. (2008), al evaluar la variación de humedad a través del tiempo (5 días) en arena, pómez natural y pómez industrial, encontraron valores promedio de 86.4 g y 166.8 g. Estas variaciones pueden deberse a los sustratos evaluados y al ambiente en el que se evaluaron.

### Porcentaje de pérdida de humedad por día

Los tratamientos 4 (lodo), 5 (arena + lodo + piedra pómez) y 6 (piedra pómez) no llegaron al punto crítico de riego (no se regaron); el tratamiento 1 (arena) se regó a los 9 días; el tratamiento 2 (arena + piedra pómez) se regó a los 16 días y el tratamiento 3 (arena + lodo) se regó a los 18 días (cuadro 4).

El menor porcentaje de pérdida de humedad por día se dio en el tratamiento 4 (lodo), con 3%, y el mayor en el tratamiento 1 (arena), con 4.1%. Esto puede deberse a una diferencia de potenciales matriciales (Miller y Gardner 1962), ya que cada tratamiento corresponde a un sistema compuesto por dos subsistemas, donde el subsistema arena tiene un potencial matricial mayor que el pómez y lodo. Lo anterior provoca que el agua retenida en la arena se evapore primero y que después lo haga la que se encuentra en pómez y lodo. También Segura et al. (2008) reportaron que el agua que se encuentra en los poros de partículas de arena, que son poros de

**Cuadro 4. Pérdida de humedad diariamente (%).**

TRATAMIENTOS	DÍAS PARA EL RIEGO	PÉRDIDA DE HUMEDAD POR DÍA (%)
T <sub>1</sub>	9	4.1
T <sub>2</sub>	16	3.7
T <sub>3</sub>	18	3.7
T <sub>4</sub>	*	3.0
T <sub>5</sub>	*	3.1
T <sub>6</sub>	*	3.1

\* no llegaron al punto crítico de riego

mayor diámetro con respecto a los que tiene la piedra pómez, se evapora en primer lugar y posteriormente la que se encuentra en los poros de pómez. Es por ello que la arena pierde agua fácilmente con respecto a los demás tratamientos, pero, en mezcla con los demás materiales, la pérdida se reduce notablemente.

## CONCLUSIONES

El contenido de humedad aumentó a medida que se incrementó la porosidad del sustrato. El mayor contenido de humedad fue de 41%, el cual se obtuvo con el sustrato de lodo industrial; además, tuvo menor pérdida de humedad diaria (3.1%) en comparación con 4.1% en arena. De acuerdo a los resultados obtenidos, los residuos industriales podrían ser una alternativa para emplearlos como sustratos; sin embargo, es necesario realizar estudios químicos que determinen si éstos contienen elementos tóxicos que pudieran afectar el crecimiento los cultivos producidos y la salud de los consumidores.

## LITERATURA CITADA

- Acosta-Durán CM, Acosta-Peñaloza D, Cazárez M, Martínez YM. 2004. Retención de humedad de materiales para la preparación de sustratos en la producción de plantas en contenedor. *Investigación Agropecuaria* 1(1): 18-22.
- Ansorena MJ. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Mundi Prensa. Madrid, España.
- Bautista-Vargas E, Benavides-Mendoza A, Rodríguez-Mendoza MN, González-Fuentes JA, Robledo-Torres V, Sandoval-Rangel A. 2015. Lodo industrial textil en la producción de hortensias (*Hydrangea macrophylla* L.) en maceta. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Especial* 12: 2359-2370.
- Burés-Pastor S. 2002. Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. *Horticultura Internacional. Número extra* 1: 70-79.
- Cabrera RI. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo serie Horticultura* 5(1): 5-11.
- Cruz-Crespo E, Can-Chulim A, Sandoval-Villa M, Bugarín-Montoya R, Robles-Bermúdez A, Juárez-López P. 2013. Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias* 2(2): 17-26.
- De Boodt M, Verdonk O, Cappaert I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- Calderón SF, Cevallos F. [internet]. 2002. Los sustratos. [cited 2016 Oct 28]. Disponible en: [http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los\\_Sustratos.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm).
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Grupo de Cultivos Hortícolas Dirección de Producción y Protección Vegetal. Roma, Italia.
- García O, Alcántar G, Cabrera RI, Gavi F, Volke V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19(3): 249-258.
- Humpert C. 2000. New trends in sustainable farming build compost use. *ByoCycle* 41(7): 30-33.
- Moinereau J, Hermann J.P, Favrot C, Riviere LM. 1987. The substrats inventaire, caractéristiques, ressources. In: Blanc D, editor. *Les Cultures Hors Sol*. París, Institut National de la Recherche Agronomique. P. 15-75.
- Miller DE, Gardner WH. 1962. Water infiltration into stratified soil. *Soil Science Society of America Journal* 26 (2): 115-119. <https://doi.org/10.2136/sssaj1962.03615995002600020007x>
- Narváez-Ortiz WA, Benavides-Mendoza A, Vázquez-Badillo ME, Cabrera-De la Fuente M. 2014. Efecto de la aplicación de lodos crudos de la industria textil en la productividad y en la composición química de lechuga (*Lactuca sativa*). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 30(4): 379-391.
- Noguera P, Abad M, Noguera V, Puchades R, Maquieira A. 2000. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta Horticulturae* 517: 279-288. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.517.34>
- Pastor-Sáenz JN. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17: 231-235.
- Preciado P, Baca G, Tirado JL, Kahashi-Shibata J, Tijerina L, Martínez GA. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra* 20: 267-276.
- Resh HM. 2001. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- [SAGARPA] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2009. Hidroponía rústica. Sistema de agronegocios de traspatio. Ciudad de México, México.
- [SAS Institute] Statistical Analysis Software. (2004). SAS/STAT user's guide ver. 9.1. Cary, NC, USA.
- Salazar-Moreno R, Rojano-Aguilar A, López-Cruz IL. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5(2): 177-183.
- Segura MA; Preciado P, González G, Frías JE, García G, Orozco JA, Enríquez M. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia* 33(12): 923-928.