

La descontaminación de las aguas del lago Izabal en Guatemala a través de la extracción de la planta *Hydrilla verticillata* (L.F) Royle y su uso como sustrato alternativo para la producción de plántulas de chile pimiento en invernadero

*Unpollution of water of the Izabal Lake in Guatemala throughout the *Hydrilla verticillata* Royle plant extraction and its use as alternative substrate for the production of chilli pepper plantulas in greenhouse*

Iván Dimitri Santos Castillo¹ y Lorenzo E. Camejo Barreiro²

RESUMEN. Se caracterizaron las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de sustratos elaborados a base de residuos de hydrilla verticillata y su efecto sobre la germinación y desarrollo durante la fase de plántula de semillas de chile pimiento (variedad tropical irazú mejorado). Al analizar los resultados obtenidos tales como agua fácilmente aprovechable, capacidad de aireación, PH, porcentaje de germinación, germinación acumulada (24 DDS), altura de la planta (cm), diámetro del tallo (cm), peso fresco de la parte aérea y sistema radical (g), materia seca de la parte aérea y radical (%), todo ello 50 días después de siembra (50 DDS), se obtiene que el mejor tratamiento bajo las condiciones y metodologías utilizadas es el N° 12 (H30-85-15), o sea, 85% de hydrilla con 30 días de compostaje + 15 % de perlita y se recomienda como sustituto alternativo del sustrato comercial (turba de sphagnum) para la producción de plántulas de chile pimiento en pilones y con ello dar uso productivo a esta planta contaminante de los lagos de Guatemala.

Palabras clave: descontaminación de lagos, *Hydrilla verticillata*, sustrato, turba, pilón, agua disponible, capacidad de aireación.

ABSTRACT. The main physical, chemical and biological properties of substrates elaborated with residuals of hydrilla verticillata and its effect on the germination and development during the first stage of chili pepper seeds (irazú tropical variety improved) were characterized. When analyzing the obtained results such as easily profitable water, air capacity, PH, germination percent, accumulated germination (24 DDS), height of the plant (cm), diameter of the stem (cm), fresh weigh of the air part and radical system (g), dry matter of the aerial part and radical (%), all this 50 days after sowing (50 DDS). So that the best treatment under the conditions and methodologies used is the N° 12 (H30-85-15), that is, 85 % hydrilla with 30 days of compost + 15 of little pearl and it is recommended as an alternative of the commercial substrate (sphagnum turf) for the production of chili pepper seeds (in its first stage) in pylons. Thus, it can be a proper use of this polluting plant of the Guatemala lakes.

Keywords: decontamination of lakes, *Hydrilla verticillata*, substrate, turf, pylon, available water, air capacity.

Recibido 25/10/09, aprobado 22/09/10, trabajo 53/10, investigación.

¹ MSc., Profesor titular, Investigador Principal, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala, E-✉: idimitrisc@yahoo.com

² Dr.C., Profesor titular. Universidad de Ciego de Ávila, Facultad de Ingeniería, C.E.H. Ciego de Ávila, Cuba.

INTRODUCCIÓN

La turba de *Sphagnum* o peat moss es uno de los sustratos más ampliamente utilizados para la producción de plántulas en el ámbito mundial, sus propiedades físicas, químicas y biológicas permiten una adecuada germinación y crecimiento de las plántulas, pero su elevado costo y explotación no sostenible ha comenzado a restringir su uso (Abad, 1993; Biofertilizer, 2004). Representando para Guatemala la importación en el primer trimestre del 2006 de 272 812 kg. Ello ha motivado la búsqueda de otros materiales locales y de alta disponibilidad, tanto orgánica como inorgánica o su mezcla como una alternativa para la reducción de costos. Dentro de estos materiales esta *Hydrilla verticillata*; planta acuática sumergida con gran adaptabilidad y crecimiento agresivo que favorece el proceso de eutrofización (Arrivillaga, 2002). En la actualidad esta planta se

encuentra infestando y contaminando las aguas de la cuenca del lago Izabal y otros lagos de Guatemala causando problemas en sectores económicos, sociales y ambientales.

El alto nivel de extracción y deposición de residuos de esta planta a orillas del lago, la hace hospedero favorito para la reproducción de moscas y zancudos (mosquitos), así como la emanación de malos olores, contaminado en gran medida el medio y afectando el turismo tanto nacional como internacional.



FIGURA 1. Extracción de *Hydrilla verticillata* del lago Izabal.

Es objetivo del trabajo el uso de los restos de *Hydrilla verticillata*, mediante un proceso de compostaje, en sustrato para la producción de plantas en pilón y como biofertilizante en la producción de invernaderos. En Guatemala este residuo orgánico no ha sido evaluado como sustrato sustituto de la turba, teniéndose referencia de otros materiales como cascarilla de arroz, fibra de coco y bagazo de caña.

Se evalúa en este experimento el efecto del uso de las mezclas de residuos de *Hydrilla verticillata* degradados y perlita en distintas proporciones como sustrato en la germinación y crecimiento de semillas de chile pimiento var. Tropical Irazú Mejorado, en bandejas de polietileno, bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en dos lugares: la degradación y caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos se llevó a cabo en el Centro Experi-

mental Docente de Agronomía, con altitud de 1216,2 m.s.n.m., temperatura media anual de 18,3 °C y humedad relativa de 79% (Cordón, 1991). Y en el Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La siembra de plántulas se realizó en los invernaderos de la empresa Pilón Plus dedicada a la producción comercial de pilones, ubicada en la aldea San Lorenzo en el municipio de San Miguel el Tejar departamento de Chimaltenango, con una altitud de 1700 m.s.n.m. y temperatura media de 16 °C, (Dominguez, 2000).

El experimento se ejecutó en tres etapas: **a)** colecta y tratamiento de los residuos de *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle, **b)** caracterización de las principales propiedades físicas, químicas y biológicas de las proporciones de perlita y residuos de *Hydrilla verticillata* sometida a diferentes tiempos de compostaje, **c)** efecto de los sustratos en la producción de plántulas en pilón en el cultivo de chile pimiento *Capsicum annum* L.

Se elaboraron dieciséis sustratos a base de residuos de *Hydrilla* y perlita y la turba comercial KLASMANN TS1 como sustrato testigo o control (Tabla 1).

La caracterización física se realizó para todas las mezclas en base seca y en relación al volumen utilizando probeta graduada expresándose los resultados en% de volumen, mientras que química y biológica se hizo únicamente para los sustratos sin mezcla con perlita. Según Bunt (1998), la perlita es un material inerte, que no se descompone biológica ni químicamente.

Para la disponibilidad de nutrientes se determinó N (Mi-

cro-Kjeldahl), P (Calorimetría) y K (Espectrofotometría de absorción atómica), Ca, Mg y los micro elementos Fe, Cu, Zn, Mn por Espectrofotometría de absorción atómica. Se estableció el pH, conductividad eléctrica, contenido de carbono orgánico y materia orgánica.

Para la caracterización biológica se obtuvo un extracto acuoso mezclando sustrato y agua destilada en proporción 1:10, se agitó durante 30 minutos y luego se centrifugó a 5000 rpm por 15 minutos, finalmente se filtró el sobrenadante (Emino y Warman, 2004).

TABLA 1. Composición volumétrica de las mezclas (sustratos) ensayadas para la producción de plántula en pilón de chile pimienta (*C. annum* L.)

Tratamiento	Nomenclatura	Mezcla (% en volumen)
1A	H0-100	Testigo absoluto <i>Hydrilla</i> sin compostaje 100%
2	H0-95-5	<i>Hydrilla</i> sin compostaje 95% - Perlita 5%
3	H0-90-10	<i>Hydrilla</i> sin compostaje 90% - Perlita 10%
4	H0-85-15	<i>Hydrilla</i> sin compostaje 85% - Perlita 15%
5	H15-100	<i>Hydrilla</i> con 15 días de compostaje 100%
6	H15-95-5	<i>Hydrilla</i> con 15 días de compostaje 95% - Perlita 5%
7	H15-90-10	<i>Hydrilla</i> con 15 días de compostaje 90% - Perlita 10%
8	H15-85-15	<i>Hydrilla</i> con 15 días de compostaje 85% - Perlita 15%
9	H30-100	<i>Hydrilla</i> con 30 días de descomposición 100%
10	H30-95-5	<i>Hydrilla</i> con 30 días de compostaje 95% - Perlita 5%
11	H30-90-10	<i>Hydrilla</i> con 30 días de compostaje 90% - Perlita 10%
12	H30-85-15	<i>Hydrilla</i> con 30 días de compostaje 85% - Perlita 15%
13	H45-100	<i>Hydrilla</i> con 45 días de descomposición 100%
14	H45-95-5	<i>Hydrilla</i> con 45 días de compostaje 95% - Perlita 5%
15	H45-90-10	<i>Hydrilla</i> con 45 días de compostaje 90% - Perlita 10%
16	H45-85-15	<i>Hydrilla</i> con 45 días de compostaje 85% - Perlita 15%
17C	TS-100	(Control) Turba de <i>Sphagnum</i>

En una placa Petri se colocó un disco de papel filtro, sobre éste se distribuyeron 20 semillas de chile pimienta variedad Tropical Irazú y se adicionaron 10 ml del extracto acuoso filtrado. Las placas permanecieron durante 96 horas en cámara de germinación oscura; finalmente se calculó el índice de germinación mediante las siguientes expresiones:

GR=N° de semillas germinadas en el extracto·100/N° de semillas germinadas en el testigo

ER=Elongación (mm) de radículas en el extracto·100/Elongación (mm) de radículas en el testigo

$$IG=GR \cdot ER/100$$

donde:

GR=porcentaje de germinación relativo;

ER=crecimiento de radícula relativo;

IG=índice de germinación (Tiquia, 2000).

En la etapa de invernadero se dispuso de bandejas de polietileno especiales para producción de plántulas con capacidad de 242 celdas y dimensiones de 0,06·0,66·0,33 m (alto, largo y ancho). De las 242 celdas de una bandeja se llenaron 100 celdas con cada sustrato elaborado, se sembró una semilla de

chile por celda, se regaron y se introdujeron en una cámara de pre germinación oscura por cuatro días a una temperatura de 25 °C después las semillas fueron cubiertas con una ligera capa del mismo sustrato, posteriormente trasladadas al invernadero. Se ubicaron 12 bandejas por cada estructura de soporte, las cuales están construidas con marcos de metal con distancia de separación entre cada uno equivalente a la longitud de las bandejas. Simultáneamente se sembró un tratamiento testigo o control, constituido por turba de Sphagnum. Se realizaron 2 riegos diarios (8:00 y 13:00 horas) durante todo el ensayo. A partir del día 12 de realizada la siembra y hasta el día 24 se cuantificó cada dos días el número de plántulas con las dos hojas cotiledonales totalmente desplegadas, lo cual se utilizó para calcular el porcentaje de germinación por la expresión:

$$PG=(PHCD) \cdot 100/NSS$$

dónde:

PG-porcentaje de germinación;

PHCD-plántulas con las dos hojas cotiledonales totalmente desplegadas;

NSS-número de semillas sembradas (Tiquia, 2000).

A los 50 días después de la siembra se determinó la altura de plántula, diámetro en la base del tallo, peso fresco de la parte aérea y sistema radical, contenido de materia seca de la parte aérea y sistema radical, para lo cual se utilizó una muestra de 30 plántulas por repetición. También se midió el grado de compactación y resistencia al golpe del pilón utilizando la siguiente escala: **buena**: si al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer no se desmorona y se mantiene el 100% del sistema sustrato raíz; **regular**: si al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer se mantiene un 75% del sistema sustrato raíz; **mala**: si al extraer el pilón de la bandeja y/o dejarlo caer se mantiene menos del 75% del sistema sustrato raíz.

El análisis de varianza se realizó utilizando un diseño completamente al azar, donde se analizaron todos los tratamientos independientemente con un 95% de confiabilidad y un 5% de significancia para las pruebas múltiple de medias Tukey. Todos los datos obtenidos en la etapa de invernadero con excepción del grado de compactación y resistencia se procesaron en el paquete computacional para análisis estadísticos SAS® (SAS Institute Inc. Raleigh, NC) versión 6.0 utilizándose el procedimiento LSMEANS para las pruebas de medias. Las variables índices de germinación, grado de compactación de pilón, y grado de resistencia de pilón no presentan variabilidad y fueron analizadas mediante gráficas. Las variables correspondientes a la caracterización física y química de los sustratos se analizaron comparativamente con los rangos medios recomendados por la literatura, los cuales son considerados los niveles estándar óptimos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores que recoge la Tabla 2, muestran que la mezcla volumétrica de *Hydrilla* sin compostaje y perlita, definida como T4 (H0-85-15) destaca por tener una alta capacidad de aireación. Esto puede atribuirse a que tiene mayor porcentaje de perlita en su composición, asociado también a que ésta por

si sola posee valores de aireación elevados (58%) debido a su origen silicatado y al proceso de expansión que sufre al evaporar el agua contenida, lo cual le proporciona alta aireación y una baja densidad aparente 0.1 gr/cm³ valor al que se acerca también el de T4 (H0-85-15).

Obviamente el tratamiento control presentó los valores más elevados en cuanto al espacio poroso total y agua fácilmente disponible lo cual demuestra que es un material físicamente más estable debido a que el agua fácilmente disponible (AFD) mantiene la humedad del sustrato por períodos más prolongados, viéndose afectado únicamente su valor de capacidad de aireación por no contener perlita. Los valores de capacidad de aireación (CDA) se encuentran dentro de los niveles óptimos, el valor del T8 (H15-85-15) es levemente más alto (31%), confirmando con ello que la capacidad de aireación en los materiales está muy relacionado con el porcentaje de perlita presente en la mezcla, así como un valor mayor de AFD (48.8%) para el tratamiento con menor contenido de perlita T5 (H15-100).

Según los valores de las propiedades AFD y CDA las cuales dependen del espacio poroso total (EPT) están muy relacionados, por lo que si la capacidad de aireación CDA aumenta el agua disponible AFD disminuye esto por efecto de la perlita en el sustrato.

Los valores de AFD en todos los tratamientos sometidos a compostaje superan los niveles óptimos ya sea con o sin presencia de perlita en la mezcla, mientras que los valores de CDA normalmente están dentro de los niveles óptimos, presentándose mejores cuando el contenido de perlita en la mezcla es mayor.

Esto lleva a percibir que si se requiere aireación, debe de usarse el mayor porcentaje de perlita sin importar el tiempo de compostaje, ahora bien si se quiere que el agua disponible sea mayor debe de usarse el menor o cero porcentaje de perlita en la mezcla. Esto puede definirse según la respuesta del cultivo. Por lo que las propiedades físicas son apenas uno de los factores que definen el éxito de un sustrato.

Todos los tratamientos se comportaron de manera similar en sus propiedades físicas, por lo que puede utilizarse cualquiera, esto no garantiza que se observen resultados iguales o parecidos cuando sean sometidos como medio de cultivo, debido a que un buen sustrato varía en cada caso de acuerdo con numerosos factores como la especie cultivada, condiciones climáticas, tamaño y forma de la bandeja, programas de riego y fertilización etc., asumiendo al sustrato y sus propiedades físicas como un elemento más del complejo agro ecosistema hortícola.

Para materiales que presentan densidad alta al sufrir descomposición como *Hydrilla* debe de priorizarse la capacidad de aireación (recurriendo a mezclas con otros materiales), esto conllevaría a realizar riegos con mayor frecuencia, pero garantizando un buen desarrollo radicular mejorándose muchas de las características del pilón.

Con relación al pH todos los tratamientos presentan valores superiores a 7,0. Esto es importante, ya que la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad en pH entre 5,0 y 6,5 (Cadahia, 2000). Este comportamiento puede deberse al origen calcáreo de los sedimentos acuáticos

donde crece *Hydrilla* y a la presencia en el material extraído de restos de fauna (caracoles y peces muertos) conformada en su estructura principalmente por calcio. Puede notarse que los valores de pH van aumentando conforme se da el proceso de descomposición donde los nutrientes pasan de forma orgánica a mineral. El pH del tratamiento control se encuentra en los rangos adecuados, sin embargo los pH alcalinos del resto de tratamientos no tienen efecto negativo sobre la germinación y desarrollo de las plantas, esto puede corresponder a la naturaleza orgánica de los sustratos presentando una mayor capacidad tampón (Tabla 3).

Los niveles de nutrientes menores se encuentran en los rangos óptimos principalmente Cu y Fe excepto el tratamiento control que sus concentraciones en todos los nutrientes están muy por encima de los niveles óptimos. Se distinguen los altos valores de manganeso con concentraciones de hasta 130 ppm, esto puede estar relacionado al origen del material debido a que proviene de aguas cuyos fondos son de origen calcáreo por lo mismo los niveles de calcio se encuentran para la mayoría de tratamientos en forma elevada (Tablas 4 y 5).

TABLA 2. Propiedades físicas de los sustratos evaluados en el ensayo de *C. annum* con proporciones mezcladas de perlita: Materia seca (Ms,%), Contenido de agua en base humedad (CAh,%), Humedad volumétrica (Hvol,%), Densidad aparente seca (Da, gr/cm³), Espacio poroso total (EPT,%vol), Agua fácilmente disponible (AFD,%vol), Capacidad de aireación (CDA,%vol), Mojabilidad (M, minutos)

Tratamiento	Ms %	CAh %	Hvol %	Da g/cm ³	EPT % vol.	AFD % vol.	CDA % vol.	M Minutos
T1	59,4	40,6	49,9	0,3	78	49,9	28,1	1,94
T2	62	38	37,9	0,2	80	37,9	42,1	1,78
T3	58,9	41,1	40,7	0,2	80	35,7	44,3	1,8
T4	49,3	50,7	30	0,2	77	30	47	1,56
T5	74,9	25,1	45,8	0,3	75	48,8	26,2	2,55
T6	65	35	47,5	0,3	74	47,4	26,6	2,48
T7	71	29	48,5	0,3	73	45,1	27,9	2,51
T8	77	23	45,3	0,3	77	45,3	31,7	2,32
T9	75,8	24,2	45,9	0,4	72	45,9	26,1	2,91
T10	80,3	19,7	37,1	0,3	72	37,1	34,9	2,87
T11	72,5	27,5	54,2	0,4	74	36,2	37,8	2,55
T12	71,1	28,9	64,8	0,3	70	31,8	38,2	2,58
T13	65,8	34,2	50,7	0,4	73	50,7	22,3	3,25
T14	76,4	23,6	55,6	0,4	72	45,6	26,4	3,2
T15	72,6	27,4	42,9	0,3	70	42,9	27,1	3,16
T16	61,4	38,6	37	0,3	72	37	35	3,05
T17Control	30,1	69,9	67,2	0,2	90	67,2	22,8	4,51
Niveles óptimos*	20-30	55-65	24-40	0,15-0,5	>85	20-30	20-30	<5

*Fuente: Cadahia, 2005).

TABLA 3. Valores de pH, y conductividad eléctrica (CE, dS/m) de los sustratos sometidos a compostaje y sin mezcla con perlita evaluados en el ensayo de (*C. annum* L.)

Tratamiento	pH	CE dS/m
T1	7,8	0,96
T5	9,1	1
T9	9,2	0,25
T13	9,2	0,15
T17C	5,9	0,3
Valores óptimos*	5,2-6,3	0,75-3,49

*Fuente: (Masaguer, 2006).

TABLA 4. Concentración de nutrientes disponibles expresada en ppm de los sustratos en el ensayo de (*C. annum* L.)

Tratamiento	P ppm	K ppm	Ca meq/100g	Mg meq/100g
T1	116	410	1410,4	455,62
T5	18,79	9100	7380	3721,54
T9	97	2250	9026,15	1036,39
T13	74	5400	9026,15	761,8
T17C	117,65	1440	14192,15	1909,98
Rango medio*	06-10	150-249	>200	>70

*Fuente: (Masaguer, 2006).

TABLA 5. Concentración de nutrientes menores disponibles expresada en ppm de los sustratos en el ensayo de (*C. annum* L.)

Tratamiento	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm
T1	0,5	1,5	3	17,5
T5	0,1	0,1	1	130
T9	0,1	0,1	1	52,5
T13	0,1	0,1	3	62
T17C	1,5	24	115,5	58,5
Niveles óptimos*	0,001-0,5	0,3-3,0	0,3-3,0	0,02-3,0

*Fuente: (Abad, 1993).

La relación carbono nitrógeno se encuentra adecuada para los tratamientos sin compostaje, reduciéndose considerablemente en los tratamientos sometidos a compostaje, lo cual es indicativo de la degradación y de una mayor estabilidad del material, debido a su origen el carbono está presente en formas no resistentes a la degradación.

Se destaca la relación C/N del sustrato control, influida igual que la materia orgánica, por la naturaleza del material presentando en ambas propiedades los valores más altos (Tabla 6).

TABLA 6. Porcentaje de materia orgánica (MO,%), nitrógeno total (N,%) y relación C/N de los sustratos en el ensayo de (*C. annum* L.)

Tratamiento	M.O. %	N %	C/N
T1	13,18	0,8	26:1
T5	22,41	0,9	14:1
T9	14,5	2,59	3,2:1
T13	19,11	1,48	7,5:1
T17C	63,92	0,73	68:1
Rango medio*	50-60	1-2	20-40

*Fuente: (Abad, 1993).

En la caracterización biológica los bioensayos según Emino y Warman (2004) valores de IG inferiores a 50% indican una alta fitotoxicidad del material; IG entre 50% y 80% indican fitotoxicidad moderada y valores superiores a 80% el material no presenta fitotoxicidad. Si se consideran los IG de *Capsicum annum* L. obtenidos en el extracto de saturación 1:10, los tratamientos con 0, 15, 30 y 45 días de compostaje no presentaron compuestos fitotóxicos (Tabla 7).

TABLA 7. Índice de germinación (IG%) para determinar efectos fitotóxicos en los residuos sometidos a diferentes tiempos de compostaje

Tratamiento	No. Semillas germinadas	Elongación de radículas (mm)	GR %	ER %	IG %
T1	20/20	8	100	80	80
T5	19/20	9	95,0	90	85,5
T9	19/20	10	95,0	100	95
T13	18/20	9	90,0	90	81
T17 C	20/20	10	100	100	100

La germinación se presentó en forma variable con respecto al control. En la primera evaluación 12 DDS la turba presentó el porcentaje de germinación, mas alto siendo diferente estadísticamente al obtenido en los demás tratamientos, lo cual podría atribuirse a sus características físico-químicas dentro de las que destacan su alta retención de humedad, porosidad total alta y reducida conductividad eléctrica. A medida que avanzó el experimento la diferencia entre el porcentaje de germinación obtenido en la turba y los demás sustratos utilizados, se redujo considerablemente de manera que 24 DDS la turba y todos los tratamientos no presentan diferencias esta-

dísticas. El retraso del inicio de la germinación parece estar relacionado a la mayor densidad aparente presentada en los sustratos con 15, 30, y 45 días de compostaje, debido a que la mayoría de los tratamientos que tienen un retraso en la germinación fueron sometidos a compostaje mientras que la CE y otras propiedades químicas no tuvieron un efecto significativo en este retraso. Propiedades físicas como baja capacidad de aireación pudieron estar asociadas a este retraso.

La turba presentó la germinación más uniforme lo cual se reflejó como un pico muy pronunciado a los 12 DDS (Tabla 8).

TABLA 8. Efecto de los sustratos de producción sobre el porcentaje de germinación acumulada en plántulas en pilón de (*C. annum* L.)

Sustrato	Días después de la siembra						
	12	14	16	18	20	22	24
T17	46 ^a	85 ^a	88 ^a	89 ^a	90 ^a	90 ^a	90 ^a
T2	40 ^{ab}	82 ^a	88 ^a	90 ^a	90 ^a	90 ^a	92 ^a
T7	17 ^{cd}	80 ^a	86 ^a	88 ^a	90 ^a	90 ^a	92 ^a
T12	13 ^{cd}	82 ^a	89 ^a	92 ^a	93 ^a	93 ^a	93 ^a
T8	13 ^{cd}	77 ^a	86 ^a	89 ^a	89 ^a	90 ^a	90 ^a
T3	23 ^{bc}	72 ^{ab}	83 ^a	86 ^{ab}	86 ^a	86 ^a	87 ^a
T4	14 ^{cd}	59 ^{ab}	80 ^a	84 ^{ab}	85 ^a	85 ^a	86 ^a
T5	12 ^{cd}	67 ^{ab}	77 ^a	81 ^{ab}	83 ^a	84 ^a	85 ^a
T1	15 ^{cd}	76 ^{ab}	83 ^a	85 ^{ab}	86 ^a	88 ^a	90 ^a
T10	4 ^d	60 ^{ab}	77 ^a	82 ^{ab}	85 ^a	87 ^a	87 ^a
T15	4 ^d	70 ^{ab}	81 ^a	85 ^{ab}	88 ^a	89 ^a	89 ^a
T6	1 ^d	68 ^{ab}	83 ^a	84 ^{ab}	86 ^a	89 ^a	89 ^a
T11	1 ^d	66 ^{ab}	81 ^a	84 ^{ab}	86 ^a	88 ^a	88 ^a
T16	1 ^d	68 ^{ab}	81 ^a	86 ^{ab}	88 ^a	88 ^a	89 ^a
T14	2 ^d	53 ^{ab}	73 ^{ab}	81 ^{ab}	85 ^a	86 ^a	87 ^a
T13	1 ^d	48 ^{bc}	73 ^{ab}	80 ^{ab}	86 ^a	87 ^a	87 ^a
T9	0 ^d	22 ^c	52 ^b	67 ^b	73 ^a	75 ^a	77 ^a

El tratamiento T9 (H30-100) fue el que menor porcentaje de germinación reportó, esto se vio marcado por una velocidad inicial de germinación muy lenta mantenida en el tiempo, ello puede apreciarse en la Figura 2 de las curvas de germinación, lo que puede atribuirse a la alta densidad del sustrato, a la baja capacidad de aireación o al alto contenido de humedad del sustrato. Esto se ve respaldado por los resultados similares que tuvo T13 (H45-100) el cual es un sustrato con densidad de 0.4 gr/cm³ y baja capacidad de aireación por no contener perlita.

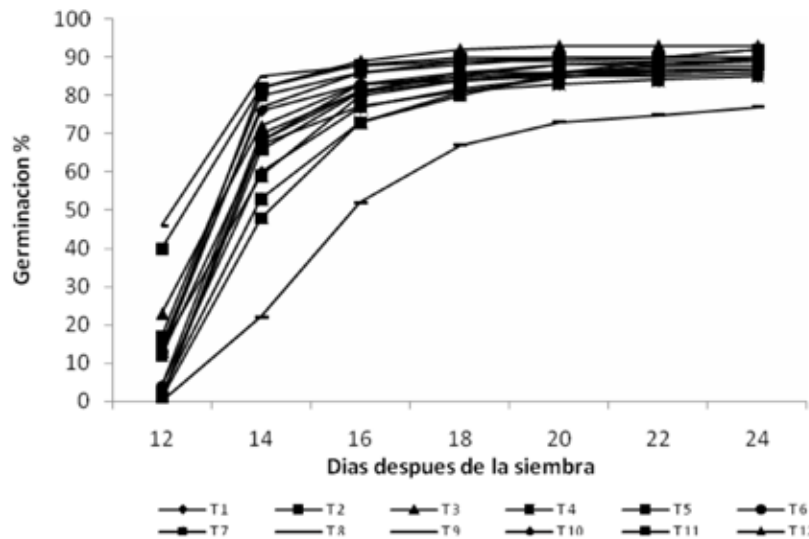


FIGURA 2. Efecto de los sustratos de producción sobre el porcentaje de germinación acumulada en plántulas de chile pimiento (*Capsicum annum* L.).

En el comportamiento de la longitud y el diámetro de tallo existen mejores tratamientos que el control, siendo superiores a éste los tratamientos T7 (H15-90-10), T8 (H15-85-15), T13 (H45-100), T14 (H45-95-5) seguidos por el T12 (H30-85-15), mientras que el control se encuentra entre los peores tratamientos precedido únicamente por los tratamientos sin compostaje, esto pudo deberse a que en el control la germinación fue más pronunciada y precoz iniciando el desarrollo vegetativo antes que el resto de tratamientos con compostaje. Esta anticipación provocó desuniformidad en el ensayo, debido a que la fertilización no podía realizarse únicamente para el control.

Para el diámetro los mejores tratamientos fueron T7 (H15-90-10), T8 (H15-85-15), T12 (H30-85-15), T13 (H45-100), T14 (H45-95-5), seguidos por T6 (H15-95-5), T10 (H30-95-5), y T16 (H45-85-15), siendo valores muy cercanos a los primeros (Tabla 9).

TABLA 9. Efecto de los sustratos sobre la altura (centímetros) y el diámetro de tallo en la base (centímetros) de las plántulas de *C. annum* L. 50 días después de la siembra (trasplante)

Tratamiento	Altura de plántula (cm)	Diámetro de tallo (cm)
T7	12,66 ^a	0,31 ^a
T13	13,03 ^a	0,31 ^a
T14	13,25 ^a	0,31 ^a
T8	13,00 ^a	0,30 ^{ab}
T5	10,66 ^{ab}	0,29 ^{ab}
T6	11,97 ^{ab}	0,30 ^{ab}
T9	10,54 ^{ab}	0,28 ^{ab}
T10	11,21 ^{ab}	0,30 ^{ab}
T11	11,77 ^{ab}	0,29 ^{ab}
T12	12,39 ^{ab}	0,30 ^{ab}
T15	11,29 ^{ab}	0,30 ^{ab}
T16	11,77 ^{ab}	0,30 ^{ab}
T17C	8,46 ^{bc}	0,26 ^b
T1	5,50 ^c	0,20 ^c
T2	5,66 ^c	0,20 ^c
T3	5,74 ^c	0,20 ^c
T4	6,06 ^c	0,20 ^c

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (P<0.05)

El comportamiento de los pesos frescos de la parte aérea y radical se manifiesta de manera similar a la altura y diámetro de tallo ubicando al tratamiento control como uno de los peores precedido únicamente por los tratamientos sin compostaje. El peso fresco del sistema radical presenta mejores resultados en los tratamientos con mayor tiempo de compostaje y con los mayores porcentajes de perlita, esto puede deberse a que están mayormente mineralizados y contienen mas aireación permitiendo un mejor desarrollo.

Estadísticamente y según la prueba múltiple de medias todos los tratamientos son iguales no existiendo diferencia significativa para el contenido de materia seca radical. Esto puede estar relacionado a que plántulas con menor desarrollo foliar concentraron el tiempo del ensayo en lignificarse, mientras que las plantas con mayor desarrollo foliar compensaron el contenido de materia seca con mas biomasa. Esto puede observarse con los tratamientos T2 (H0-95-5), T3 (H0-90-10) y T17 (TS-100) que fueron más precoces en su germinación y por lo tanto estuvieron mayor tiempo en el ensayo.

Para el contenido de materia seca foliar si existe diferencia entre tratamientos presentando los valores más altos T17 (TS-100), T1 (H0-100), T2 (H0-95-5), y T3 (H0-90-10).

La relación tallo raíz confirma que los tratamientos con mayor contenido de materia seca son aquellos que iniciaron una germinación inicial rápida permitiendo la maduración del tejido vegetal.

El grado de compactación se presentó de forma más uniforme para todos los tratamientos, se puede distinguir que los

tratamientos correspondientes a los sustratos sin compostaje presentan el menor grado de compactación debido al poco sistema radical desarrollado (Figura 3).

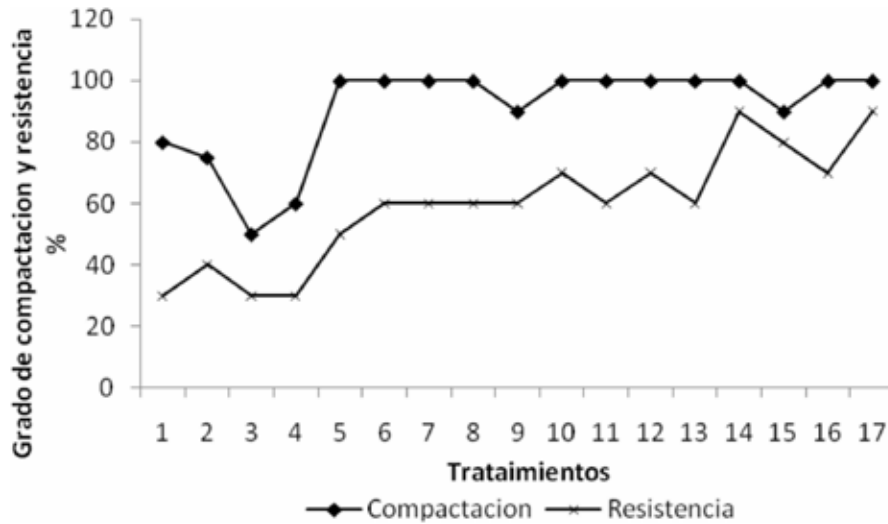


FIGURA 3. Efecto del sistema sustrato-raíz en el grado de compactación y resistencia al golpe en pilones de plántulas de (*Capsicum annum* L.).

Los valores de resistencia al golpe son más variables, siendo los mismos tratamientos sin compostaje los que menos resisten, desintegrándose casi en su totalidad el sistema sustrato-raíz.

Los sustratos con mayor descomposición presentaron el grado de resistencia más alto esto debido a que se desarrolló un sistema radical más fuerte el cual se distribuyó por todo el sustrato estableciendo una especie de red para mantener el sustrato fijo (Tablas 10 y 11).

TABLA 10. Efecto de los sustratos sobre el peso fresco de la parte aérea completa (g) y de la raíz (g) en plántulas de *C. annum* L. 50 días después de la siembra (trasplante)

Tratamiento	Parte aérea Peso fresco (g)	Sistema Radicular Peso fresco (g)
T14	41,11 ^a	13,23 ^{ab}
T6	36,38 ^a	12,22 ^{ab}
T12	35,91 ^a	12,75 ^{ab}
T15	34,49 ^a	14,64 ^a
T5	33,54 ^a	8,95 ^{abc}
T7	33,55 ^a	10,87 ^{abc}
T8	34,49 ^a	10,87 ^{abc}
T9	32,60 ^a	8,03 ^{abc}
T11	33,07 ^a	11,81 ^{abc}
T13	37,33 ^a	10,39 ^{abc}
T10	30,24 ^{ab}	12,28 ^{abc}
T16	27,88 ^{ab}	12,28 ^{abc}
T17	17,96 ^{bc}	10,87 ^{abc}
T2	8,50 ^c	7,56 ^{abc}
T4	11,81 ^c	9,45 ^{abc}
T1	9,92 ^c	6,62 ^{bc}
T3	8,97 ^c	5,20 ^c

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (P<0.05)

TABLA 11. Efecto de los sustratos sobre el contenido de materia seca de la parte aérea completa (%), de la raíz (%) y la relación tallo/raíz (%) de las plántulas de *C. annum* L. 50 días después de la siembra (trasplante)

Tratamiento	Contenido Materia seca(aérea) (%)	Contenido Materia seca(raíz) (%)	Relación Tallo/Raíz (%)
T17	19,06 ^a	11,06 ^a	1,72 ^{ab}
T3	18,32 ^{ab}	14,80 ^a	1,24 ^{abc}
T2	17,62 ^{abc}	9,05 ^a	1,95 ^a
T6	15,12 ^{abc}	14,39 ^a	1,05 ^{abc}
T7	15,85 ^{abc}	14,56 ^a	1,09 ^{abc}
T10	17,23 ^{abc}	14,02 ^a	1,23 ^{abc}
T11	15,19 ^{abc}	14,89 ^a	1,02 ^{abc}
T12	15,22 ^{abc}	14,51 ^a	1,05 ^{abc}
T1	16,49 ^{abc}	10,28 ^a	1,60 ^{abc}
T15	15,26 ^{abc}	10,45 ^a	1,46 ^{abc}
T16	17,07 ^{abc}	12,24 ^a	1,39 ^{abc}
T8	16,31 ^{abc}	15,92 ^a	1,02 ^{bc}
T4	14,47 ^{bc}	11,35 ^a	1,27 ^{abc}
T9	14,51 ^{bc}	15,61 ^a	0,93 ^{bc}
T13	14,94 ^{bc}	15,42 ^a	0,97 ^{bc}
T5	14,82 ^{bc}	14,27 ^a	1,04 ^c
T14	14,19 ^c	12,22 ^a	1,16 ^{abc}

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (P<0,05)

CONCLUSIONES

- Se puede utilizar *Hydrilla verticillata* como sustrato para producir pilones en sustitución de la turba de *sphangum*, descontaminando los lagos de Guatemala de esta planta,
- El mejor sustrato para sustituir a la turba fue la mezcla de *Hydrilla verticillata* degradada en 30 días y perlita en proporción, 85% *Hydrilla* y 15% perlita, T12 (H30-85-15)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, M.: *Sustratos, Características y Propiedades*. In: Cultivo sin suelo. F. y J. Díaz (Ed.) Instituto de Estudios Almerienses, Almería, España, 1993.
- ARRIVILLAGA, A.: *Evaluación de la presencia de Hydrilla verticillata en la región de Río Dulce y Lago de Izabal: Diagnostico general e identificación de medidas de control*, 74pp., Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP; Oficina Técnica de Biodiversidad OTE-CBIO, Fondo Nacional para la Conservación de la Naturaleza FONACON, Izabal, Guatemala, 2002.
- BIOFERTILIZER. SF: *Turba de sphagnum. Peat most. Costa Rica, [en línea] 2004 Disponible en: www.biofertilizer.com/turba_quees. [Consulta: 10 de dic.2004].*
- BUNT, A.C.: *Media and Mixes for Container-Grown Plants*, 2da. Ed. Unwin Hyman, USA, 1998
- CADAHIA, C.: *Fertirrigacion; cultivos hortícolas y ornamentales*, pp. 301-344, 2da. Ed. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, 2000.
- CORDÓN, S. E.N.: *Levantamiento detallado de suelos del Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala.*, 137pp., **Tesis (en opción al título Ingeniero Agrónomo)** U.S.A.C., Guatemala, 1991.
- DOMÍNGUEZ BARCO, S. J.: *Diagnóstico del nivel empleado en la producción de Brocoli (Brassica oleracea var. Itálica) en la finca Labor Elisa, San Miguel del Tejar, Chimaltenango. Guatemala*, 38pp., **Tesis (en opción al título Ingeniero Agrónomo)** U.S.A.C., Guatemala, 2000.
- EMINO, E. y P. WARMAN: "Biological Assay for Compost Quality", *Compost Scdence & Utilization*, 12(4): 342-348, 2004.
- MASAGUER, A.: *Producción de planta ornamental en contenedor con sustratos alternativos a la turba*, 169pp., Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Madrid, España, 2006.
- TIQUIA, S.M.: *Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig on litter system*, pp. 625-647, En: P.R. Warman y B.R. Taylor, Ed., Proceedings of the International Composting Symposium, CBA, Press Inc. Truro, New Scotland, Canada, 2000.