

EFECTO DE RESIDUOS AGROFORESTALES PARCIALMENTE BIODEGRADADOS POR *Pleurotus Ostreatus* (PLEUROTACEAE) SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE

Effect of Agroforestry Residues Partially Biodegraded by *Pleurotus Ostreatus* (Pleurotaceae) on Tomato Seedlings Development

JORGE ALBERTO LUNA FONTALVO¹, M.Sc.; LAURA SOFÍA CÓRDOBA LÓPEZ², B.Sc.; KARINA ISABEL GIL PERTUZ², B.Sc.; ISAAC MANUEL ROMERO BORJA¹, B.Sc.

¹ Programa de Biología, Laboratorio de Microbiología. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena, Colombia. Carrera 32 # 22 - 08, San Pedro Alejandrino. PBX (57) (5) 430 12 92, ext. 242 - 163.

² Programa de Microbiología Agroindustrial, Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Cesar, Colombia. Balneario Hurtado vía a Patillal. PBX (57) (5) 585 04 65, ext. 1074

Autor de correspondencia: Jorge Alberto Luna, jorgealbertolunafontalvo@yahoo.es.

Presentado el 6 de diciembre de 2012, aceptado el 29 de mayo de 2013, fecha de reenvío el 26 de junio de 2013.

RESUMEN

Se evaluó el desarrollo de plántulas de tomate (planta bioindicadora de toxicidad) en suelos con aserrín y cascarilla de arroz parcialmente biodegradados por *Pleurotus Ostreatus* bajo condiciones de invernadero. Se determinaron los componentes orgánicos (carbono, celulosa, lignina, extraíbles y materia orgánica) e inorgánicos (nitrógeno, fósforo y pH) antes y después de inocular el hongo en el aserrín y la cascarilla de arroz. Se realizaron mezclas de cada sustrato con un suelo pobre en nutrientes en proporciones iguales (1:1) y se les determinó el porcentaje de humedad. El experimento estuvo constituido por un diseño completamente aleatorio, con dos grupos de seis tratamientos para cada sustrato, a los 30 días se determinaron los parámetros de crecimiento y desarrollo de las plántulas. Los sustratos biodegradados reportaron bajo contenido de C, N y P. El tratamiento aserrín biodegradado + suelo fertilizado (ASB + SF), presentó los mejores resultados en número de hojas (12,9), altura de las plantas (25,94 cm), longitud radical (5,92 cm), peso seco (0,138 g) y peso fresco (1,012 g). El sustrato ASB + SF puede funcionar como sustrato favorable para el cultivo de plántulas de tomate debido a que aporta los nutrientes necesarios para el buen crecimiento de las plántulas. En la cascarilla de arroz las plantas no crecieron adecuadamente para conseguir ser trasplantadas.

Palabras clave: aserrín, cascarilla de arroz, *Lycopersicum esculentum*, nutrientes.

ABSTRACT

It was evaluated the development of tomato seedlings (plant bioindicator of toxicity) in soils with sawdust and rice husk partially biodegraded by *Pleurotus Ostreatus* in greenhouse conditions. Both organic compounds (carbon, cellulose, lignin, extractives, and organic matter), and inorganic compounds (nitrogen, phosphorus and pH) were determined, before and after fungus inoculation on sawdust and rice husk. Mixtures were held of each substrate with a nutrient poor soil in equal proportions (1:1) and the moisture content was determined. The experiment consisted of a completely randomized, with two groups of six treatments for each substrate, and 30 days later, parameters of growth and development were identified. Biodegraded substrates presented low C, N and P. BSA + SF treatment (biodegraded sawdust + fertilized soil) presented the best results in the number of leaves (12.9), plant height (25.94 cm), root length (5.92 cm), dry weight (0.138 g), and fresh weight (1.012 g). BSA + SF substrate can work as favorable substrate for growing tomato seedlings, BSA + SF substrate can work as favorable substrate for growing of tomato seedlings, since it provides the nutrients necessary for a good growth. Plants in rice bran did not grow adequately for transplanting.

Keywords: *Lycopersicum esculentum*, nutrients, sawdust, rice husks.

INTRODUCCIÓN

En el sector agroforestal se generan subproductos como la cascarilla de arroz y el aserrín que no tienen valor comercial alguno y no tienen una correcta disposición final. Generalmente las plantas productoras optan por quemar los residuos, arrojarlos a los basureros, quebradas y ríos, sin tener en cuenta la lenta degradación de estos materiales, lo que contribuye a la contaminación del entorno (Sarmiento, 2011).

El desarrollo de nuevas tecnologías que buscan el aprovechamiento de estos recursos en compostaje para generar biofertilizantes y acondicionadores de suelos, producción de gas, humus y biocombustibles, entre otros, promueven el uso racional de estos recursos y reducen el impacto negativo sobre el ambiente. Una de las técnicas más usadas en Colombia para el aprovechamiento de los desechos, es el compostaje, en el cual se descomponen los residuos mediante la acción microbiana, estos se incorporan a la estructura del suelo, de los microorganismos y de las plantas causando beneficios ambientales, sociales, económicos y de salubridad al entorno (Jaramillo y Zapata, 2008; Manjarrés *et al.*, 2010). Los residuos como la cascarilla de arroz y el aserrín constituyen materiales lignocelulósicos, cuya descomposición en la naturaleza es causada por la actividad metabólica de bacterias como *Actinomyces*, *Angiococcus*, *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Corynebacterium*, *Streptomyces* y de algunos hongos como *Ganoderma*, *Trametes*, *Fomes*, *Polyporus*, *Pleurotus*, entre otros. Este último es uno de los hongos más estudiados y cultivados, debido a que crece fácilmente sobre residuos de material leñoso o rico en fibras como troncos, ramas y bagazos (Delfin y Duran, 2003; Sánchez, 2009).

Estudios químicos sobre aserrín de pino y paja de trigo generados por biodegradación en el cultivo de *Pleurotus Ostreatus* y *Pleurotus eryngii* muestran que estos poseen un porcentaje alto de nutrientes primarios (N, P y K) útiles para ser aprovechados como fertilizantes (Mella, 2006; Moreno, 2008; Medina *et al.*, 2009). Se conoce que el 47 % de los sustratos biodegradados por los hongos (aserrín, troncos, tallos de gramíneas) son aprovechados para el cultivo de plantas en condiciones de invernadero, el 16 % es utilizado en procesos de biorremediación, 12 % en alimentación de tipo animal, 10 % para el control de plagas, 7 % en usos diversos, 5 % estudios de impacto ambiental y 3 % estudios de sus propiedades (Lee-Rinker, 2004).

Dentro de las plantas hortícolas utilizadas como indicadores de toxicidad para aplicaciones de compost se encuentra *Lycopersicon esculentum* (tomate) (Fletcher, 1991). Medina *et al.* (2009), evaluaron el sustrato biodegradado por *Agaricus bisporus* (Lange) Pilát y *Pleurotus Ostreatus* (Jacq.) Kumm., utilizándolo para el cultivo de tres especies vegetales sensibles a variaciones de salinidad, las plantas con menor sensibilidad fueron las de tomate (*Lycopersicon esculentum* var. Muchamiel), moderadamente sensible el calabacín (*Cucurbita pepo* L. var. Afrodite F1) y la más sensible la pimienta (*Capsicum annum* L. var. Lamuyo F1); encontrando que la incorporación de SMS (*Spend Mushroom Sustrate*) en los sustratos produce aumento

en el valor del pH, contenido de sal, concentración de macro y micronutrientes, y una disminución en la capacidad de retención de agua; así mismo, la respuesta de las plántulas ante estos sustratos resultó favorable para el tomate, mientras que en el calabacín y la pimienta solo se mantuvieron en aquellos sustratos con bajas cantidades de SMS.

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar el cultivo de plántulas de tomate a partir de aserrín y cascarilla de arroz tratados con *P. ostreatus* en condiciones de invernadero y comprobar si el aserrín y la cascarilla de arroz, luego de ser biodegradados con la cepa micelial de *P. ostreatus* pueden ser utilizados como biofertilizantes para el cultivo de hortalizas en un suelo bajo en nutrientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Masificación y producción del inóculo de *P. ostreatus*

Para la masificación del hongo, se utilizó una cepa de *P. ostreatus* obtenida de Hongos de Colombia (FUNGICOL), de la cual se realizaron repiques en dos medios de cultivos diferentes, agar malta (Merck) y agar sabouraud (Merck), adicionados con 150 µg de gentamicina por litro de medio de cultivo. Se incubaron durante 15 días a 22 ± 2 °C de temperatura. La producción del inóculo se hizo con arroz trillado humedecido al 80 % (1.000 g de arroz/1.000 mL de agua destilada). Posteriormente, se depositaron 200 g de este sustrato en frascos de 500 mL y se esterilizaron en autoclave a vapor (121 °C/15 Lb/15 min). Luego se procedió a la siembra del hongo (semilla del hongo), para esto se ubicaron tres discos de agar con micelio (de 10 mm de diámetro) en la parte media y de forma equidistante de los frascos. Se incubaron a una temperatura de 25 ± 2 °C por 20 días.

Acondicionamiento de los sustratos

La cascarilla de arroz se obtuvo de la arrocera Moliar (Valledupar, Cesar) presentando un tamaño aproximado de 2 mm. Luego se procedió a impregnarla de agua hasta lograr un 80 % de humedad como se describió en el método anterior. Se depositaron porciones de 1000 g de cascarilla de arroz en bolsas plásticas de polipropileno, selladas con tapón de algodón y gasa. Se esterilizaron en autoclave a vapor (121 °C/15 Lb/15 min).

El aserrín se obtuvo del aserradero “La Nevada” (Valledupar, Cesar). Las muestras fueron tamizadas para dejar un tamaño de partícula aproximado de 1,52 mm. Posteriormente se humedecieron y depositaron en bolsas plásticas hasta llevarlas a esterilización bajo las mismas condiciones que la cascarilla de arroz.

La cascarilla de arroz y el aserrín se consideraron sustratos independientes para el cultivo del hongo. Adicionalmente, se ensayó una mezcla (50 % cascarilla de arroz y 50 % aserrín), tratados de igual manera como se describió para cada sustrato. En la figura 1 se describe de manera generalizada las etapas de la metodología desarrollada en todo el ensayo.

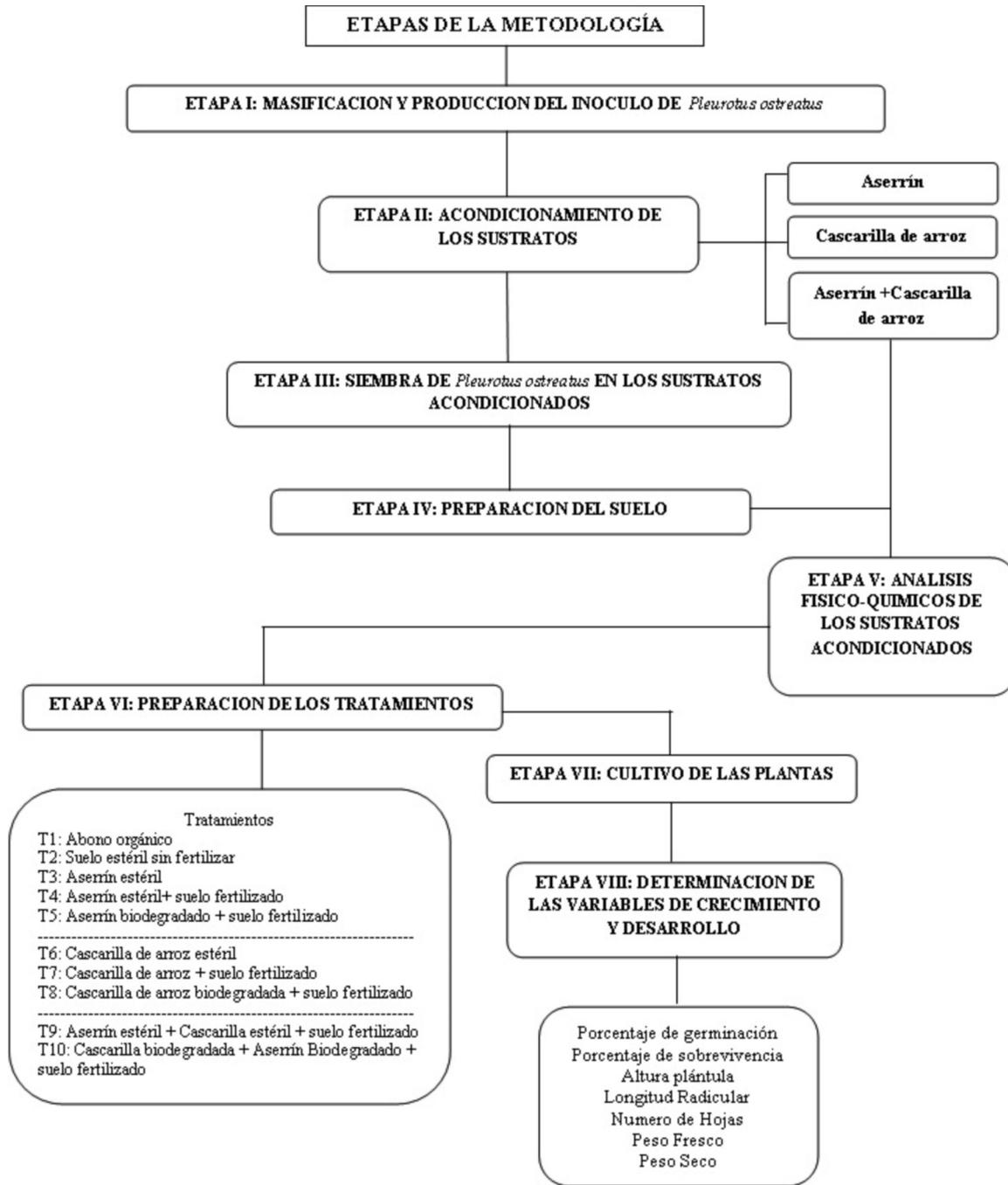


Figura 1. Etapas del diseño metodológico realizado en los ensayos de los sustratos inoculados y sin inocular con *P. ostreatus* y establecimiento del cultivo de plántulas de tomate. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 2012.

Siembra de *P. ostreatus* en los sustratos acondicionados

Se depositaron 50 g del hongo en las bolsas que contenían los sustratos a base de cascarilla de arroz y aserrín, distribuyéndolas de manera homogénea en la superficie de cada uno de estas. Las bolsas fueron incubadas a 22 ± 2 °C por 20 días, hasta observar la colonización del sustrato por un micelio blanco.

Análisis fisicoquímicos de los sustratos acondicionados

Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad del Magdalena, Colombia. Antes de preparar las mezclas para los diferentes ensayos, a los sustratos (cascarilla de arroz y aserrín inoculados con *P. ostreatus* y sin inocular), se les realizaron los parámetros fisicoquímicos (Tabla 1), contemplados en la norma de la *Technical Association of Pulp and Paper Industry* (2005).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados en los sustratos inoculados y sin inocular con *P. ostreatus*. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 2012.

Parámetros	Método
Nitrógeno (% N)	Kjeldahl
Fosforo (% P)	Olsen
Carbono orgánico (% C)	Oxidación con dicromato de potasio
pH	Potenciométrico
Celulosa (%)	Gravimétrico
Lignina (%)	Colorimétrico
Materia orgánica (%)	Walkley Black
Extraíbles (%)	Tolueno - etanol
Humedad (%)	Gravimétrico

Establecimiento del experimento

Preparación del suelo. El ensayo se realizó en la granja experimental de la Universidad del Magdalena. Los suelos de la granja se caracterizan por ser de origen aluvial, poco evolucionados, con predominio de texturas gruesas, clasificados en el orden Entisoles y suborden Psamments (Lobato, 2003). El 70 % del suelo presenta predominio franco arcillo arenosa, que evidencia texturas gruesas a medias y conllevan a bajas concentraciones de nutrientes con una humedad entre el 3 y 60 % dependiendo de la época climática (Vásquez *et al.*, 2010). En términos del experimento estas características indican que para las épocas secas establecidas para la región Caribe colombiana, requiere de adecuaciones y sistemas de riego que permitan el buen desarrollo de los cultivos.

El suelo recolectado fue tamizado hasta lograr un tamaño de partícula de 3 mm (usando un tamiz de 3.36 mm de diámetro), indicando que la composición granulométrica del suelo tamizado no presenta variación con respecto al suelo parental, debido a que menos del 2 % corresponden a partículas de suelo mayores de 3 mm. Posteriormente el suelo tamizado se utilizó para las diferentes mezclas con los sustratos. Porciones de 1000 g se depositaron en bolsas plásticas de polipropileno, se esterilizaron en autoclave a vapor (121 °C

/15 Lb/15 min). Previo a la preparación de las mezclas, se realizaron análisis del contenido de P y N total del suelo a través de métodos analíticos descritos en la Tabla 1, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos (2,29 ppm y 0,27 % respectivamente), se procedió a fertilizar con urea (10 g de urea/1000 g de suelo estéril) para brindar condiciones nutritivas favorables a las plantas.

Preparación de los sustratos y siembra de las semillas. Transcurrido el tiempo de incubación (20 días) de *P. ostreatus*, se procedió a extraer los sustratos biodegradados de las bolsas. A partir de estos, se prepararon las diferentes mezclas tomando igual cantidad de suelo estéril y material biodegrado (proporción 1:1). Después se colocaron de forma independiente en contenedores plásticos de 500 g de capacidad. El diseño experimental del ensayo para el cultivo de las plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum*), fue completamente aleatorio, para tal efecto, se tuvieron dos controles, el primero fue un abono orgánico comercial marca Aborganic conformado por una mezcla de fertilizantes N, P, K, gallinaza y humus de lombriz, el segundo fue un suelo de la granja experimental sin fertilizar (control positivo y control absoluto respectivamente) y dos grupos de tratamientos (Tabla 2), el primero integró las mezclas de aserrín y el segundo grupo las

Tabla 2. Tratamientos con aserrín y cascarilla de arroz evaluados para el cultivo de plántulas de tomate. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 2012.

Sustratos	Siglas	Tratamientos
Controles	T1(AOC)	*Abono orgánico (Control positivo)
	T2 (SC)	Suelo no fertilizado (Control absoluto)
Grupo 1 Aserrín (AS)	T3 (ASC)	Aserrín (Control)
	T4 (AS + SF)	Aserrín +suelo fertilizado con urea
	T5 (ASB + SF)	Aserrín biodegradado + suelo fertilizado con urea
Grupo 2 Cascarilla de arroz (CA)	T6 (CAC)	Cascarilla de arroz (Control)
	T7 (CA + SF)	Cascarilla de arroz + suelo fertilizado con urea
	T8 (CB + SF)	Cascarilla biodegradada + suelo fertilizado con urea
AS + CA	T9 (CB + AS + SF)	Aserrín + Cascarilla de arroz + suelo fertilizado con urea
	T10 (CB + ASB +SF)	Cascarilla biodegradada + aserrín biodegradado + suelo fertilizado con urea

mezclas conformadas por cascarilla de arroz. Ambos grupos, estuvieron conformados por cinco tratamientos con tres replicas cada uno. En cada tratamiento se sembraron 50 semillas de tomate en surcos de 1,5 cm de profundidad, cubriéndose con una delgada capa del mismo sustrato utilizado. Los cultivos permanecieron bajo condiciones de invernadero en la granja experimental de la Universidad del Magdalena durante 30 días, hidratándolos diariamente con agua destilada para mantener una humedad adecuada y temperatura ambiente de 29 °C.

Variables de crecimiento y desarrollo evaluadas

Transcurrido un mes de realizadas las siembras se compararon los diferentes ensayos. Se seleccionaron 30 plántulas al azar por tratamiento y se evaluaron los parámetros de crecimiento y desarrollo de las plantas (porcentaje de sobrevivencia, altura, longitud de raíz y número de hojas).

Porcentaje de germinación (% PG). Se evaluó a los siete días de realizada la siembra, transcurrido este tiempo se procedió a contar el número de semillas germinadas y se calculó el porcentaje de germinación teniendo en cuenta la siguiente expresión matemática:

$\% PG = [\text{número de semillas germinadas} / \text{número de semillas sembradas (50)}] \times 100$

Porcentaje de sobrevivencia (% PS). Se calculó a los 30 días de realizada la siembra, a través de la siguiente expresión matemática

$\% PS = [\text{número de plántulas desarrolladas} / \text{número de semillas sembradas (50)}] \times 100$

La determinación de las variables altura, longitud radicular, número de hojas, peso fresco y peso seco se realizaron a los 30 días de realizada la siembra.

Altura de las plántulas. Medida tomada desde el cuello hasta la base del ápice de la plántula. Fue determinada con un nonio expresando sus resultados en centímetros y fracciones de milímetros (1/10).

Longitud radicular. Medida tomada desde el cuello de la plántula hasta la punta de la raíz principal. Fue determinada con un nonio (1/10) expresando sus resultados en centímetros y fracciones de milímetros.

Número de hojas. Se contaron el número de hojas por plántulas en forma manual independiente de su estado (verdes o secas).

Peso fresco y seco de las plántulas (g). El peso fresco se determinó colocando la plántula en una balanza analítica (Ohaus modelo E12140), expresando sus valores en gramos. La determinación del peso seco de las plántulas se procedió a dejarlas en una estufa a 65 °C por 72 horas, posteriormente se mantuvieron en un desecador hasta registrar peso constante.

Análisis estadístico

Los resultados de los componentes químicos orgánicos e inorgánicos de los sustratos ensayados y las variables altura de plántulas, largo radicular, peso fresco y peso seco, obteni-

dos de 30 plántulas por cada grupo de tratamientos, fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) factorial. Para detectar si existieron diferencias significativas específicas entre los tratamientos se empleó el test de Tukey considerando un nivel de significancia del 5 %.

Para las variables no paramétricas (porcentaje de humedad de los tratamientos, porcentaje de germinación, porcentaje de sobrevivencia de las plántulas y el número de hojas), se aplicó una transformación de datos, empleando la raíz cuadrada de n (cumplimiento de supuestos de normalidad de datos y homogeneidad de varianzas), posteriormente se realizó un análisis de varianza simple y la comparación múltiple de medias mediante el test de Tukey.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con los paquetes estadísticos IBM SPSS Statistics 21.0.0 v. 20.0 y Statgraphics Plus v. 5.1.

RESULTADOS

Análisis fisicoquímicos de los sustratos inoculados con *P. ostreatus*

El análisis químico realizado a cada uno de los sustratos mostró una variabilidad en cada uno de los componentes inorgánicos y orgánicos (Tablas 3 y 4). Tanto en el aserrín como en la cascarilla de arroz tratado con *P. ostreatus* el contenido de N y P total, aumentaron significativamente ($p < 0,05$). Sin embargo, se pudo detectar que el pH de los sustratos biodegradados no variaron puntualmente con respecto a los sustratos controles.

Con respecto a los componentes orgánicos, se determinó que el aserrín biodegradado por el hongo presentó un aumento en el contenido de carbono soluble, porcentaje de extraíbles, materia orgánica y porcentaje de lignina, mientras que el porcentaje de celulosa disminuyó (Tabla 3), debido al resultado de la actividad degradativa del hongo. La variación en el contenido de estos componentes demuestra que son estadísticamente significativos ($p < 0,05$). Así mismo, se detectó un comportamiento similar en algunos componentes orgánicos presentes en la cascarilla de arroz (Tabla 4).

En relación al porcentaje de humedad, se encontró que los tratamientos conformados por aserrín y cascarilla de arroz presentaron porcentajes de humedad relativamente bajos (Tabla 5). Entre los tratamientos conformados por aserrín, el mayor porcentaje de humedad se presentó en el tratamiento ASB + SF mientras que el menor porcentaje de humedad fue en el control ASC. En ese mismo sentido, entre los tratamientos conformados con cascarilla de arroz, el mayor porcentaje de humedad se obtuvo en el tratamiento CB + SF y el menor porcentaje en el control CAC. Estadísticamente se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$).

Parámetros de crecimiento y desarrollo de las plántulas de tomate

En las Tablas 6 y 7, se indican los porcentajes de germina-

Tabla 3. Concentración/valores de los componentes orgánicos e inorgánicos en aserrín inoculado con *P. ostreatus* y sin inocular. Los valores representan la media de tres repeticiones. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 2012.

Componentes inorgánicos/orgánicos	Aserrín	Aserrín biodegradado
N (%)	0,30 ^a	0,62 ^b
P (%)	0,02 ^a	0,04 ^b
pH	7,06 ^a	7,00 ^a
C:N	8,13	4,16
C soluble	2,44 ^a	2,58 ^b
Extraíbles (%)	9,07 ^a	11,50 ^b
Lignina (%)	28,60 ^a	30,80 ^b
Celulosa (%)	24,10 ^a	17,50 ^b
Materia orgánica (%)	4,29 ^a	4,38 ^a

^{ab} Medias con las misma letra minúscula entre hileras no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 4. Concentración/valores de los componentes orgánicos e inorgánicos en cascarilla de arroz inoculada con *P. ostreatus* y sin inocular. Los valores representan la media de tres repeticiones. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 2012.

Componentes inorgánicos/orgánicos	Cascarilla de arroz	Cascarilla de arroz biodegradado
N (%)	0,20 ^a	0,31 ^b
P (%)	0,02 ^a	0,03 ^b
pH	7,00 ^a	7,10 ^a
C:N	10,60	7,83
C soluble	2,11 ^a	2,43 ^b
Extraíbles (%)	7,36 ^a	7,30 ^a
Lignina (%)	14,80 ^a	15,80 ^a
Celulosa (%)	23,10 ^a	19,40 ^b
Materia orgánica (%)	3,54 ^a	4,25 ^b

^{ab} Medias con las misma letra minúscula entre hileras no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 5. Porcentaje de humedad de los sustratos (tratamientos) empleados para el cultivo del tomate. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 2012.

Tratamientos con Aserrín	% de humedad	Tratamientos con Cascarilla de arroz	% de humedad
AOC (Control)	15,2 ^d	AOC (Control)	15,2 ^b
SC(Control)	12,3 ^e	SC(Control)	12,3 ^d
ASC(Control)	9,82 ^e	CAC(Control)	2,33 ^f
AS + SF	18,9 ^c	CA + SF	9,62 ^e
ASB + SF	25,10 ^a	CB + SF	16,5 ^b
CA + AS + SF	23,5 ^b	CA + AS + SF	23,5 ^a
CB + ASB + SF	13,7 ^e	CB + ASB + SF	13,7 ^c

^{abcdef} Medias con la misma letra minúscula no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$)

ción, sobrevivencia, altura, largo radical, número de hojas, peso fresco y peso seco de las plántulas de tomate cultivadas en los diferentes sustratos. Además, se indican los resultados de los análisis estadísticos para cada uno de los parámetros evaluados.

Dentro de los tratamientos que incluyeron aserrín, se encontró que el mayor porcentaje de germinación y sobrevivencia se registró en los tratamientos ASC y AS + SF, mientras que el menor porcentaje de germinación se presentó en el control AOC. En ambos ensayos, se encontraron diferencias

Tabla 6. Determinación de los parámetros de crecimiento y desarrollo en plántulas de tomate cultivadas en los sustratos a base de aserrín. Los valores representan la media de tres repeticiones. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 2012.

Tratamientos	(%) Germinación	(%) Supervivencia	Altura de plantas (cm)	Longitud radicular (cm)	n.º de hojas	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
	7 días	30 días					
AOC (Control)	0	30,00 ^d	11,17 ^c	1,49 ^e	7,03 ^b	0,359 ^b	0,034 ^b
SC(Control)	77,33 ^c	26,00 ^d	13,31 ^b	1,39 ^e	6,57 ^b	0,217 ^c	0,029 ^b
ASC(Control)	80,00 ^a	65,33 ^a	7,16 ^e	2,18 ^d	3,80 ^c	0,051 ^d	0,010 ^c
AS + SF	78,66 ^b	67,33 ^a	9,67 ^d	3,34 ^c	6,43 ^b	0,104 ^c	0,021 ^b
ASB + SF	77,33 ^c	54,00 ^b	25,94 ^a	5,92 ^a	12,97 ^a	1,012 ^a	0,138 ^a
CA + AS + SF	83,33 ^a	16,66 ^e	9,12 ^d	4,61 ^b	3,91 ^c	0,092 ^d	0,012 ^c
CB + ASB + SF	32,00 ^d	37,66 ^c	9,67 ^d	4,43 ^b	3,57 ^c	0,072 ^d	0,009 ^c

^{abcde} Medias con la misma letra minúscula no presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Tabla 7. Determinación de los parámetros de crecimiento y desarrollo en plántulas de tomate cultivadas en los sustratos a base de cascarilla de arroz. Los valores representan la media de tres repeticiones. Universidad del Magdalena, Santa Marta, 2012.

Tratamientos	(%) Germinación	(%) Supervivencia	Altura de plantas (cm)	Longitud radicular (cm)	n.º de hojas	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
	7 días	30 días					
AOC (Control)	0	30,00 ^b	11,17 ^b	1,49 ^c	7,03 ^a	0,359 ^a	0,034 ^a
SC (Control)	77,33 ^b	26,00 ^b	13,31 ^a	1,39 ^c	6,57 ^a	0,217 ^a	0,029 ^a
CAC (Control)	1,33 ^f	19,33 ^c	4,95 ^d	2,73 ^b	1,87 ^c	0,015 ^b	0,002 ^b
CA + SF	50,00 ^c	7,33 ^d	11,51 ^b	4,10 ^a	7,82 ^a	0,288 ^a	0,023 ^a
CB + SF	20,66 ^e	0	-	-	-	-	-
CA + AS + SF	83,33 ^a	16,66 ^c	9,12 ^c	4,61 ^a	3,91 ^b	0,092 ^b	0,012 ^b
CB + ASB + SF	32,00 ^d	37,66 ^a	9,67 ^c	4,43 ^a	3,57 ^b	0,072 ^b	0,009 ^b

^{abcde} Medias con la misma letra minúscula no presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

significativas frente al resto de los tratamientos ($p < 0,05$). El tratamiento CA + SF junto con el control SC presentaron los mejores resultados en el porcentaje de germinación, altura de plántula, número de hoja, peso fresco y peso seco. El tratamiento CB + ASB + SF obtuvo los mayores resultados en el porcentaje de supervivencia y largo radicular ($p < 0,05$) (Tabla 7). El tratamiento ASB + SF, obtuvo los mayores resultados en todos los parámetros evaluados: altura de la plántula, longitud radical, número de hojas, peso fresco y peso seco, evidenciando el efecto estimulador de crecimiento de este sustrato. El tratamiento ASB + SF presentó diferencias significativas frente a los demás tratamientos ($p < 0,05$) (Tabla 6). Los tratamientos conformados por la cascarilla de arroz, presentaron diferentes respuestas en los parámetros de crecimiento y desarrollo en todos los tratamientos evaluados, encontrándose una talla baja de crecimiento, tallos débiles y poco follaje que impidió que las plántulas sobrevivieran al tiempo de finalizar el ensayo. Por lo cual no fueron tenidos en cuenta en el análisis estadístico debido a la ausencia de plántulas.

DISCUSIÓN

Una de las diversas formas de aprovechar los sustratos post-cosechas de hongos comestibles, es a través de la incorporación de estos en suelos agrícolas o forestales, funcionando como abono orgánico, o en la mejora de las características físicas o químicas. El contenido de N en el aserrín y cascarilla de arroz aumentaron luego de ser tratados con la cepa de *P. ostreatus*, el aumento de N puede atribuirse al proceso de mineralización, donde el N se transforma de orgánico a inorgánico (Sánchez y Sanabria, 2009). Aunque hubo un aumento en los compuestos inorgánicos (N y P), se evidencia que los valores reportados son bajos para ser utilizados como biofertilizantes o acondicionadores de suelos. Landshoot y McNitt (2005), indican que los sustratos biodegradados por los hongos suelen tener un contenido de 1,5 a 3 % de Nitrógeno total con base en su peso seco. Así mismo, el contenido de P óptimo que deben tener los sustratos utilizados por los hongos debe estar entre 0,5 a 2,0 %, reportado como P₂O₅. La posible explicación a los resultados obtenidos en

este estudio, se encontraría en la concentración de P determinada en el análisis químico previo en la cascarilla de arroz y el aserrín, en la que estos sustratos presentaron una baja proporción de este elemento. En el proceso de descomposición, los hongos liberan altas cantidades de nutrientes que son consumidos simultáneamente en el proceso, dejando solo un bajo contenido de estos que pueden ser absorbidos por las plantas para su normal desarrollo (Medina *et al.*, 2009).

Plasencia y Corbella (2002), mencionan que los valores de pH cercanos a la neutralidad favorecen la mineralización del N. Por lo tanto, el pH del suelo y de los tratamientos facilitaron dicho proceso en este estudio. Luna (2009), menciona que los sustratos utilizados (paja de trigo y aserrín de *Nothofagus* spp.) por *Flammulina velutipes*, incrementaron su valor debido a la actividad degradativa del hongo. Por otro lado, Landshoot y McNitt (2005), indican que la mayoría de los materiales biodegradados presentan pH entre 6,0 y 8,0, un rango favorable para el crecimiento de las raíces de las plantas. Si hay valores de pH extremos, superior a 8,5 o menor de 5,5, puede resultar una limitante respecto a la disponibilidad de algunos nutrientes. Por lo tanto, los valores obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de este rango, el cual es óptimo para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Estudios realizados por diversos investigadores, demuestran que a través del tiempo la degradación de los sustratos aumenta hasta llegar a una mineralización completa o parcial. Ortega *et al.* (2005), mencionan en un estudio sobre la biotransformación de bagazo de caña con *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*, que la mayor degradación corresponde para la celulosa (53 %) a los 60 días de cultivo. De acuerdo a Fengel y Wegener (1989) la degradación de la celulosa corresponde a una disminución absoluta en su contenido, por consiguiente, su disminución no es percibida por un cambio porcentual, sino por el aumento relativo de los demás constituyentes orgánicos como la lignina, hidrosolubles y extraíbles. En ese sentido, en nuestro estudio podríamos presumir un comportamiento similar, donde algunos compuestos o elementos que conformaban la molécula de la celulosa probablemente pasarían a hacer parte de la lignina o extraíbles, razón por la cual en el aserrín y la cascarilla tratados con *P. ostreatus*, aumentaron la lignina y el porcentaje de extraíbles. La concentración de lignina en ambos sustratos, aumenta comparada con la degradación de la celulosa luego del tratamiento con el hongo; lo que confirma que *P. ostreatus* ataca simultáneamente la lignina y la celulosa (Sánchez *et al.*, 2006).

En cuanto, a la relación C:N se afirma que se presentó una muy buena mineralización de la materia orgánica en ambos sustratos biodegradados, obteniendo valores de 4,16 para el aserrín y 7,83 para la cascarilla de arroz. Landshoot y McNitt (2005), refieren que la relación C:N es buena cuando presenta valores menores a ocho (8), en este caso, los microorganismos del suelo pueden inmovilizar el nitrógeno. Estudios realizados por Jaramillo *et al.* (2007), señalan que

los sustratos o el suelo a utilizar para el cultivo de tomate, deben presentar alto contenido de materia orgánica, por encima del 5 %. Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con los de estos autores, los valores encontrados son bajos, sin embargo, es necesario tener en cuenta que estas cifras se verían aumentadas con un mayor tiempo de experimentación. Así mismo, en el ensayo se utilizó como control positivo un abono orgánico comercial constituido por diferentes fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio mezclado con humus de lombriz y gallinaza compostada. El efecto de estos nutrientes permitieron que las plántulas de tomate cultivadas en este sustrato presentaran las óptimas condiciones de crecimiento y desarrollo, respuesta que permitió comparar con el resto de los tratamientos establecidos en el ensayo.

Los sustratos compuestos por la cascarilla de arroz presentaron los menores porcentajes de humedad, lo cual se explica debido a que este sustrato tiene una baja capacidad de retención de agua. Por esta razón, la cascarilla de arroz principalmente se ha utilizado para aumentar el espacio poroso en los sustratos permitiendo una mayor aireación sin que ello implique la retención de humedad, esta última se presenta cuando las partículas tienen la capacidad de absorber agua por ejemplo arcillas, limos y en menor proporción las arenas (García *et al.*, 2001). La cascarilla de arroz por su naturaleza química y física no tiene la capacidad para una alta retención de agua. El abono orgánico fue el tratamiento que presentó el mayor valor, dentro de este grupo. Según, Vence (2008), los sustratos biodegradados ideales para ser incorporados en el suelo deben tener un contenido de humedad entre el 30 y el 50 %, aquellos que son mayores del 60 % no se extienden de manera uniforme cuando se aplica a las superficies del suelo. El tratamiento ASB + SF se acercó al rango óptimo que deben tener los sustratos biodegradados para ser incorporados al suelo.

En el control AOC, se observó un retraso al inicio de la germinación de las semillas, el cual podría estar relacionado con la textura arcillosa del abono, que afectó la aireación y el drenaje del agua. La germinación de la semilla, ocurre cuando existen condiciones adecuadas de humedad, aireación y temperatura (Torres *et al.*, 2008). Los tratamientos conformados por aserrín y cascarilla de arroz presentaron un porcentaje de humedad relativamente bajo, lo cual permitió inferir que fue una de las causas para no obtener porcentajes más altos de germinación. Andrade y Valenzuela (2002), señalan porcentajes de sobrevivencia de 65 a 100 % en plántulas de tomate, cultivadas por 30 días en suelo y aserrín de pino biodegradado por *Gymnopilus spectabilis* y *Pleuroflammula croseosanguinea*; estos autores mencionan que el aserrín de pino biodegradado por estos hongos, aparte de la disponibilidad de nutrientes, también resultan buenos acondicionadores del suelo para el establecimiento y desarrollo de cultivos de tomate.

Carrasco e Izquierdo (2005), reportaron que la altura óptima de las plantas de tomate para ser trasplantadas no debe

superar los 15 cm; Jaramillo *et al.* (2007), coincidieron al indicar que la altura debe estar entre 10 y 15 cm. Así mismo, estos autores mencionan que las plántulas listas para el trasplante deben tener un sistema de raíces bien desarrollado entre 5 y 14 cm de largo, permitiendo contener el sustrato y que éste no se desmorone en el momento en que la planta se saca de la bandeja. En el tratamiento ASB + SF, las plantas obtuvieron la altura y largo de raíz necesario para su trasplante antes de los 30 días, este comportamiento posiblemente se debe a la cantidad de nutrientes disponibles aportados por el sustrato biodegradado de *P. ostreatus*, lo cual permitió el rápido desarrollo de estas. Así mismo, Verdugo (2005), en su estudio sobre la evaluación técnica y económica de la cascarilla de arroz como sustrato para la producción de almácigos de hortalizas, indicó que la cascarilla de arroz cuando se usa como sustrato único para el cultivo de hortalizas no produce plantas útiles para ser trasplantadas, esto permite afirmar en este estudio los resultados no favorables, encontrados en los controles y tratamientos que solo incluyeron cascarilla de arroz. Por lo tanto, se recomienda usarla como sustrato, pero sólo en mezcla con otro material como pino compostado, obteniendo así plántulas aptas para su trasplante.

Con respecto al número de hojas evaluadas en las plántulas de tomate cultivadas tanto en los tratamientos con aserrín (AOC y AS + SF) y cascarilla de arroz (CA + SF), se encontraron valores entre siete y 12 hojas verdaderas en 30 días, lo cual coincide con lo propuesto por Jaramillo *et al.*, 2007, donde mencionaron que el número de hojas en plantas de tomates aptas para trasplante es de siete y 12 hojas verdaderas, que se desarrollan aproximadamente entre 30 y 35 días después de sembrado el semillero. Por otra parte, Montañó y Núñez (2003), en una investigación sobre la evaluación del efecto de la edad de trasplante (sobre el rendimiento en tres selecciones de tomate), informaron que las plántulas con mayor número de hojas se observaron en edades de 50 y 45 días con un promedio de ocho y nueve hojas por plántula.

El peso fresco de las plantas de tomate presentó la misma tendencia que el peso seco. Entre los tratamientos conformados con aserrín, el tratamiento ASB + SF presentó la mejor respuesta en comparación con los demás tratamientos de este grupo. Mientras que en los tratamientos que incluyeron cascarilla de arroz, no se observó un resultado favorable. Sin embargo, la mezcla CA + SF y el control AOC arrojaron los resultados más favorables. Andrade y Valenzuela (2002), reportaron valores desde 0,368 g hasta 0,704 g en el peso fresco para plántulas de tomate cultivadas durante 30 días en sustratos de aserrín de pino biodegradado y suelo, por su parte, Quesada y Méndez (2005), obtuvieron valores de 0,09 g y 0,81 g del peso seco en plántulas de lechugas cultivadas en sustratos de aserrín de melina y suelo fermentado. En este estudio todos los tratamientos presentaron valores bajos de peso fresco excepto ASB + SF y AOC, que incluyeron

fertilizantes nitrogenados de forma disponible (suelo fertilizado con urea y ABO a base de N, P, K y compost) que influyó positivamente en el aprovechamiento por las plántulas en su desarrollo y nutrición. Los valores de peso fresco en estos tratamientos fueron cercanos a lo reportados por Andrade y Valenzuela (2002), en un estudio de plántulas de tomates cultivadas en aserrín biodegradado por cepas de Agaricales. Tanto en el aserrín como en la cascarilla de arroz tratados con *P. ostreatus*, se observó una disminución en el contenido de celulosa y un aumento en la lignina, demostrando la capacidad que tiene esta especie para degradar simultáneamente estos sustratos. Los ensayos realizados en los cultivos de plántulas de tomate, mostraron que el aserrín biodegradado por *P. ostreatus* mezclado con suelo fertilizado con urea y el abono orgánico utilizado registraron los mejores resultados en las variables de crecimiento y desarrollo evaluadas, por lo que pueden funcionar como un posible sustrato apto para el cultivo de estas hortalizas o para mejorar las características físicas, químicas o nutricionales del suelo. Los sustratos que contenían cascarilla de arroz tratada y sin tratar por el hongo, no favorecen al establecimiento del cultivo de las plántulas de tomate, posiblemente por su baja tasa de descomposición y baja retención de humedad.

AGRADECIMIENTOS

A los laboratorios de Microbiología y Calidad de Agua de la Universidad del Magdalena, por permitirnos realizar este trabajo en sus instalaciones. Al estadístico Arnaldo Peralta y a los profesores Nelson Valero y Adriana Sandón, por sus aportes en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade N, Valenzuela E. Aserrín de pino pretratado con cepas fúngicas como sustrato para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum mill*). *Agro Sur*. 2002;30(2):28-34.
- Carrasco G, Izquierdo J. Manual técnico almaciguera flotante para la producción de almácigos hortícolas. 1 ed. Talca: Editorial Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Oficina Regional para América Latina y el Caribe; 2005.
- Delfín I, Duran C. Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por *Pleurotus*. *Rev Int Contam Ambient*. 2003;19(1):37-45.
- Fengel D, Wegener G. Microbial and enzymatic degradation. En: Walter de Gruyter, Editors. *Wood chemistry ultrastructure reactions*, Berlín, Alemania; 1983. p. 373-406.
- Fletcher J. A brief overview of plant toxicity testing. En: Goruch J, Lower W, Lewis M, Wang W, Editors. *Plants for Toxicity Assessment*. Philadelphia: ASTM Publication; 1991. p. 1-11.
- García O, Alcántar G, Cabrera R, Gavi F, Volke H. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra*. 2001;19(3):249-258.

- Jaramillo J, Rodríguez V, Guzmán M, Zapata M, Rengifo T. Manual técnico: buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. 1 ed. Medellín: Editorial Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO, Gobernación de Antioquia, Dirección Seccional de Salud de Antioquia, Plan de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Antioquia -MANA-Convenio FAO-MANA; 2007.
- Jaramillo G, Zapata L. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia (Monografía de Especialista). Medellín: Postgrado de Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia; 2008.
- Landshoot P, Mcnitt A. Using spent mushroom substrate as a soil amendment to improve turf. 2005 [citado 5 julio 2012]; 1(1): [1 pantalla]. Disponible en: URL: <http://turfgrassmanagement.psu.edu/spentmushroomsubstrate.cfm>.
- Lee-Rynker D. Handling and using "spent" Mushroom substrate around the world (part two). 2004 [citado 28 de agosto de 2012]; 1(1): [1 pantalla]. Disponible URL: <http://setascultivadas.com/2004articulomarzoingles.html>.
- Lobato R. Mapa taxonómico de los suelos de la Universidad del Magdalena. 1 ed. Santa Marta: Editorial Universidad del Magdalena; 2003.
- Luna J. Cultivo de hortalizas en suelo adicionado de aserrín de *Nothofagus* sp., y paja de trigo biodegradados por *Flammulina velutipes* (Tesis de Maestría). Valdivia: Escuela de graduados, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile; 2009.
- Manjarrés K, Castro A, Rodríguez E. Producción de lacasa utilizando *Pleurotus Ostreatus* sobre cáscaras de plátano y bagazo de caña. Rev Lasallista de Investigación. 2010; 7(2):9-15.
- Medina C, Paredes C, Pérez-Murcia M, Bustamante M, Moral R. Spent mushroom substrate as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. Rev Bioresource Technol. 2009;100:4227-4232.
- Mella A. 2006. Producción de setas en invernadero del hongo *Pleurotus eryngii* en sustratos agroforestales (Tesis de Maestría). Valdivia: Escuela de graduados, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile; 2006.
- Montaño NJ, Núñez JC. Evaluación del efecto de la edad de trasplante sobre el rendimiento en tres selecciones de ají dulce *Capsicum chinense* Jacq. en Jusepín, estado Monagas. Rev Fac Agron. 2003;20(2):144-155.
- Moreno M. Producción de setas de *Pleurotus eryngii* (DC.:Fr) Quel. en paja de trigo y posterior evaluación del sustrato bioaumentado incorporado a un suelo Hapludand (Tesis de Pregrado). Valdivia: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile; 2008.
- Ortega G, Bueno G, Betancourt D, Álvarez I, González A. Biotransformación de residuos lignocelulósicos con hongos *Pleurotus*. Rev. CENIC Ciencias Biológicas. 2005; 36 (n.º Especial):1-7.
- Plasencia A, Corbella R. Química del suelo. Cátedra de Edafología. Facultad de agronomía y zootecnia Universidad nacional de Tucumán. 2002 [citado 10 de julio 2012]; 1(1): [10 pantallas]. Disponible en: URL:<http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/Introduccion%20a%20la%20Edafologia.pdf>.
- Quesada G, Méndez C. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. Agron Mesoam. 2005;16(002):171-183.
- Sánchez C. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. Biotechn Adv. 2009;27(2):185-194.
- Sánchez J, Orozco G, Hernández D, Nieto M, Márquez F. El sustrato degradado por *Pleurotus pulmonarius* para la degradación del insecticida endosulfán. 2006 [citado 6 de agosto de 2012]; 1(1): [9 pantallas]. Disponible en: URL: http://chm.pops.int/portals/0/docs/responses_on_annex_E_information_for_endosulfan/mexico_.pdf.
- Sánchez J, Sanabria J. Metabolismos microbianos involucrados en procesos avanzados para la remoción de nitrógeno, una revisión prospectiva. Rev Colom Biotecnol. 2009;11(1):114-124.
- Sarmiento M. Alternativas de compostaje de aserrín de pino Caribe (*Pinus caribaea*) en la industria maderera Refocosta S.A., municipio de Villanueva, Casanare, Colombia. RIAA. 2011;2(2):21-32.
- Tecnical Association Of The Pulp And Paper Industry. Tappi testing procedures. Vol 1 y 2. Quebec: Editorial Tappi press; 2005.
- Torres C, Díaz J, Cabal P. Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Rev Agron Colomb. 2008;26(2):177-185.
- Vásquez J, Baena D, Menjivar J. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). Rev Acta Agronómica. 2010;59(4):449-456.
- Vence L. Disponibilidad de agua - aire en sustratos para plantas. Rev CI Suelo 2009;26(2):105-114.
- Verdugo R. Evaluación técnica y económica de la cascarilla de arroz como sustrato para la producción de almácigos de hortalizas (Tesis de Pregrado). Talca: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca; 2005.