

La gestión integral de residuos sólidos orgánicos

en la formulación de materiales orgánicos de uso agrícola

Carlos A. Peláez J.*



La condición de sistema cerrado ha incidido en la evolución de la biósfera a tal punto que la reutilización y el reciclaje de la materia se han convertido en los pilares que soportan la productividad de cualquier ecosistema. Bajo esta perspectiva, los biosistemas se clasifican en *productores*, que corresponden a organismos transformadores de la energía lumínica y los materiales simples en energía química de carácter orgánico; los *consumidores*, que transforman compuestos de los productores (denominados genéricamente alimentos) en otros compuestos de naturaleza orgánica, empleados para sostener la vida. Finalmente, están los *descomponedores*, que toman materia y energía de los dos grupos mencionados anteriormente para satisfacer las necesidades básicas para cerrar el ciclo mediante la generación de materiales simples requeridos por los productores. En la figura 1 se resume el flujo de materia en la biósfera.

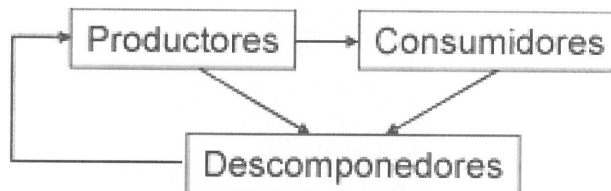


Figura 1. Flujo de la materia en la biósfera.

La agricultura se considera una invención del ser humano durante el período *neolítico* y probablemente no sólo represente el avance tecnológico de mayor impacto cultural en la historia de la humanidad, sino que con este *humano agrícola* se modificó de manera irreversible el paisaje natural, además de generar una dependencia tal, que en la condición moderna de la sociedad es imposible renunciar a la existencia de los agroecosistemas. La implantación de la agricultura se tradujo en una producción sedentaria segura y constante que significó la consolidación del habitar citadino y una alta presión sobre los suelos disponibles para las siembras. Esta nueva cultura *sedentaria* rápidamente se percató de que, tras una serie de cosechas sucesivas, el suelo perdía paulatinamente la capacidad de producción, lo que constituyó un nuevo reto tecnológico de prioritaria relevancia.

Como respuesta a ello se introdujo el diseño y la aplicación de materiales que restituyesen la fertilidad del suelo agrícola denominados abonos o fertilizantes. El abonamiento es, pues, el acto de adicionar un sustrato que actúe sobre el cultivo para mejorar su productividad, introducido en la fase final del desarrollo de la agricultura. Durante miles de años, los agricultores de todas las culturas recurrieron a fuentes naturales (estiércoles, residuos de cosecha y algunos minerales) para restaurar la fertilidad perdida por las cosechas sucesivas.

Los abonos orgánicos se producen gracias a la acción de organismos descomponedores que transforman los compuestos metabólicos mediante enzimas catabólicas hasta obtener un sustrato orgánico estable. En la figura 2 se exponen los procesos involucrados.

Figura 2

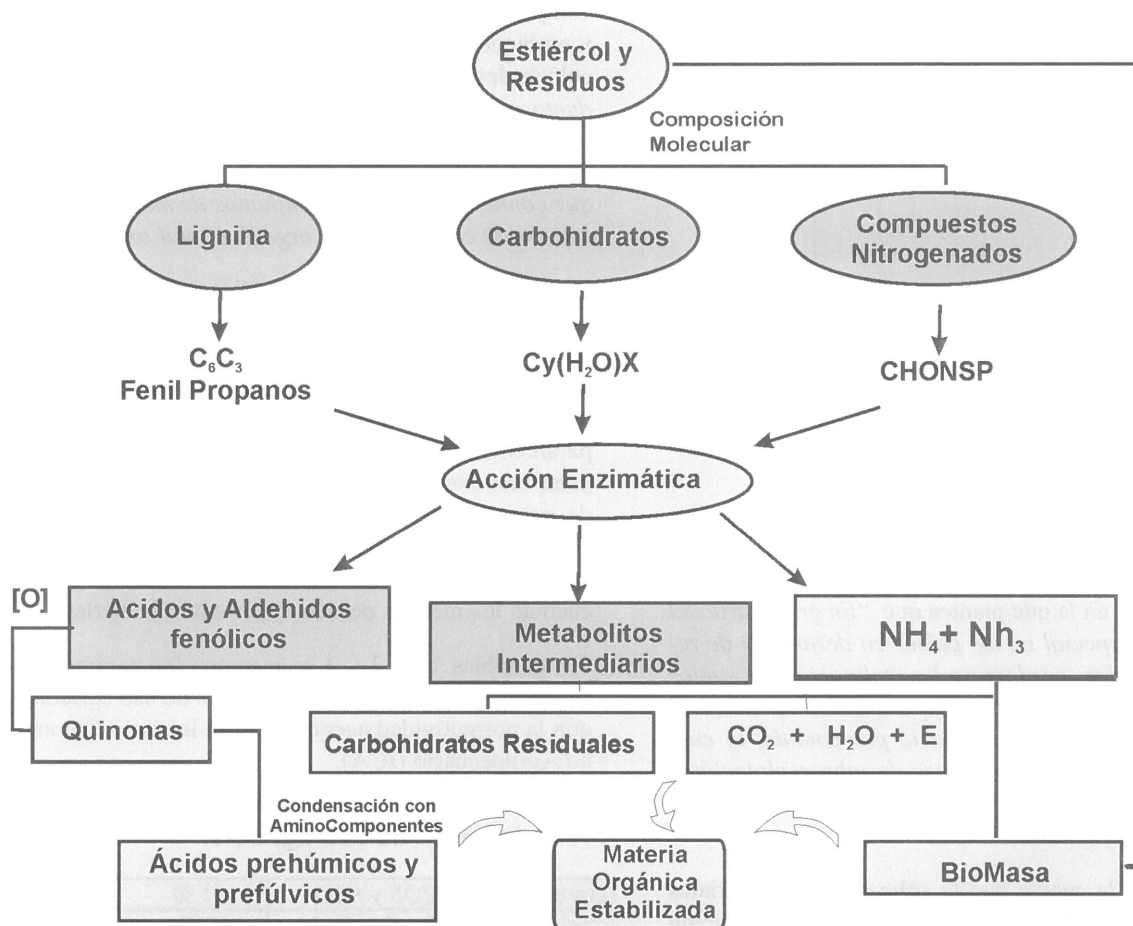


Figura 2. Aspectos moleculares de la producción de abonos orgánicos

Con el desarrollo de la síntesis química y la consolidación, tras la II Guerra Mundial, de formulaciones inorgánicas que repusieran los bioelementos consumidos por las plantas, se configuró un cambio de paradigma en el concepto agronómico de productividad y, de paso, se sancionó el desuso en la aplicación de materiales orgánicos como fertilizantes.

El incremento de la productividad por área de siembra mediante la aplicación de los nuevos fertilizantes de síntesis; los agresivos programas de control de plagas y enfermedades (a pesar de sus evidentes bondades en términos de rendimiento —éste último medido a corto plazo y en agroecosistemas con condiciones óptimas— han conducido al deterioro paulatino del recurso suelo, que finalmente viene manifestándose mediante la disminución de su fertilidad.

En consecuencia, la aplicación masiva y, en muchos casos, exclusiva de fertilizantes de síntesis durante prácticamente toda la segunda mitad del siglo XX, ha permitido dimensionar, a una escala significativa de tiempo, la im-

portancia de la materia orgánica del suelo para preservar la sostenibilidad de la actividad agrícola y, por ende, ha evidenciado la necesidad de diseñar programas de fertilización que incluyan la aplicación de materia orgánica para restablecer las pérdidas por uso. El caso del trópico húmedo se puede enunciar como el ejemplo clásico de la necesidad de generar insumos agrícolas de carácter orgánico como abonos o enmiendas, dado que la tasa de descomposición en estas condiciones ambientales implica una rápida pérdida de materia orgánica, asociada a un deterioro evidente de las propiedades agronómicas del suelo.

En la figura 3 se da cuenta del impacto que tiene la productividad agrícola sobre el suelo cuando se pasa de un sistema natural a un agroecosistema. Al evaluar la productividad se ha establecido la existencia de una relación directa entre degradación de los suelos tropicales y pérdida de materia orgánica. Por tanto, la adición de materiales orgánicos como parte de los programas de fertilización ha demostrado ser la única alternativa para la reposición de la materia orgánica que, en consecuencia, garantice la sostenibilidad del sistema.

Figura 3

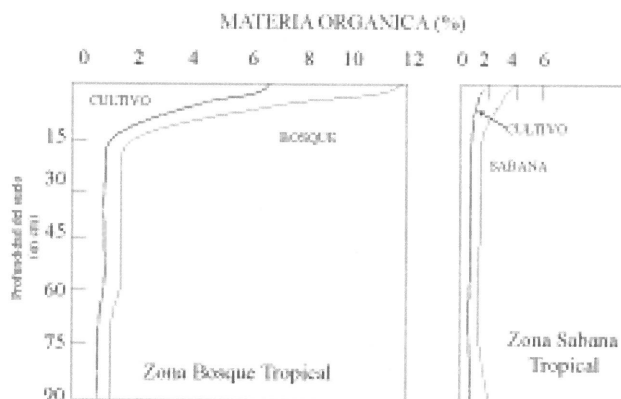


Figura 3. Efecto de la productividad agrícola sobre el suelo

En 1984 la FAO, dependencia de las Naciones Unidas responsable de la alimentación, emitió una declaración que llama la atención sobre la problemática de la producción agrícola y en la que plantea que *“En gran parte del mundo, y en especial en los países en desarrollo de regiones tropicales, predomina la explotación de suelos con miras a corto plazo, donde, para alimentar a la creciente población, se cambia suelo por comida, lo cual está llevando a un círculo vicioso de sobreexplotación y degradación de suelos, descenso en los rendimientos, malnutrición y hambre”*.

Si se tiene en la cuenta que la aplicación de materiales orgánicos como parte de los programas de fertilización es una actividad indispensable, se hace entonces necesario contar con referentes para las variables que determinan la calidad de estos insumos orgánicos. En general, la calidad del insumo está marcado profundamente por el origen, siendo este el primer parámetro para ser tenido en cuenta, independientemente de la tecnología aplicada para la formulación del material. En general los materiales que se consideran como materia prima para la formulación de insumos son: residuos agropecuarios, desechos de la industria agroalimentaria, otros excedentes agroindustriales, envases biodegradables, residuos de tratamientos anaerobios (lodos), residuos de plantas de tratamiento de aguas domésticas, residuos de plantas de potabilización de aguas, fracción orgánica de residuos municipales recogidos selectivamente, desechos municipales orgánicos de parques y jardines.

Definida la materia prima para producir el insumo orgánico, se procede a establecer la clase de proceso a emplear, que está inscrito en una de tres categorías básicas: Procesos Físicos, Químicos o Biológicos. Estos últimos representan los protocolos más difundidos y aplicados. Independientemente del proceso elegido, al final del mis-

mo se busca obtener un producto que en general debe cumplir una doble condición: ser agrónomicamente apto y ambientalmente compatible. Este nuevo insumo agrícola se define según la norma NTC 5167 como *“un producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos separados en la fuente o mezcla de los anteriores que contienen porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico total oxidable”*.

La calidad del producto se visualiza a través de variables fisicoquímicas y biológicas. En ambos casos se consideran variables de control positivo y negativo. Con las primeras se deducen las características “deseables” del material, mientras que con las segundas se estiman parámetros no deseados. Entre las fisicoquímicas vale la pena mencionar: carbono orgánico, cenizas, capacidad de intercambio catiónico (CIC), capacidad de retención de agua (CRA), densidad, microorganismos meso-aerobios y termófilos. Entre las variables de control negativo se cuentan los metales pesados y las enterobacterias.

En las tablas 1, 2, 3 y 4 se resumen los parámetros de calidad para los materiales orgánicos de uso agrícola según la normatividad aceptada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Tabla 1. Parámetros generales para los materiales orgánicos de uso agrícola.

Garantizar N, P2O5 y K2O	si > 1 %
Carbono Orgánico Oxidable	> 15 %
% Cenizas	Max. 60%
Humedad máxima	20 % ó 35%
CIC	Min. 30 mEq/100 g
pH	4.0 - 9.0
Densidad máxima	0,6 g/cm3
Capacidad de Retención de Humedad	Mínimo su propio pes.
Niveles máximos de metales contaminantes. Tabla 2	
Niveles máximos de macrocontaminantes. Tabla 3	
Niveles máximos de patógenos. Tabla 4	
Indicar las materias primas y procesos	

Tabla 2. Límites de metales pesados

Metal	(mg/Kg)
	en base seca
Arsénico	41
Cadmio	39
Cromo	1200
Plomo	300
Mercurio	17
Níquel	420

Tabla 3. Niveles máximos de macrocontaminantes

Parámetro (tamaño de partícula)	% en base seca
Plástico, metal, caucho > 2 mm	<0,2
Vidrio>2 mm	<0,02
Piedras>5 mm	<2
Vidrio>16 mm detección	Ausente

Tabla 4. Parámetros biológicos en materiales orgánicos

<i>Salmonella</i> sp.	Ausentes en 25 gramos de producto.
Enterobacterias totales	< 1000 UFC/g de producto
Deberán estar exentos de fitopatógenos	

Definitivamente, el origen del material incide sobre las características del producto final. En la tabla 5 se comparan los resultados de dos tipos de materiales que derivan de residuos sólidos urbanos con y sin separación en la fuente.

Tabla 5. Comparación de variables en materiales con y sin separación en la fuente

	Cenizas (%)	Carbono Orgánico (%)	CIC (meq/100 g muestra)	Densidad (g/cm ³)	CRA (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Material Orgánico con Separación en Fuente (RSU _{sf})	34.1	22.2	39.6	0.31	1.98	3.8	1.9
Material Orgánico Sin Separación en Fuente (RSU _{nsf})	70.3	11.2	27.4	0.55	0.89	0.7	1.35

Como se deduce de la comparación de los resultados de la tabla 5 y su confrontación con lo dispuesto por la normatividad, el material que se obtiene de la fracción orgánica no separada en la fuente está fuera de la especificación vigente. Igualmente, cuando para las muestras evaluadas se establece la comparación a partir de la presencia de metales pesados, tras totalizar la cantidad observada en ambos tratamientos, se obtiene que más del 80% están presentes en el material no separado en la fuente tal y como se indica en la figura 4.

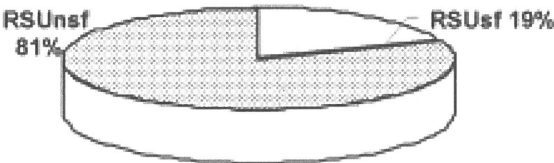
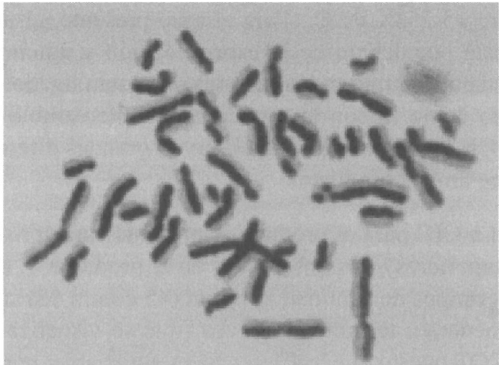


Figura 4. Comparación de la presencia de metales pesados en RSU

La trascendencia de la concentración de metales pesados se hace evidente cuando se estudian sus efectos en pruebas de genotoxicidad tales como los intercambios de cromátidas hermanas (ICH). En la fotografía siguiente se ilustra un resultado parcial de un ensayo de ICH realizado en el grupo GIEM para evaluar el efecto de metales pesados. En general se ha observado que existe una relación del tipo dosis-respuesta de carácter positivo y, en consecuencia, que concentraciones bajas de metales no incrementan las ICH respecto al control, mientras que concentraciones altas sí incrementan los intercambios.



Fotografía de ICH para metales pesados

Este hecho ratifica la necesidad de fijar valores límite para la presencia de estos metales en insumos agrícolas, dado que si bien se considera normal su presencia en tanto productos naturales, su concentración no puede sobrepasar determinados límites de tolerancia.

Finalmente, con la valoración cuantitativa de las variables de calidad que ya fueron mencionadas, es factible comparar materiales orgánicos de uso agrícola. En la Tabla 6 se presentan los resultados de dos productos comerciales para variables físicas, químicas y biológicas.

Tabla 6 . Comparación de dos productos comerciales

Parámetro	Expresado como	Método	Norma	Producto 1		Producto 2		Unidades	LD
				Resultado + de	Resultado + de	Resultado + de	Resultado + de		
Nitrógeno	N total	Kjeldahl	NTC 370	1.12 ± 0.13	2.18 ± 0.03			%	-
Fósforo	P2O5	Fotometría	NTC 234	0.68 ± 0.03	2.10 ± 0.11			%	-
Potasio	K2O	A.A.	SM 3111B	1.224 ± 0.012	2.347 ± 0.065			%	-
CO	No aplica	Oxidación	NTC 5167	14.39 ± 0.02	19.96 ± 2.60			%	-
Cenizas	No aplica	Gravimetría	NTC 5167	30.06 ± 2.03	49.91 ± 2.72			%	-
Relación C/N	No aplica	No aplica	No aplica	12.8	9.17			-	-
CRA	No aplica	Gravimetría	NTC 5167	212.90 ± 0.06	204.69 ± 6.92			%	-
CIC	No aplica	Volumetría	NTC 5167	18.81 ± 1.13	45.21 ± 4.04			meq/100 g	-
CIC/CO	No aplica	No aplica	No aplica	130.31 ± 7.85	226.3 ± 20.2			meq/100 g CO	-
Humedad	No aplica	Gravimetría	NTC 5167	22.42 ± 2.29	26.51 ± 0.50			%	-
pH	No aplica	Potenciometría	SSLMM-42-2-92	7.44 ± 0.01	8.46 ± 0.01			-	-
Conductividad	No aplica	Potenciometría	SSLMM-42-2-92	2.56 ± 0.00	4.29 ± 0.02			mS/cm	-
Densidad	No aplica	Gravimetría	NTC 5167	0.25 ± 0.00	0.46 ± 0.00			g/cm3	-

PRODUCTO 1

Mesófilos ufc/g	Termófilos u.f.c./g	Mohos u.f.c./g	Levaduras u.f.c./g	Nemátodos y/o Protozoos	Entero bacterias/g	Salmonella en 25 g (CS)	Nemátodos y/o Protozoos
8.0 x 10 ⁹	2.5 10 ⁸	7.2 x 10 ⁴	0.0	Ausentes	2.8 x 10 ⁵	Ausentes	Ausentes

PRODUCTO 2

Mesófilos ufc/g	Termófilos u.f.c./g	Mohos u.f.c./g	Levaduras u.f.c./g	Nemátodos y/o Protozoos	Entero bacterias/g	Salmonella en 25 g (CS)	Nemátodos y/o Protozoos
2.1 x 10 ⁹	2.0 x 10 ⁷	0.0	0.0	Ausente	0.0	Ausente	Ausente

El primero de los aspectos que se puede analizar es el contenido de carbono orgánico. Tal como lo expresa la norma, debe existir un mínimo de carbono orgánico; sin embargo debe tenerse en cuenta que la estabilización (que en este caso es biooxidativa) tiende a generar productos con un relativo bajo contenido de carbono. Este “relativo bajo valor” usualmente considera el intervalo entre 15-25 % de C. Para el caso presente, el producto 1 está por debajo de la especificación y adicionalmente, cuando se miran dos factores que están ligados al carbono como lo son la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y las cenizas, se observan grandes diferencias entre ambos productos.

La CIC para el producto 2 presenta características muy superiores a las observadas en el producto 1; no sólo en términos de cantidad absoluta (45 contra 18) si no igualmente en términos relativos (que se visualiza por CIC/CO), puesto que la diferencia es apreciable: por cada unidad de carbono para el producto 1 se tienen 1.30 unidades de CIC; en tanto que para el producto 2 esta relación

es de 2.26. Con las cenizas se ratifica lo observado, dado que el producto 2 tiene mayores indicios de mineralización que el producto 1. Incluso para el producto 1 se deduce un comportamiento anómalo si se considera que para una concentración baja de carbono no se explica una concentración alta de cenizas.

Para el resto de variables fisicoquímicas se tienen resultados normales según lo establecido por la normatividad y en el caso de las variables biológicas el producto 1 está nuevamente fuera de especificaciones.

En conclusión, el comportamiento de los agroecosistemas en los últimos cincuenta años viene indicando que es absolutamente indispensable aplicar materia orgánica si se pretende lograr un sistema sostenible. Adicionalmente, estudios complementarios indican que la calidad de estos materiales se define a través de variables físicas, químicas y biológicas resultando ser la calidad el factor más limitante para su uso cuando se consideran agroecosistemas del trópico húmedo.

Referencias Bibliográficas

STOFFELLA, Peter J.; KAHN, Brian A. (Eds.) (2003), *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*, Lewis Publishers.

SUGIMOTON, T. (2002), *Darwinian Evolution Does Not Rule Out the Gaia Hypothesis*, J. theor. Biol. (218), pp. 447–455.

KEENER, H.M., MARUGG, C., HANSEN, R.C. & HOITINK, H. (1993) “*Optimizing the efficiency of the compost Process*”, En: Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspect, Ed. Renaissance Publications.

Grupo GIEM (2004), *Producción de materiales orgánicos mediante transformaciones biooxidativas de materiales orgánicos sólidos*. En: Seminario sobre aprovechamiento de orgánicos, auditorio de IDEA, Agosto 18 de 2004, Empresas Varias de Medellín.

ICONTEC (2004), Norma Técnica Colombiana NTC-5167 sobre fertilizantes y acondicionadores del suelo.

COOPERBAND, L.R.; STONE, A.G.; FRYDA, M.E. and RAVET J.L. (2003), *Relating Compost Measures of Commercial Maturity to Plant Growth*, Compost, Science and Utilization, Vol. 11, No. 2: pp.113-124.

RYNK, R., *The Art in the Science of Compost Maturity*, Compost Science and Utilization, Vol. 11, No 2, pp. 94-96.

FASSBENDER, H.W., *Química de Suelos*, Ed. IICA San José de Costa Rica, 1980.

SÁNCHEZ, P.A., *Suelos del Trópico, Características y Manejo*, IICA San José, Costa Rica, 1981.

Sobre el autor

**Biólogo de la Universidad de Antioquia; Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM). Instituto de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Antioquia.*



Soluciones
Empresariales

Teléfono: 4 160 160. Celular: 300 651 23 22 - email: sabervivir@une.net.com