

Selección de sistemas agroambientales con potencial uso de compost de biorresiduos municipales

Agroenvironmental systems selection for using compost from municipal biowastes

*Martha Constanza Daza-Torres¹, Edgar Ricardo Oviedo-Ocaña²,
Luis Fernando Marmolejo-Rebellón³ y Patricia Torres-Lozada³*

Universidad del Valle, Cali, Colombia. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR. Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos y Desarrollo de Suelos - IREHISA. ² Universidad Industrial de Santander, Colombia. Escuela de Ingeniería Civil. Grupo de predicción y modelamiento hidrológico – GPH. ³ Universidad del Valle, Cali, Colombia. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR. Grupo Estudio y Control de la Contaminación Ambiental - ECCA. Cali – Colombia. Autora para correspondencia: martha.daza@correounivalle.edu.co

Rec.:11.06.2014 Acep.: 09.09.2014

Resumen

Los biorresiduos constituyen la mayor fracción de los residuos sólidos municipales (RSM). El compostaje es una opción promisoría para su manejo, ya que genera un producto (compost) de valor agronómico que ayuda a conservar las propiedades del suelo. La previa selección de Sistemas Agroambientales (SA) con potencial para el uso de este subproducto, permite orientar el proceso de compostaje hacia la generación de un material que satisfaga los requerimientos de calidad de estos sistemas. En este estudio se evaluó la aplicación de una propuesta metodológica para la selección de los SA, la cual incorpora variables ambientales, técnicas, socioeconómicas e institucionales. La aplicación se realizó en el municipio de Versalles, departamento del Valle del Cauca, Colombia, que cuenta con una planta de compostaje de biorresiduos. El estudio permitió identificar, en su orden, el cultivo de café, áreas con pasturas dedicadas a la ganadería y las áreas degradadas, como los SA con mayor potencial para la aplicación de este compost en la zona de estudio. La aplicación de la herramienta puede permitir a los operadores de las instalaciones del compostaje de biorresiduos la planeación estratégica del proceso, contribuyendo a su mejoramiento y sostenibilidad.

Palabras clave: Aprovechamiento, compostaje, indicadores ambientales, sostenibilidad.

Abstract

Municipal Biowastes (MBs) represent the biggest fraction of Municipal Solid Waste (MSW). Composting is a promising alternative for its management, due to its ability to produce a stabilized product (compost) with agronomic value that helps to keep soil properties. Prior selection of Agro-environmental Systems (AS) with potential to use the compost allows addressing the composting process aiming at the production of a material that fulfills the quality requirements of AS. This paper evaluates the implementation of a methodology in order to select AS, considering environmental, technical, socio-economic and institutional variables. The study was carried out in a municipality of Valle del Cauca Department - Colombia, which has a Solid Waste Management Plant (SWMP) with a composting process for the treatment of MBs. The results permitted to identify SA with higher potential to use compost from MB, which were: coffee, livestock grassland, and degraded land. The proposed methodology application might allow operators from biowaste composting setting up, strategic planning processes, contributing with its improvement and sustainability.

Keywords: Using, Composting, environmental indicators, sustainability.

Introducción

Los biorresiduos son la mayor fracción de los residuos sólidos municipales (RSM) y entre los residuos residenciales son los de mayor potencial de contaminación ambiental (Slater y Frederickson, 2001). La necesidad de reducir la generación de gases de efecto invernadero y lixiviados en rellenos sanitarios, reciclar nutrientes, aportar materia orgánica al suelo (MOS) y minimizar el uso de fertilizantes de síntesis en la agricultura, han posicionado la implementación de opciones para el tratamiento de estos residuos (Díaz *et al.*, 2007).

El compostaje es una de las opciones de mayor aplicación y efectividad para el tratamiento de los biorresiduos (Levis *et al.*, 2010); el producto puede ser aplicado como acondicionador y enmienda orgánica de suelos y fuente de nitrógeno y fósforo en Sistemas Agroambientales (SA), que incluyen actividades agrícolas, pecuarias, forestales, misceláneas (áreas erosionadas para recuperación) y ornamentales (Odlare *et al.*, 2011). Cada uno de los SA tiene requerimientos de calidad del producto que se pueden alcanzar mediante acondicionamientos en la calidad de la materia prima y en la operación y monitoreo del proceso (Tiquia, 2005), por lo cual es fundamental identificar los SA con mayor potencial para el uso del producto final.

Investigaciones realizadas en países en desarrollo (Zurbrügg *et al.*, 2005; Barreira *et al.*, 2006; Ekelund y Nyström, 2007; Marmolejo, 2011) muestran que el compostaje de biorresiduos no ha sido efectivo debido a aspectos como la generación de productos que no cumplen los estándares de calidad ni satisfacen los requerimientos de los SA. En estudios previos (Daza *et al.*, 2011) se propuso una metodología con el propósito de seleccionar los SA con mayor potencial para usar el compost producido durante el proceso de compostaje, de manera que se oriente el proceso hacia la generación de productos con criterios de calidad necesarios para estos sistemas. Uno de los retos para la aplicación de la metodología es su validación en diferentes contextos y el mejoramiento de los criterios de decisión establecidos.

En este estudio se aplicó y validó la metodología propuesta por Daza *et al.* (2011) para seleccionar los SA con mayor potencial para la aplicación del compost de biorresiduos generado en el municipio de Versalles, departamento del Valle del Cauca, Colombia.

Materiales y métodos

Propuesta metodológica. En la metodología se consideran variables ambientales, técnicas, socioeconómicas e institucionales y trece indicadores que se evalúan cuantitativa y cualitativamente. En la selección de los SA se emplearon técnicas multicriterio que permiten ponderar variables e indicadores acordes con las condiciones particulares de la localidad. La toma de decisiones se hizo aplicando el Modelo de Suma Ponderada (MSP) (Aznar y Guijarro, 2005) (Cuadro 1).

La discusión y la evaluación se realizaron mediante la técnica de panel de expertos y el trabajo con grupos focales en la localidad objeto de estudio, lo que permitió la asignación de las ponderaciones de las variables, fijando mayor peso a la ambiental (40%) y 20% a cada una de las otras tres variables. Cada variable considera indicadores que también son valorados de acuerdo con su relevancia, definida por el panel de expertos. Una ampliación de la descripción de cada variable e indicador puede ser consultada en Daza *et al.* (2011).

Descripción del caso de estudio. El municipio de Versalles tiene 3.276 habitantes urbanos y está localizado en el noroeste del departamento del Valle del Cauca, a 220 km de Santiago de Cali, a 1860 m.s.n.m. y sus principales actividades económicas son agrícolas y pecuarias. Para la instalación de compostaje se consideraron 6.20 Mg semanales de biorresiduos.

Caracterización y delimitación de los SA. Para la aplicación de esta herramienta se delimitó el área de estudio considerando las veredas con información disponible, fácil acceso y localizadas a distancias menores de 20 km de la cabecera municipal, lo que facilitaría la comercialización del compost.

Cuadro 1. Indicadores y ponderación propuestos en la herramienta de selección de los sistemas agroambientales (SA). Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

Porc*	Variable	Porc.**	Indicadores	Medición	Valores posibles	Valor deseado
40	Ambiental	40	SA susceptibles de erosión	Nivel de MOS	0<MOS≤4	MOS≤4
		30	SA que inducen degradación biológica	Actividad Microbiana (AB)	Ninguna Muy baja Baja Moderada Ideal	Ninguna
		30	SA en conflicto de uso de tierra	Conflicto de uso (CU)	sin CU Subutilización Sobreutilización	Sobreutilización
20	Técnica	60	Cantidad requerida por el SA	Veces de cantidad requerida (CR)	CR > 0	CR ≥ 2
		40	Capacidad del SA de generar enmiendas	Cumplimiento para generar enmiendas	Cumple, No cumple	Cumple
20	Socioeconómica	20	Sostenibilidad Económica	SE= Disponibilidad a pagar / costo producto	SE > 0	SE ≥ 1
		20	Acceso al SA	Tipo de vía acceso	Pavimentada Afirmado Carreteable Trocha No existe	Pavimentada
		20	Distancia al SA	Distancia al SA (D)	D ≥ 0	D < 5 km
		20	Tenencia de la tierra (TT)	TT= (No propietarios sistema) / (No de predios en el SA)	TT ≥ 0	TT=100%
		20	Extensión del SA (ESA)	ESA= Área SA/ Área localidad	ESA >0	ESA ≥ 50%
		20	Institucional	30	Presencia de organizaciones	% organizaciones activas (OA) en SA
40	Aceptación uso del compost			% organizaciones que aceptan producto (A)	A >=0	A >= 80%
30	Interés institucional (II) en uso del SA			II= presup. SA / mayor presup. de los SA	II>=0	II = 1.0

* Porcentaje de ponderación para cada variable. **Porcentaje de ponderación para cada indicador. SA: Sistema de uso (cultivo y área degradada). MOS: Materia orgánica en el suelo.

A través de observaciones in situ, entrevistas y construcción de mapas con actores clave, se identificaron actividades agropecuarias, agroforestales y niveles de degradación del suelo, y se analizaron reportes sobre prácticas agropecuarias, áreas y tipo de cultivos, uso de suelo y situación

ambiental. Para la delimitación de los SA se validó la información en talleres con actores locales y se consideraron sectores productivos estratégicos del gobierno municipal y los programas de preservación de cuencas expuestos en el Plan Municipal de Desarrollo 2008-2011 (PMD, 2008).

Aplicación de propuesta metodológica. Para la propuesta se hizo el levantamiento y análisis de la información específica de los SA delimitados; en el Cuadro 2 se presentan los métodos para la aplicación de

indicadores. Los resultados de la aplicación de la propuesta se contrastaron con literatura técnica y científica y se discutieron con funcionarios del municipio, lo que facilitó la incorporación de los ajustes a la misma.

Cuadro 2. Métodos para aplicación de indicadores de la propuesta metodológica. Compostaje de biorresiduos. Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

Variable	Indicadores	Medición	Método
Ambientales	SA* susceptibles de erosión.	Nivel de MOS**.	Toma y análisis de muestra de suelo ¹ .
	SA que inducen degradación biológica.	Actividad Microbiana.	
	SA en conflicto de uso de tierra.	Conflicto de uso del suelo.	Análisis cartográfico y de información secundaria.
Técnicas	Cantidad requerida por el SA.	Veces de cantidad requerida.	Análisis calidad del compost y revisión requerimiento SA ² .
	Capacidad del SA de generar potenciales enmiendas.	Cumplimiento generación enmiendas.	
Socioeconómicas	Acceso al SA.	Tipo de vía de acceso.	Revisión cartográfica, visitas de inspección, entrevistas.
	Distancia al SA.	Distancia al SA.	
	Tenencia de la tierra en SA.	Propietarios SA.	
	Extensión del SA.	Área SA.	
Institucionales	Presencia de organizaciones en los SA.	Organizaciones activas en el SA.	Entrevistas y sondeos con potenciales usuarios
	Aceptación del compost por organizaciones del SA.	Organizaciones del SA que aceptan el producto.	
	Interés institucional en uso y conservación del SA.	Presupuesto de cada uno de los SA.	

¹IGAC, (2006); ²Icontec (2004). *SA = Sistema Agroambiental; **MOS= materia orgánica del suelo.

Resultados y discusión

Caracterización de los SA en la zona de estudio

Sistema agrícola. Este sistema está representado por cultivos transitorios (frijol y maíz), hortalizas (cilantro, habichuela, pimentón, tomate, repollo y zapallo), raíces, bulbos y tubérculos (arracacha y yuca), permanentes (café y caña panelera) y frutales (banano, granadilla, lulo, maracuyá, mora y tomate de árbol).

Sistema pecuario. Está integrado por ganadería bovina (14,192 cabezas, en 2009). Se estima que 14,044 de las 19,628 ha en ganadería corresponden a pasturas, principalmente, pasto natural (espartillo), mejorado (brachiaria), de corte (maralfalfa

y caña forrajera) y sistemas silvopastoriles (Gobernación del Valle del Cauca, 2011).

Sistema forestal y recuperación de suelos. La conservación y reforestación de las cuencas hidrográficas Cristalina, Golondrinas y Patuma, que son fuente de abastecimiento de agua a la población urbana, constituyen uno de los SA fundamentales para el desarrollo municipal. Estas cuencas vienen presentando pérdida de fertilidad de los suelos y erosión de las coberturas boscosas por inadecuadas prácticas agropecuarias (PMD 2008-2011, 2008; UDR, 2010).

Delimitación de los SA en la zona de estudio. Los sistemas agrícolas con cultivos de café y granadilla son los más importantes en la zona. El primero representa 58.21% del área total cultivada en el municipio, y el segundo el 1.56% (UDR, 2010); no obstante,

la producción de granadilla ha decaído por la presencia de plagas y enfermedades (Giraldo, 2003). La caña panelera, el plátano y el banano no son cultivados en la zona de estudio y por lo tanto no fueron considerados. El lulo de Castilla representa 1.25% del área total cultivada, pero su producción se realiza con insumos de síntesis química, restringiendo la aplicación de productos orgánicos. La mora se cultiva en 12 ha y es otro frutal representativo en la zona de estudio y cuenta con respaldo institucional para su desarrollo (UDR, 2010).

La horticultura, representada en ají, arveja, cilantro, habichuela, pimentón, tomate, repollo y zapallo (1.57%) constituye un porcentaje bajo del área cultivada (UDR, 2010) y su producción se hace a pequeña escala; la diversidad de plantas y los requerimientos variados de calidad del compost limitan su uso en estos cultivos.

El desarrollo pecuario, representado por la ganadería bovina, es importante en la economía municipal y se encuentra establecido en el 71% del área total del municipio (Gobernación Valle del Cauca, 2011), siendo estratégica su consideración en la selección de los SA. De otro lado, las pérdidas de la MOS en las cuencas Golondrinas y Patuma han inducido los mayores problemas de fertilidad y erosión en la región. La importancia de estas áreas para la disponibilidad de recurso hídrico, amerita abordarlas para contribuir con su conservación.

Teniendo en cuenta los factores identificados en la zona de estudio y el interés municipal por impulsar ciertos productos agropecuarios y conservar las cuencas hidrográficas, los SA delimitados en el presente estudio fueron los cultivos de café y mora, las pasturas en sistemas de ganadería extensiva y las áreas degradadas (AD) con problemas de erosión, producto de una intensa actividad agrícola y pecuaria.

Aplicación de la propuesta metodológica

Variables ambientales. Se evaluaron los SA susceptibles a la erosión, que inducen degradación biológica y presentan conflictos de usos de tierra. En los SA susceptibles a la erosión se privilegió el uso del compost

en los sistemas que presentan el mayor deterioro (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de MOS en los sistemas agroambientales (SA). Municipio de Versailles, Valle del Cauca, Colombia.

SA	MOS (%) ^a	Rango MOS (%)
Mora	3.35	2.67 – 3.91
Café	1.55	0.34 – 3.58
Ganadería	2.16	1.59 – 2.90
AD	3.31	3.0 – 3.8

a. Promedio de MOS (Materia Orgánica en Suelo) en tres lotes de cada sistema.

El cultivo de café y la ganadería presentaron el menor contenido de MOS. En el primero su localización en zonas de alta pendiente y el uso de variedades de libre exposición favorecen la erosión (Quiroz e Hincapié, 2007); en los sistemas de ganadería, el pisoteo constante de los animales favorece la compactación que restringe el crecimiento de las plantas y reduce el aporte de MOS.

En el cultivo de mora y en las áreas degradadas, contrario a lo esperado, se presentaron los mayores contenidos de MOS. En el primer caso fue debido a que este cultivo es perenne y permite la presencia de arvenses, lo que favorece la cobertura del suelo, lo cual resulta en mayor aporte de MOS y reducción de la erosión. En las áreas degradadas, los suelos se dedican a actividades agropecuarias con tiempos de descanso más o menos largos, lo que permite la recuperación lenta de sus condiciones de fertilidad y de actividad microbiana que favorecen la MOS (Blagodatsky *et al.*, 2010).

La actividad microbiana es un indicador de la salud del suelo, ya que los microorganismos participan en la mineralización e inmovilización de formas orgánicas e inorgánicas de diferentes elementos y por tanto en su disponibilidad en las cadenas tróficas (Moebius-Clune *et al.*, 2011; Bedano *et al.*, 2011). Esta variable permitió caracterizar los SA que inducen degradación biológica (Cuadro 4) y mostró que en todos los casos esta actividad era óptima. Sin embargo, es de resaltar que la escala utilizada corresponde a suelos de zonas templadas y parece indicar que no son

muy apropiadas para el estudio de la actividad microbiana en suelos tropicales.

El uso de la tierra mostró conflictos debido a la localización de SA en zonas agroecológicas no apropiadas. Esta clasificación presentó áreas con conflicto de uso

(subutilización, sobreutilización) y sin conflicto. En el área de estudio se identificó que 18.7% de los suelos no presentan conflicto, mientras que 81.3% presentan conflictos por sobreutilización en niveles bajo (17.9%), medio (42.3%) y alto a muy alto (21.1%).

Cuadro 4. Actividad microbiana y biológica en suelos de sistemas agroambientales (SA). Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

SA	Actividad microbiana (Kg C-CO ₂ /Ha-día)	Intervalo de actividad microbiana B (Kg C-CO ₂ /Ha-día)	Actividad biológica
Mora	57.74	46.3 – 76.6	Ideal
Café	56.90	53.3 – 61.0	Ideal
Ganadería	69.12	66.6 – 71.4	Ideal
AD	53.52	45.5 – 64.8	Ideal

Rangos de actividad biológica (kg CO₂ C/ha por día) (USDA 1999): **0 a 2**, ninguna; **2 a 11**, muy baja; **11 a 18**, baja; **18 a 36**, Moderada; **36 a 70**, Ideal; **y mayor de 70**, inusualmente alta. AD: área degradada. Valores promedio de cinco fincas productoras según mediciones siguiendo la metodología de (USDA, 1999).

La sobreexplotación ganadera y el cultivo de café en áreas con vocación agroforestal son los sistemas con mayor conflicto de uso. Las áreas degradadas son el resultado combinado de los conflictos de uso y la situación de cultivos en zonas de ladera, donde es indispensable el uso de coberturas; en el cultivo de mora, por el contrario, no se observaron conflictos en el manejo del suelo.

Variables técnicas. Dentro de estas variables se consideraron la cantidad de

compost requerida por los SA y la generación de potenciales materiales de enmienda. La primera se estimó teniendo en cuenta tanto los requerimientos de nitrógeno del sistema, por ser este elemento esencial en la nutrición vegetal, como el área dedicada al mismo. Para esta estimación se tuvieron en cuenta los métodos y épocas de aplicación de compost para cada sistema (Cuadro 5).

Cuadro 5. Requerimientos de nitrógeno y frecuencias de aplicación para sistemas agroambientales (SA). Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

SA	Área (ha)	N requerido (kg/ha -año)	Requerimiento de producto (Mg/ha -año)	Cantidad requerida de compost (Mg/año)	Cantidad requerida (veces)
Mora	9.92	120 ^a	25	248	3
Café	483.3	300 ^b	5	2417	31
Ganadería	2174.2	350 ^c	3	6523	85
AD	1919.6	25 ^d	30	57588	748

Fuente: a. Franco y Giraldo, (2002), b. Cenicafé, (2012), c. Cuesta et al., (2002), d. Colombia Ministerio de Agricultura, (2003). AD: área degradada.

Se consideró que las áreas degradadas y los sistemas ganaderos requieren mayores cantidades de compost debido a su alta demanda de nitrógeno, baja producción de biomasa y aporte de MOS y su mayor extensión

en la zona de estudio. No obstante, debido a la baja producción anual de compost (1.5 Mg/mes) y a la cantidad requerida por cada sistema de uso del suelo, el compost producido no fue suficiente para suplir la demanda.

Por otra parte, las características de los biorresiduos (Cuadro 6) mostraron que, la humedad (> 82%) fue mayor a la recomendada (60%) (Agnew y Leonard, 2003; Chiu-menti *et al.*, 2005) y este exceso impidió la difusión de oxígeno debido a la saturación de los poros. La relación C/N (22 – 26) fue inferior a la recomendada para el compostaje (25-30) (Haug, 1993; Dulac, 2001) y

el contenido de carbono fue deficiente (De Guardia *et al.*, 2008). En el Cuadro 7 se observa que en los SA se genera una diversidad de materiales con un buen contenido de carbono que podrían servir como enmienda para suplir el déficit de los biorresiduos y los más recomendables son aquellos que contribuyen a reducir la humedad de la materia prima.

Cuadro 6. Características de los sustratos del proceso de compostaje. Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

Características	Unidad	Rango de valores
Humedad	%	82.00 – 85.40
Carbono orgánico oxidable	%	33.02 – 40.79
Nitrógeno total	%	1.28 – 1.87
C/N	--	21.8 – 25.8

Fuente: Marmolejo, 2011.

Cuadro 7. Relación C/N de residuos generados en los sistemas agroambientales (SA). Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

SA	Residuos	N Total (%)	C/N
Mora	Fruta ^a	1.52	34.8
	Poda y hojas ^b	0.5 – 1.0	40 – 80
Ganadería	Estiércol bovino ^b	1 – 4	30 – 40
Café	Vástago, hojas y cáscara de plátano ^c	0.3 – 1.4	45 – 68
AD	Pasto en descomposición ^a	2.15	20 - 40

Fuentes: a: Tchobanoglous *et al.*, 1993; b: Burbano, 1989; c. Henao *et al.*, 2002. AD: área degradada.

VARIABLES SOCIOECONÓMICAS. En estas variables se consideraron la distancia y el acceso a los SA, así como la extensión del sistema y la forma de tenencia de la tierra. No fue posible aplicar el indicador “*disponibilidad de los usuarios para pagar por el producto*”, debido a la negativa de la población encuestada para suministrar información económica, lo que hizo necesario realizar una redistribución de las ponderaciones entre los demás indicadores.

El tipo de carretable y las facilidades de acceso y menores distancias para la comercialización del compost no inciden significativamente en la selección del producto

(Cuadro 8). La extensión del sistema agrícola o pecuario representó de manera indirecta la importancia que tiene dicho sistema en la actividad económica y/o ambiental de la localidad, y la necesidad de mantener sus funciones de producción o conservación. (Cuadro 9).

La distribución de la tenencia de la tierra indica, de manera indirecta, el interés que puede tener el productor, bien sea propietario o arrendador, en desarrollar prácticas de conservación de los suelos y en la intensificación de las actividades del sistema. En consulta con la Unidad de Desarrollo Rural (UDR) del municipio de Ver-

salles, todos los predios visitados se caracterizaban porque la tenencia de la tierra era de propietarios; por tanto, este indicador no presentó incidencia en la selección del SA.

Variables institucionales. Se midieron teniendo en cuenta la presencia de organi-

zaciones en los sistemas de explotación, la aceptación de los productores en la aplicación de compost en sus fincas y el interés de la administración municipal por impulsar esta práctica (Cuadro 10).

Cuadro 8. Distancias y acceso a los sistemas agroambientales (SA) en estudio. Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

SA	Distancia (km)	Tipo de acceso
Mora	3	Pavimentada
Café	4	Carreteable
Ganadería	6	Carreteable
AD	8	Carreteable

AD: área degradada.

Cuadro 9. Extensión de los sistemas agroambientales (SA) en el área de estudio. Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

SA	Extensión (ha)	Proporción en el municipio (%)
Mora	9.92	0.05
Café	483.30	2.42
Ganadería	2174.20	10.88
AD	1919.60	9.61

AD: área degradada.

Cuadro 10. Presencia de organizaciones en los sistemas agroambientales (SA). Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.

SA	Número de organizaciones	Proporción con mayor área (%)
Mora	1	25
Café	3	75
Ganadería	4	100
AD	3	75

AD: área degradada.

El interés de las instituciones por el uso de compost y la aceptación y promoción de este tipo de material por parte de las organizaciones agropecuarias pueden incrementar la demanda del producto (Cuadro 11). Entre ellas, la ganadería tiene la mayor representación y puede facilitar la transferencia de tecnología y la promoción de prácticas conservacionistas del suelo, el agua y la

biodiversidad. En el caso del cultivo de café, organizaciones como el Comité de Cafeteros están interesadas en incrementar la producción empleando materiales como compost, y en las áreas degradadas, organizaciones como la Corporación Ambiental del Departamento del Valle del Cauca, la empresa de servicios públicos y la administración municipal, manifestaron interés en realizar

proyectos que preserven las condiciones de las cuencas.

No obstante, la ganadería presentó la más baja aceptación del compost, lo que puede ser debido a que en las áreas de pastoreo los procesos erosivos suceden de manera gradual y zonificada, lo que hace que los ganaderos no perciban suficientemente la necesidad de mejoramiento de las pasturas y de cambios en el manejo hacia una producción agropecuaria sostenible (Thompson y Nardone, 1999). En el caso de las AD, el interés del municipio por

adquirir y recuperar las zonas localizadas en las microcuencas abastecedoras de agua y el beneficio potencial del uso del compost cumpliendo con las normas sanitarias y ambientales, generan un mercado posible para el producto. En el Cuadro 12 se incluye el presupuesto destinado por la administración municipal a los sistemas agropecuarios, donde se observa que la conservación de cuencas, la rehabilitación de áreas degradadas y el mejoramiento de sistemas agrícolas tienen los mayores recursos.

Cuadro 11. Aceptación del compost en los sistemas agroambientales (SA). Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.SA.

SA	Percepción UDR	Sondeo	Aceptación
Mora	Sí	Sí	Sí
Café	Sí	Sí	Sí
Ganadería	No	No	No
AD	No	Sí	Sí

AD: área degradada. UDR: Unidad de Desarrollo Rural.

Cuadro 12. Presupuesto municipal asignado a los sistemas agroambientales (SA). Municipio de Versalles, Valle del Cauca, Colombia.SA.

SA	Presupuesto (\$Col.)	Proporción relativa
Mora	2,930,000	0.3
Café	7,299,000	0.8
Ganadería	1,640,000	0.2
AD	8,930,000	1.0

AD: área degradada.

Sistemas seleccionados y análisis de la aplicación de la metodología

En la Figura 1 se resumen los resultados de la aplicación de la propuesta metodológica. Las calificaciones asignadas se encuentran entre 0 y 5 unidades, considerando este último como el valor deseable que indicaría mayor viabilidad en la utilización del producto. Los valores obtenidos resultan de la aplicación de las calificaciones propuestas en la metodología (Daza *et al.*, 2011) y la suma ponderada de las evaluaciones dadas a cada indicador.

A pesar de que los cuatro sistemas evaluados tienen potencial para recibir el compost de los biorresiduos, el cultivo de café presenta la mayor calificación debido a sus mayores ponderaciones en las variables ambientales (indicadores: SA susceptible de erosión y SA en conflicto por uso del suelo) e institucionales (indicadores: mayor aceptación por parte de agricultores para aplicar el compost en sus cultivos y presencia de organizaciones que favorecen el impulso a esta actividad agrícola). La ganadería y las AD presentaron valores de 3.66 y 3.78 puntos respectivamente.

te, muy cercanos a la calificación obtenida por el cultivo de café (3.98), lo que muestra el potencial que tienen para el uso del compost. En ambos sistemas existe interés por parte

del municipio y de las organizaciones para preservar la actividad económica asociada con la ganadería y mantener las funciones de los ecosistemas en las cuencas.

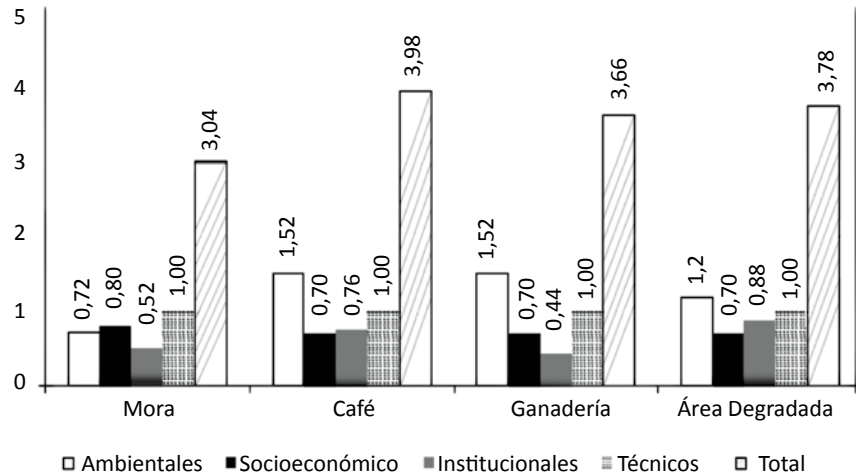


Figura 1. Resultados de la matriz de selección de SA.

En estos sistemas (ganadería y AD) la aplicación de compost es favorable, debido a que el aporte de materia orgánica incide directamente en propiedades como resistencia a la erosión, estabilidad estructural y formación de agregados, las cuales están relacionadas con la porosidad, la actividad microbiana y el ciclo de elementos esenciales como el nitrógeno; así lo demuestran experiencias con aplicación de compost en producción de café (Moyin-jesu y Akure, 2007) y pasturas (Vásquez *et al.*, 2009) y en la recuperación de AD (Arriechi, 2008) con incrementos en la actividad biológica en los suelos.

La herramienta evaluada mostró potencial para la selección de SA, debido a la facilidad para la aplicación de los indicadores. Las mayores dificultades se observan con los indicadores económicos, por las restricciones de la población para suministrar información económica, y en la aplicación del indicador de actividad microbiana por la falta de valores de referencia para calificar los niveles de esta actividad en suelos tropicales.

Conclusiones

- La aplicación de la propuesta metodológica facilitó la priorización y selección de los sistemas agroambientales con mayor potencial de uso de compostaje de biorresiduos, así como en la identificación de las necesidades de acondicionamiento de las materias primas del proceso, de acuerdo con las necesidades edafológicas y agronómicas en la zona de estudio.
- La aplicación de la metodología requiere contar con una línea base de información y estudiar el efecto del compost de biorresiduos en cada SA seleccionado para garantizar calidad y generar confianza en los potenciales usuarios.
- La validación de la metodología y su aplicación en este caso de estudio, mostraron la potencialidad de esta herramienta; sin embargo, es necesario aplicarla en otros contextos, de manera que se puedan ajustar las ponderaciones, desarrollar valores de referencia y la forma de evaluación propuesta.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad del Valle y apoyado por la Cooperativa de Servicios Públicos de Versalles, Camino Verde APC. R. Oviedo-Ocaña agradece al Departamento de Ciencia, Tecnología e Innovación -Colciencias por la beca otorgada para sus estudios de doctorado, y a la Universidad Industrial de Santander por el tiempo otorgado para la escritura del artículo.

Referencias

- Agnew, J. M. y Leonard, J. J. 2003. The physical properties of compost. *Compost Sci. Utilization* 11 (3):238-264.
- Arriechi, I. 2008. Efecto de la fertilización orgánica y química en suelos degradados cultivados con maíz (*Zea mays*) en el Estado Yaracuy, Venezuela. Tesis doctoral. Valladolid (España): Universidad de Valladolid, Departamento de Ciencias Agroforestales.
- Aznar J. y Guijarro F. 2005. Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio. Disponible en: http://www.upv.es/miw/infoweb/vmultic/info/Nuevos_metodos_de_valoracion_Modelos_multicriterio.pdf.
- Barreira, L.; Philippi, A.; y Rodrigues, M. 2006. Usinas de compostagem do estado de Sao Paulo qualidade dos compostos e processos de producao. *Eng. Sanit. Ambient.* 11(4):385-393.
- Bedano J.; Dominguez, A.; y Arolfo, R. 2011. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. *Soil Till, Res.* 117:55 - 60.
- Blagodatsky, S.; Ladogatskaya, E.; Yuyukina, T.; y Kusyakov, Y. 2010. Model of apparent and real primming effects: linking microbial activity with soil organic matter decomposition. *Soil Biol. Biochem.* 42:1275-1283.
- Burbano, H. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes biorgánicos. Universidad de Nariño. Pasto, p. 386 - 389.
- Cenicafe (Centro Nacional de Investigaciones de café). 2012. Cartilla cafetera N° 7. Fertilización de los cafetales. Disponible en: http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/fertilizacion/P1
- Chiumenti, A.; Chiumenti, R.; Diaz, L.; Savage, G.; Eggerth, L. Y.; y Goldstein, N. 2005. Modern Composting Technologies. *BioCycle. J. Compost. Org. Recyc.* Disponible en: http://www.mswmanagement.com/MSW/Editorial/Modern_Composting_Technologies_1395.aspx.
- Cuesta, P.; Mateus, H.; Santana, M.; y Barro, J. 2002. Estrategias de manejo de praderas para mejorar la productividad de la ganadería en las regiones Caribe y Valles Interandinos. En: Cuesta, P. (ed.). Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina en el Caribe y Valles Interandinos. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 97 p.
- Daza, M. C.; Oviedo, E. R.; Marmolejo, L. F.; y Torres, P. 2011. Selección de sistemas agroambientales con mayor potencial para la aplicación de compost proveniente de biorresiduos de plantas de manejo de residuos sólidos en el Valle del Cauca. II Conferencia Internacional Gestión de Residuos en América Latina -GRAL. Cali. junio 15 - 17 de 2011.
- De Guardia, A.; Mallard, P.; Teglia, C.; Marin, A.; Le pape, C.; Launay, M.; Benoist, J.; y Petiot, C. 2010. Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting: Part 2. nitrogen dynamic. *Waste Manag.* 30 (3):415-425.
- Diaz, L.; Savage, G.; y Eggerth, L. 2007. The management of solid wastes in economically developing countries - major needs. En: International Waste Management and Landfill Symposium. argherita di Paula (ed.). Cagliari (Italia). October 1 - 5.
- Dulac, N. 2001. The organic waste flow in integrated sustainable waste management - The Concept. Waste. Tools for decision-makers: Experiences from the Urban Waste Expertise Programme 1995 - 2001. Holanda. 49.
- Ekelund, L. y Nyström, K. 2007. Composting of municipal waste in South Africa. Upsala Univ. 71 p. Disponible en: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/EKELUND%20and%20NYSTROM%202007%20Composting%20of%20Municipal%20Waste%20in%20South%20Africa.pdf.
- Franco, G. y Giraldo, M. 2002. El cultivo de la mora. Quinta edición. Manual de asistencia técnica. Corpoica, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, SENA, Comité Técnico Agropecuario de Risaralda, UMATA. Risaralda. 81 p. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Cultivo%20de%20la%20mora.pdf.
- Giraldo, P. 2003. Recomendaciones técnicas para la producción de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en Versalles, norte del Valle del Cauca. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero agrónomo. Palmira (Colombia). Universidad Nacional sede Palmira, Facultad de Ingeniería. Gobernación Valle del Cauca. Secretaría de Agricultura 2011. Información estadística. Evaluaciones

- Agrícolas 2000- 2010. Evaluaciones Pecuarias 2000 - 2009. Disponible en: <http://www.valledelcauca.gov.co/agricultura/>
- Haug, R. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton. p. 117.
- Henao, A.; León, M.; y Ospina, J. 2002. Evaluación de microorganismos aceleradores del proceso de descomposición en banano de rechazo. Memorias XV reunión de Asociación de Bananeros de Colombia. Medellín: 27 de octubre al 2 de noviembre. http://www.musalit.org/pdf/IN030054_es.pdf
- Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas). 2004. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. NTC 5167. Bogotá D.C.: El Instituto, p. 32.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 6 ed. Bogotá (Colombia). Imprenta Nacional de Colombia. p. 51 - 60.
- Levis, J.; Barlaz, M.; Themelis, N.; y Ulloa, P. 2010. Assessment of the state of food waste treatment in the United States and Canada. *Waste Manag.* 30(8-9):1486-1494.
- Marmolejo, L. 2011. Marco conceptual para la sostenibilidad de los sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos en cabeceras municipales menores a 20,000 habitantes del Valle del Cauca. Tesis Doctorado. Doctorado en Ingeniería, énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cali (Colombia). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.
- Ministerio de Agricultura. 2003. Formulación de una metodología para la recuperación de suelos degradados en zonas de cultivo de coca. Programa para el desarrollo de la Amazonía. Lima, 94 p. Disponible en: <http://www.devida.gob.pe/Documentacion/documentosdisponibles/Formulaci%C3%B3n%20de%20una%20Metodolog%C3%ADa%20para%20recuperar%20suelo%20degradados%20en%20zonas%20de%20cultivo%20de%20coca.pdf>
- Moebius-Clune, B. N.; Van Es, M.; Idowub, H.; Schindelbecka, O.; Kimetua, R.; Ngozea, J.; Lehmann, S.; y. Kinyangic, J. 2011. Long-term soil quality degradation along a cultivation chronosequence in western Kenya. *Agr. Ecos. Environ.* 141:86-99.
- Moyin-jesu, E. y Akure, I. 2007. Effect of some organic fertilizers on soil and coffee (*coffea arabica* L.) leaf chemical composition and growth. *J. Agr. Sci.* 15(1):52 - 70.
- Odlare, M.; Arthurson, V.; Pell, M.; Svensson, K.; Nehrenheim, E.; y Abubaker. J. 2011. Land application of organic waste -Effects on the soil ecosystem. *Appl. Energ.* 88 (6):2210-2218.
- PMD (Plan de Desarrollo Municipal de Versalles) 2008-2011. 2008. Versalles, República de Colombia. Disponible en: <http://www.versalles.gov.co/PLANES%20Y%20PROGRAMAS/PDM%20FINAL/PDM%202008%202011%20final.pdf>.
- Quiroz, M. e Hincapie, E. 2007. Pérdidas de suelo por erosión en sistemas de producción de café con cultivos intercalados. *Rev. Cenicafé* 58(3):227-235.
- Slater, R. y Frederickson, J. 2001 Composting municipal waste in the UK. Some lessons from Europe. *Resour. Conserv. Rec.* 32(3-4):359-374.
- Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; y Vigil, S. 1993. Gestión integral de residuos sólidos. Editorial McGraw-Hill/Interamericana: Madrid.
- Thompson, P. y Nardone, A. 1999. Sustainable livestock production: Methodological and ethical challenges. *Livest. Prod. Sci.* 61:111-119.
- Tiquia, S. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *J. Appl. Microb.* 99 (4):816-828.
- UDR (Unidad de Desarrollo Rural). 2010. Evaluaciones agropecuarias municipales 2010, Versalles.
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. El Instituto. p. 31 - 54.
- Vásquez, J.; Solano J.; Vázquez, R.; Aguirre, V.; Bahena M.; Guadarrama, R.; Granjeno, A.; Orihuela, A.; y Flores, F. 2009. Efecto de enmiendas orgánicas y fertilizante químico en la producción de pasto Taiwán *Pennisetum purpureum* Schaum. *Invest. Agrop.* 6(2):205 - 218.
- Zurbrugg, C.; Drescher, S.; Rytz, I.; Maqsood S.; y Enayetullah, I. 2005. Decentralised composting in Bangladesh a win - win situation for all stakeholders. *Resour. Conserv. Recy.* 43 (3):281-292.