

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

MANEJO DE RESIDUOS GENERADOS DIRECTA O INDIRECTAMENTE POR EL CULTIVO DE CEBOLLA EN AQUITANIA (BOYACA-COLOMBIA)

*Patricia Martínez-Nieto¹
Daniel García-González²
Paula Sofía Silva-Bonilla²
Gustavo Vargas-Chaparro³
Felipe Valderrama-Escallón¹

WASTE MANAGEMENT GENERATED DIRECTLY OR INDIRECTLY BY
ONION CROP IN AQUITANIA (BOYACA-COLOMBIA)

Recibido el 15 de marzo de 2011; Aceptado el 5 de octubre de 2011

Abstract

The crop of green onion (*Allium fistulosum* L.) in Aquitania, municipality belonging to Basin of Tota Lake in Colombia, used high amounts of chicken manure to fertilize and chemical synthesis inputs for pest and disease. This has led to pollution and eutrophication of the Tota Lake, which encouraging the proliferation of aquatic macrophytes as Brazilian elodea (*Egeria densa* Planch). Elodea mechanically extracted from TOTA Lake, wastes from the process of leaf removal and deburring onion, known as “pelanza”, and chicken manure, can be converted into high-quality compost using beneficial microorganisms in the composting process. Six treatments with two replicates that consisted of two mixes of waste, with and without addition of microbial inoculants, were designed for this research. The macronutrient content was increased in the mixture with chicken, onion waste, elodea, barley flour and rice hulls, mainly when it was inoculated with cellulolytic, proteolytic and amylolytic microorganisms. None of the treatments presented heavy metals, pathogenic human or phytopathogenic nematodes. In phytotoxicity bioassay in radish (*Raphanus sativus* L.), the highest germination rate was obtained with treatment using onion, elodea and rice hulls inoculated cellulolytic, proteolytic and amylolytic microorganisms. Biofertilizer production due to their biological and nutritional characteristics is a good alternative to the onion crop waste management in subpáramo; within the concept of sustainable development.

Keywords: Composting, Brazilian elodea, chicken manure, degrading microorganisms of matter organic, onion waste.

¹ Fundación Humedales

² Corporación para el desarrollo participativo y sostenible de pequeños agricultores (Corporación PBA)

³ Productores asociados de cebolla larga y otras hortalizas en producción más limpia del Municipio Aquitania (Asociación Parcela)

* Corresponding author: Calle 142 No 13-49 Interior 2. Conjunto Residencial “El Pórtico”. Barrio Cedritos-Bogotá-Colombia.

Email: patingli@gmail.com

Resumen

El cultivo de cebolla larga (*Allium fistulosum* L.) en Aquitania, municipio perteneciente a la cuenca del Lago de Tota en Colombia, emplea altas cantidades de gallinaza para fertilizar e insumos de síntesis química para el control de plagas y enfermedades. Esto ha generado la contaminación y eutroficación del lago de Tota, favoreciendo la proliferación de macrófitas acuáticas como elodea brasilera (*Egeria densa* Planch). La elodea extraída mecánicamente de la Laguna de Tota, residuos provenientes del proceso de deshoje y desbarbe de la cebolla conocido como “pelanza”, y gallinaza cruda, pueden ser convertidas en abono de alta calidad utilizando microorganismos benéficos en el proceso de compostaje. Para esta investigación se diseñaron seis tratamientos con dos repeticiones que consistieron en la utilización de dos mezclas de los residuos con y sin adición de inóculos microbianos. El contenido de macronutrientes se incremento en la mezcla con gallinaza, residuos de cebolla, elodea, harina de cebada y cascarilla de arroz, principalmente cuando fue inoculado con microorganismos celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos. Ninguno de los tratamientos presentó metales pesados, patógenos humanos, o nematodos fitopatógenos. En la prueba de fitotoxicidad en rábano (*Raphanus sativus* L.), el mayor índice de germinación se obtuvo con el tratamiento que utilizo residuos de cebolla, elodea y cascarilla de arroz inoculados con microorganismos celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos. La producción de bioabonos debido a sus características nutricionales y biológicas, constituye una buena alternativa para manejo de residuos del cultivo de cebolla en subpáramo; dentro del concepto de desarrollo sostenible.

Palabras claves: Compostaje, Elodea brasilera, gallinaza, microorganismos degradadores de materia orgánica, residuos de cebolla.

Introducción

La cuenca del lago de Tota ubicada en el departamento colombiano de Boyacá, comprende los municipios de Aquitania, Cuitiva y Tota, donde se concentra la mayor producción de cebolla larga del país. Esta actividad agrícola sumada al vertimiento de aguas negras procedentes de estos municipios contamina el agua de este lago, segundo en importancia en Sur América después del Titicaca. Además, el cultivo de cebolla interviene áreas de páramo en el municipio de Aquitania por debajo de los 3.300 m.s.n.m (Rodríguez, 2005; Alcaldía Municipal de Aquitania, 2008).

La cebolla es el principal generador de empleo e ingresos en Aquitania con una participación promedio del 80% de la población (Renjifo *et al.*, 2002; Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, 2002). En este cultivo el uso de insumos agrícolas es el rubro que demanda mayor inversión, con una participación de fertilizantes orgánicos (gallinaza cruda) hasta del 50% de los costos totales durante el establecimiento del cultivo. Lo anterior genera problemas fitosanitarios y procesos de nitrificación acelerada con pérdida de nutrientes que por lixiviación llegan al lago de Tota, aumentando el desarrollo de plantas acuáticas como junco y elodea, que reducen la superficie de agua y modifican el hábitat de fauna y flora nativas, causando con el tiempo eutrofización (Renjifo *et al.*, 2002; Rodríguez, 2005; Hio, 2006).

La utilización de elodea y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para la producción de abono orgánico utilizando microorganismos benéficos ha sido una experiencia exitosa en la Laguna de

Fúquene, obteniendo un producto de excelente calidad nutricional y biológica (Palacios, 2007; Martínez-Nieto, 2007 y 2009).

La inoculación con microorganismos controladores biológicos y fijadores de nitrógeno al compost según algunos autores disminuye el uso de plaguicidas, favorece la absorción de nutrientes y mejora la calidad del producto final aumentando la concentración de proteínas (Clarkson *et al.*, 2006; Gómez, 2007).

Por otro lado el cultivo de la cebolla genera residuos en el proceso conocido como “pelanza” que consiste en un desprendimiento de hojas secas y deterioradas y de las raíces más largas, que son abandonados en diferentes lugares sin ningún tratamiento en vez de convertirse en una alternativa productiva en la zona mediante el compostaje (Martínez *et al.*, 2008; Varela, 2006; Clarkson *et al.*, 2006.)

Por tal razón el objetivo de esta investigación fue producir abonos orgánicos a partir del compostaje de elodea, pelanza de cebolla y gallinaza utilizando microorganismos para mejorar la calidad del producto final, dentro del proyecto “*Desarrollo participativo de alternativas de producción limpia de cebolla de rama para el manejo y uso sostenible de suelos y aguas en la región de la cuenca del lago de Tota, Departamento de Boyacá, Colombia*”.

Materiales y métodos

Residuos

Se utilizaron como residuos base gallinaza, pelanza de cebolla, elodea brasilera (Macrófita invasora extraída mecánicamente de la laguna de Tota como mecanismo de control) y cascarilla de arroz (Residuo generado en un municipio cercano a Aquitania que ayuda a la aireación y absorción de humedad del sistema de compostaje). Adicionalmente se usó harina de cebada para nivelar la relación de transformación carbono/nitrógeno, carbono/fósforo y el contenido de humedad dentro de los rangos ideales para compostaje: 20-30/1, 75-175/1 y 40-60 % respectivamente (Martínez-Nieto, 2006; Abaunza *et al.*, 2008; Washington State University, 2009). La harina de cebada también se escogió teniendo en cuenta su disponibilidad en la zona, la calidad expresada en ausencia de sustancias nocivas y el valor económico (Trautmann y Krasny, 1997; Corporación Técnica Alemana (GTZ), 2001; Martínez-Nieto, 2006). En la tabla 1 se observa el contenido de carbono, fósforo, nitrógeno, humedad y densidad aparente de los residuos que se usaron en el proceso de compostaje.

Tabla 1. Contenido de nutrientes, humedad y densidad aparente de residuos de elodea, pelanza de cebolla, gallinaza, cascarilla de arroz y harina de cebada

SUSTRATO	N %	C %	P %	C/N	C/P	HUMEDAD %	DENSIDAD g/cm ³
Elodea	2,94	43,7	0,15	14,9	291,3	63,13	0,15
Cebolla	1,68	28,0	0,59	16,7	47,5	67,57	0,16
Gallinaza	3,08	55,5	1,34	18,0	41,4	14,21	0,30
Cascarilla de arroz	0,42	58,1	0,06	138,3	968,3	21,13	0,16
Harina de cebada	1,17	66,7	0,34	57,0	196,2	9,20	0,43

Microorganismos

Se emplearon dos biopreparados microbianos, uno compuesto de microorganismos celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos (MCPA) mezclados a una concentración de 10^8 UFC mL⁻¹ y el otro con microorganismos eficientes (EM) producidos comercialmente en Colombia por la Fundación para Asesorías del Sector Rural (FUNDASES) bajo la supervisión de EM Research Organization (EMRO), Latinoamérica.

Diseño experimental bajo condiciones de invernadero

Con base en el contenido de nutrientes, humedad y densidad y los resultados obtenidos por Martínez-Nieto (2006) en la zona, se estableció un diseño experimental con seis tratamientos y dos repeticiones para un total de doce pilas de compostaje de 9 m³. Para los tratamientos se utilizaron dos mezclas diferentes de los sustratos con y sin adición de inóculos microbianos (tabla 2). En la combinación de los residuos se puso especial cuidado en obtener valores teóricos en los rangos ideales de humedad y relación carbono/ nitrógeno, teniendo en cuenta que ésta determina en gran medida las características de la descomposición y el contenido de sustancias que valorizan el producto final (GTZ, 2001).

Tabla 2. Tratamientos utilizados en el diseño experimental bajo condiciones de invernadero en Aquitania

TTO	INOCULO	SUSTRATOS		C/N	Humedad (%)	Altura (m)
		Tipo	Cantidad (Tn)			
1	MCPA	Elodea	0,308	14,86	63,1	0,342
2	EM	Cebolla	0,308	16,67	67,6	0,481
		Gallinaza	0,462	18,02	14,2	0,308
3	Sin inoculación	Cascarilla de arroz	0,554	138,33	21,1	0,321
		Harina de cebada	0,123	57,01	9,2	0,048
		Total mezcla	1,76	25	38	1,50
4	MCPA	Elodea	0,404	14,86	63,1	0,449
5	EM	Cebolla	0,807	16,67	67,6	0,841
6	Sin inoculación	Cascarilla de arroz	0,202	138,33	21,1	0,210
		Total mezcla	1,41	24	60	1,50

El montaje de las pilas se realizó mediante la técnica de parva o montón, de acuerdo con la metodología empleada por Martínez-Nieto (2006) y Abaunza *et al.* (2008) en un invernadero de 1000 m². Los inóculos microbianos se agregaron a medida que se iba formando la pila y una vez terminado el montaje se tomó temperatura con termómetro de punzón, pH con tiras reactivas y humedad por el método del guante (Martínez-Nieto, 2007 y 2009).

Inoculación microbiana

Se realizaron tres aplicaciones semanales a razón de 1 L T⁻¹ de residuos del biopreparado MCPA y de los EM cuatro dosis, una inicial de 2 L T⁻¹ de residuos y las siguientes de 1 L T⁻¹ de residuos cada ocho días.

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos y volteos

La temperatura se registro diariamente; mientras que el pH y humedad se tomaron semanalmente durante todo el proceso. Los volteos se realizaron cada ocho días por miembros de una asociación de cultivadores de cebolla en rama de la zona (Asociación PARCELA).

Evaluación fisicoquímica y biológica para determinar la calidad del producto final

Cuando los tratamientos por sus características macroscópicas (olor a tierra húmeda debido a la liberación de geosmina) y de temperatura (Li *et al.*, 2004; Ge *et al.*, 2006) alcanzaron la etapa de curado, se tamizaron y se les realizó test de fitotoxicidad (porcentaje e índice de germinación) en rábano (*Raphanus sativus* L.) para confirmar la madurez de los compost producidos (Varnero *et al.*, 2007). Con estos resultados se procedió a la realización de análisis fisicoquímicos completos para compost, metales pesados, Enterobacterias, *Salmonella* sp. y recuento de fitopatógenos. Los resultados permitieron establecer la calidad de los compost producidos con base en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167 expedida por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2004) y la normatividad internacional consultada (Washington State Department of Ecology, 1994; Hogg *et al.*, 2002; Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2005; Ge *et al.*, 2006). Los análisis se realizaron en el laboratorio de control de calidad Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola LTDA, certificado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), entidad colombiana encargada de otorgar los registros para fertilizantes, abonos orgánicos y acondicionadores del suelo.

Análisis estadístico

Los datos se trataron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía ($P < 0,05$) y con la prueba de Rango Múltiple de Duncan, para determinar diferencias significativas entre las medias.

Resultados y discusión

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos y volteos

Los mayores valores de temperatura se obtuvieron en los tratamientos que utilizaron todos los sustratos, los cuales mantuvieron temperaturas por encima de 55 °C durante un mes aproximadamente (figura 1), siendo los mejores tratamientos de acuerdo con la prueba de rango múltiple de Duncan (Tabla 3). Los otros tratamientos no cumplieron con lo exigido en la normatividad internacional al no incrementar su temperatura por encima de 55 ° C (figura 1) (Washington State Department of Ecology, 1994; Hogg *et al.*, 2002; Ge *et al.*, 2006). La evolución de la temperatura en los tres primeros tratamientos comprueban indirectamente que la medida de la pila, humedad, aireación y relación carbono / nitrógeno fueron favorables para la reducción microbiana (Trutmann y Krasny, 1997; Cereijo *et al.*, 2007).

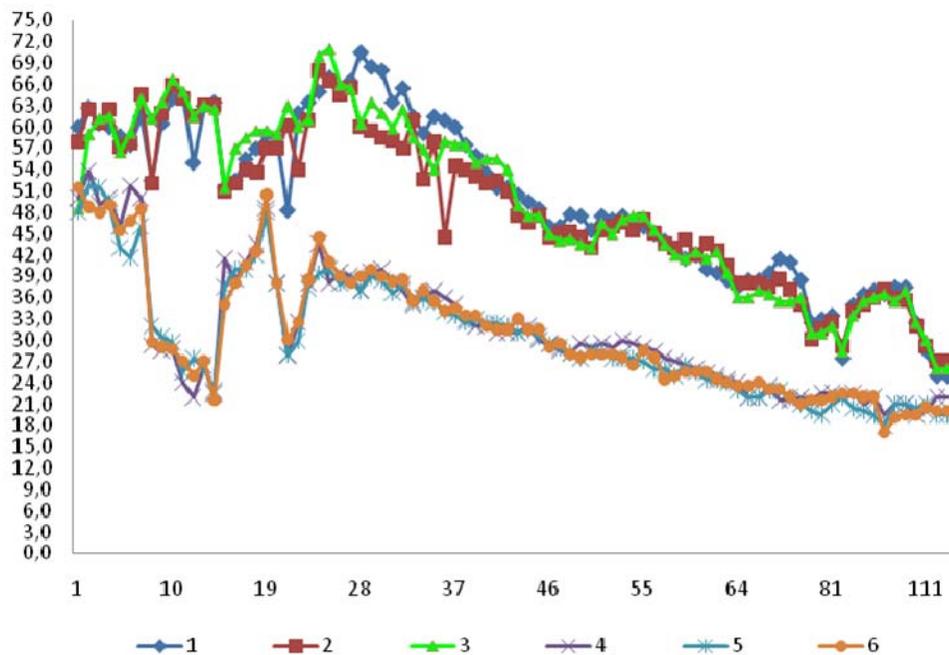


Figura 1. Dinámica de la temperatura de los tratamientos durante cuatro meses bajo condiciones de invernadero en el municipio de Aquitania (Boyacá, Colombia)

Al final del proceso de degradación, los tratamientos cuatro y cinco obtuvieron los pH más altos con un valor de 8,0, seguido en orden decreciente por el seis (7,9), uno y tres con 7,6 y por último el dos (7,5). En Colombia se exigen valores en un rango de 4 a 9; mientras que en otros países contemplan como normal entre 5 y 8 (Washington State Department of Ecology, 1994; Hogg *et al.*, 2002; ICONTEC, 2004). Fernández y Castellá (2010) recomiendan que el pH del

compost se mantenga cercano a la neutralidad ya que valores mayores o menores pueden resultar muy alcalinos o ácidos para algunos cultivos.

Los tratamientos donde se utilizó la mezcla de elodea y cebolla presentaron inicialmente humedades alrededor de 60 % y de acuerdo a Torres-Lozada *et al.* (2005), no es conveniente manejar humedades cercanas a este rango debido a que todo proceso de compostaje produce dióxido de carbono y agua, que sumada al agua propia del material puede hacer que no se incremente la temperatura, como sucedió en estos tratamientos a pesar que se sometieron a procesos de secado. En la etapa de enfriamiento y maduración todas las pilas presentaron humedades por debajo de 35%, en concordancia con lo exigido en la normatividad nacional (ICONTEC, 2004), con porcentajes entre 5,8 % y 12,2 %.

El proceso de compostaje es una compleja interacción entre sustrato, microorganismos, aireación, producción de agua y calor. Es importante entender cómo influyen estos parámetros en el ecosistema microbiano para mejorar la eficiencia del proceso (Trautmann y Krasny, 1997; Cereijo *et al.*, 2007; Moreno y Moral, 2008). Las humedades presentadas en los tratamientos 4, 5 y 6 disminuyeron la eficiencia del sistema por ausencia de una verdadera etapa termófila al igual que lo observado por Luo *et al.* (2008), prolongando el tiempo de degradación de las pilas y presentando concentraciones del hongo *Fusarium* sp. entre 10^3 y 10^4 UFC g⁻¹, el cual dependiendo de la especie puede causar patología en algunos cultivos (Freeman y Maymon, 2000); caso contrario a lo presentado por los primeros tratamientos que alcanzaron valores de temperatura hasta de 71 °C con curvas normales de degradación (Tabla 3).

Tabla 3. Temperaturas máximas promedio obtenidas en los seis tratamientos de compostaje en el municipio de Aquitania, bajo condiciones de invernadero

Temperatura máxima *	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
°C	70,5	68,0	71,0	53,8	51,8	51,5
	a	a	a	b	b	b

* $P=0,0009$. Los datos representan promedios de dos replicas. Las letras muestran los niveles de la prueba de rango múltiple de Duncan, donde letras iguales indican promedios estadísticamente iguales. El primer nivel está representado por la letra a y el segundo por la letra b

Evaluación fisicoquímica y biológica para determinar la calidad del producto final

En la tabla 4 se observan los resultados de los análisis realizados para determinar la madurez y calidad de los compost obtenidos en los diferentes tratamientos. La mayoría de tratamientos cumplieron con toda la normatividad colombiana, a excepción del cuatro, cinco y seis con relación al fósforo, y tres y seis con recuentos altos de coliformes totales (tabla 4).

En la prueba de fitotoxicidad, los mayores porcentajes de germinación se observaron en los tratamientos 4, 5 y 6, siendo los mejores de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Duncan (tabla 4); aunque todos los tratamientos a excepción del dos se encontraron dentro de los límites permitidos por la normatividad internacional consultada (mayor o igual al 90) (Washington State Department of Ecology, 1994; Hogg *et al.*, 2002; Instituto Nacional de Normalización, 2005; Ge *et al.*, 2006). Sullivan y Miller (2001) recomiendan interpretar este test con cuidado y apoyarse en otros análisis antes de indicar la madurez de un compost, debido a que un alto contenido de sales en el material inhibe la germinación de algunas semillas en todas las etapas de curado, lo cual se comprobó en esta investigación al analizar el tiempo de curado, relación carbono/ nitrógeno, temperatura final y las características sensoriales que indicaban la madurez del tratamiento 2.

Con relación al índice de germinación valores entre 0,8 y 1,0 no inhiben el crecimiento e índices superiores a 1 incrementan más que deteriorar el crecimiento (Trautmann y Krasny, 1997). En todos los tratamientos se obtuvieron índices promedios superiores a 0,8 y en el cuatro alrededor de 3 (Tabla 4), pero no se presentaron diferencias significativas en el análisis de varianza ($P=0,158$).

Los más altos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio se encontraron en los tratamientos que mezclaron todos los residuos y según la prueba de rango múltiple de Duncan los tratamientos 1 y 2 fueron los mejores con relación al nitrógeno; mientras que para los otros dos nutrientes no se encontraron diferencias entre los tres primeros tratamientos a un nivel de significancia de 0,05 (Tabla 4). El laboratorio de control de calidad Dr. Calderón compararon el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio de los diferentes abonos producidos en Aquitania con todos los compost, humus de lombriz y gallinazas que ellos han analizado en diez años de funcionamiento mediante un índice, cuyo valor indica lo siguiente: menor de 0,5 baja calidad, igual a 1 compost estándar y encima de 1 superior al material comparado, siendo un producto de muy alta calidad el que obtenga un valor mayor a 2. El más alto valor lo obtuvo el compost procedente del tratamiento 1(2,16) seguido en orden decreciente por el tres (2,03), dos (1,99), cuatro (1,08), seis (1,04) y cinco (1,01).

Un punto a resaltar es la conductividad eléctrica ya que la cebolla es medianamente tolerante al contenido de sales disueltas (Basaure, 2005), esto significa que los abonos se deben utilizar en pocas cantidades para no provocar toxicidad por salinidad. Sullivan y Miller (2001) recomiendan para compost con conductividad elevada reducir la proporción que se incorpora a los medios de crecimiento de las plantas.

Tabla 4: Comparación de los resultados de los análisis realizados a los tratamientos montados en Aquitania con los valores exigidos por la normatividad colombiana.

Composición	Unidad	Tratamientos						NTC 5167/04
		1	2	3	4	5	6	
Test de fitotoxicidad								
Porcentaje germinación <i>P</i> = 0,033	%	90 c	85 c	96 b, c	134 a	131 a, b	134 a	-----
Índice germinación		1,15	1,03	0,96	3,24	2,7	2,16	-----
Densidad Aparente	g mL ⁻¹	0,33	0,29	0,31	0,34	0,18	0,32	< 0,6
Cenizas	%	35	33,8	54	47,8	46,1	55,4	< 60
Perdidas volatilización	%	52,8	56,60	38,40	46,40	44,10	38,90	-----
C.E	mS cm ⁻¹	17,4	13,1	12,9	6,9	7,5	8,7	-----
Retención Humedad	%	128,1	151,8	147,8	125,2	115,1	110,3	Su propio peso
C.I.C	meq 100 g ⁻¹	62,00	70,80	64,90	62,90	42,70	45,30	> 30
C/N		10,9	10,9	14,3	18,8	18	15,9	< 25
Carbono orgánico	%	19,97	19,56	24,38	19,10	19,45	17,41	> 15
Nitrógeno <i>P</i> =0,0001	%	1,83 a	1,79 a, b	1,70 b	1,02 c	1,08 c	1,10 c	Declarar si son > 1%
Fósforo (P2O5) <i>P</i> =0,0013	%	2,51 a	2,29 a	2,34 a	0,85 b	0,67 b	0,71 b	
Potasio (K2O) <i>P</i> = 0,0002	%	2,31 a	2,08 a	2,24 a	1,47 b	1,37 b	1,41 b	
Metales pesados								
Arsénico	mg/kg	< 5	< 5	< 5	<5	<5	<5	0-41
Cadmio	mg/kg	0,16	0,2	0,2	0,22	0,16	0,25	0-39
Cromo	mg/kg	10,8	92	9	12,4	11,1	14,8	0-1200
Mercurio	mg/kg	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	0-17
Níquel	mg/kg	5,3	6,1	6,2	5,4	3,9	4,6	0-420
Plomo	mg/kg	4,5	5	5,3	10,8	6,7	8,1	0-300
Impurezas								
Plástico, metal, caucho > 2 mm	%	0	0	0	0	0	0	< 0,2
Vidrio > 2 mm	%	0	0	0	0	0	0	<0,02
Piedras > 5 mm	%	0	0	0	0	0	0	< 2
Vidrio > 16 mm	Detección	No	No	No	No	No	No	No
Patógenos humanos								
<i>Salmonella</i> sp.	UFC g ⁻¹	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausencia 25 g
Coliformes totales	UFC g ⁻¹	800	310	2800	540	340	6300	< 1000 UFC g ⁻¹

Los datos representan promedios de dos replicas. Las letras muestran los niveles de la prueba de rango múltiple de Duncan, donde letras iguales indican promedios estadísticamente iguales. El primer nivel está representado por la letra a

A medida que ocurre el proceso de degradación la relación carbono/nitrógeno baja (Iranzo *et al.*, 2004; Abaunza *et al.*, 2008) y lo ideal es que al final este entre 10-12 ya que valores inferiores tendrían altas concentraciones de amonio, perjudiciales para los cultivos (Muñoz, 1994). En esta investigación todos los compost están por encima de 10 y serían ideales los abonos de los tratamientos 1 y 2 (Tabla 4).

Todos los tratamientos obtuvieron valores dentro de los límites permitidos por la norma colombiana para metales pesados e impurezas (Tabla 4) y al comparar con normas internacionales también estuvieron dentro de los rangos exigidos por los diferentes países consultados (Washington State Department of Ecology, 1994; Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2005; Ge *et al.*, 2006). En el caso de Canadá obtendrían la máxima calidad (Categoría A tipo AA) al presentar menos de 0.01 % de impurezas en peso seco y por estar los metales pesados dentro de los valores exigidos para esta categoría (Ge *et al.*, 2006). En Canadá las impurezas se definen como cualquier material orgánico e inorgánico superior a 2 mm presente en el compost excluyendo minerales del suelo, maderas y rocas (Ge *et al.*, 2006).

La mayoría de tratamientos no presentaron patógenos humanos por encima de los límites permitidos, a excepción del 3 y 6 con relación a coliformes totales (Tabla 4). Hay que tener en cuenta que *Salmonella* sp. y Coliformes totales son indicadores de contaminación y procesos incompletos de compostaje (Ge *et al.*, 2006). Por otro lado ningún compost debe presentar patógenos para los cultivos de acuerdo con la normatividad colombiana (ICONTEC, 2004); sin embargo, los tratamientos 4, 5 y 6 presentaron concentraciones de *Fusarium* sp., entre 10^3 y 10^4 UFC g⁻¹. En todos los tratamientos hubo ausencia de nematodos patógenos, resultado interesante para los compostajes que no alcanzaron temperaturas por encima de 55 °C, si se tiene en cuenta que Hio (2006) encontró en los cultivos de cebolla de Aquitania, altas concentraciones de *Ditylenchus dipsaci*, nematodo que ataca raíz y tallo de la cebolla ocasionando pérdidas por encima del 50 %.

Conclusiones

El compostaje con inóculos microbianos es una alternativa viable y segura para el manejo de residuos del cultivo de cebolla en sub-páramo; siendo el compost proveniente de la mezcla de todos los residuos inoculados con MCPA (T1) el que presentó las mejores características nutricionales y biológicas al cumplir con todos los parámetros de calidad a diferencia de los otros tratamientos, lo que permite su utilización en el cultivo de cebolla dentro del concepto de desarrollo sostenible.

Agradecimientos. Al Ministerio de Relaciones Exteriores de Holanda dentro del “Programa de Innovación Participativa con Pequeños Productores de la Región Andina” por el financiamiento

de esta investigación como parte del proyecto “Desarrollo participativo de alternativas de producción limpia de cebolla de rama para el manejo y uso sostenible de suelos y aguas en la región de la cuenca del lago de Tota, Departamento de Boyacá, Colombia”.

Referencias bibliográficas

- Abaunza C., García G., Martínez-Nieto P., Pinto C.O. (2008) *Incorporación de prácticas agroecológicas en los principales sistemas de producción de la localidad de Santa Fe, Distrito Capital*. Produmedios, Bogotá, 125 pp.
- Alcaldía Municipal de Aquitania. (2008) *Uso actual del suelo*.
http://www.aquitania.gov.co/archivos/paginas/medio_ambiente.html
- Basauré, P. (2005) *pH en Hortalizas - Tolerancias Relativas*.
<http://www.manualdelombricultura.com/wwwboard/messages/9529.html>
- Cereijo D., Ferro J., Villar I., Rodríguez - Abalde A., Mato S., Domínguez - Domínguez M. y Patino F. (2007) Estudio comparativo sobre la aptitud para el compostaje de la fracción orgánica de RSU separada en origen y la recuperada por separación mecánica a partir de la fracción inerte. *Residuos*, **98**, 2-8.
- Clarkson J. P., Scruby A., Mead A., Wright C., Smith B. and Whipps J. M. (2006) Integrated control of *Allium* white rot with *Trichoderma viride*, tebuconazole and composted onion waste. *Plant Pathology*, **55**(3), 375–386.
- Cooperación técnica alemana (GTZ). (2001) *De residuos verdes al compost. Manual para el compostaje de Residuos vegetales*. Tecnigráfica, Rosario, 48 pp.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, 2002. *Primer censo del cultivo de cebolla larga 2001 – Región de la Laguna de Tota*. Bogotá, 24 pp.
- Fernández J. y Castellá M. (2010) *El compost, temperatura y humedad*.
<http://www.compostadores.com/v3/castellano/articulos/detalles.asp?ArticulosID=31>
- Freeman, S. and Maymon, M. (2000) Reliable Detection of the Fungal Pathogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*, Causal Agent of Bayoud Disease of Date Palm, Using Molecular Techniques. *Phytoparasitica*, **28**(4):1-8.
- Ge B., McCartney D. and Zeb J. (2006) Compost environmental protection standards in Canada. *Journal of Environmental Engineering and Science*, **5**, 221–234.
- Gómez, C. A. 2007. Agricultura orgánica posible: Preparación de extracto de mantillo. *El agrónomo*.
<http://agronomord.blogspot.com/2008/01/agricultura-orgnica-posible-iv.html>
- Hio J. C. (2006) Las enfermedades más limitantes en la producción de cebolla de rama (*Allium fistulosum*) en Aquitania (Boyacá), en *Avances de resultados de investigación en cebolla de rama en Aquitania, Boyacá*, Herrera C.; Sánchez G. y Peña, V. Editores, Produmedios, Bogotá, 41-48.
- Hogg D., Barth J., Favoino E., Centemero M., Caimi V., Amlinger F., Devliegher W., Brinton W., Antler S. (2002) *Review of Compost Standards in Australia*. The Waste and Resources Action Programmer (WRAP), Banbury, 11 pp.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2004) *Norma Técnica Colombiana 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. Ediciones ICONTEC, Bogotá, 40 pp.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile. (2005) *Norma Chilena Oficial NCh 2880. Of 2004: Compost, clasificación y requisitos*. Santiago, 19 pp.
- Iranzo M., Cañizares J. V., Roca-Pérez L., Sainz-Pardo I., Mormeneo S. and Boluda, R. (2004) Characteristics of rice straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain). *Bioresource Technology*, **95**(1), 107-112.
- Li H.F., Imai T., Ukita M., Sekine M. and Higuchi T. (2004) Compost Stability Assessment Using a Secondary Metabolite: Geosmin. *Environmental Technology*, **25**(11), 1305-1312.

- Luo W., Chen T.B., Zheng G.D., Gao D., Zhang Y.A. and Gao W. (2008) Effect of moisture adjustments on vertical temperature distribution during forced-aeration static-pile composting of sewage sludge. *Resources, Conservation and Recycling*, **52**(4), 635-642.
- Martínez-Nieto P. (2006) Compostaje de elodea, Residuos de cebolla y gallinaza. En *Avances de resultados de investigación en cebolla de rama en Aquitania, Boyacá*. Herrera C.; Sánchez G. y Peña V. Editores, Produmedios, Bogotá, 27-40.
- Martínez-Nieto P. (2007) *Producción de bioabono a partir de jacinto de agua y elodea brasilera en la laguna de Fúquene II fase*. II Informe de avance. Fundación Humedales (FH). Convenio INCODER-FH 015-2007. 15 pp.
- Martínez-Nieto P. (2009) *Implementación de estrategias productivas que contribuyan al bienestar de las comunidades locales de la laguna de Fúquene y la promoción de la conservación de su ecosistema (Colombia). Componente: bioabono*. Informe Final Consultor Microbiología. Convenio FH-Corporación Andina de Fomento (CAF). 56 p
- Martínez R. M., Miglierina, A. M., Luna M., Konijnenburg A. y Pellejero, G. (2008) Evaluación del Compostaje de los Residuos del Procesamiento de la Cebolla. *Revista Pilquen*, **9**, 1-8.
- Moreno J., Moral, R. (2008) *Compostaje*. Mundi-Prensa libros, S.A. Madrid, 570 pp.
- Muñoz, R. 1994. Los abonos orgánicos y su uso en la agricultura. En *Fertilidad de suelos. Diagnostico y control*. Silva F. Editor. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, 293-304.
- Palacios C. H. 2007. *Plan de negocios para la elaboración de abonos orgánicos a partir de buchón y elodea presentes en la laguna de Fúquene*. Tesis pregrado Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes. Bogotá, 133 pp.
- Renjifo L. M, Franco A. M., Amaya J. D., Catan G. H., López B. 2002. Libro rojo de Aves de Colombia. 253 p.
- Rodríguez, H. H. (2005) *Dramática radiografía del lago de Tota*. Periódico El Tiempo, Bogotá.
- Sullivan D y Miller R. (2001) Compost Quality attributes. En: *Compost Utilization in horticultural cropping systems*. Stofella P. and Khan B. Editores, Lewis Publishers, Boca Raton, 96-121.
- Trautmann, N. y Krasny, M. E. (1997) *Composting in the classroom*. Nature Science Foundation, Cornell Waste Management Institute and Cornell Center for the Environment, New York, 116 pp.
- Valera, N.C. 2006. Cosecha y Pos cosecha cebolla de rama. En *Avances de resultados de investigación en cebolla de rama en Aquitania, Boyacá*. Herrera C.; Sánchez G. y Peña V. Editores, Produmedios, Bogotá, 49-55.
- Varnero M. T., Rojas C., Orellana R. (2007) Índices de Fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **7**(1), 28-37.
- Washington State Department of Ecology. (1994) *Interim guidelines for compost quality*. Solid Waste Services Program, Washington, 74 pp.
- Washington State University. (2009) *Compost Fundamentals*.
http://whatcom.wsu.edu/ag/compost/fundamentals/needs_carbon_nitrogen.htm