

**BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS Y USO DEL
BIOABONO COMO ACONDICIONADOR DEL SUELO**

ALEJANDRA VALDERRAMA RAMÍREZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FORMACIÓN AVANZADA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA
MEDELLÍN
2013**

**BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS Y USO DEL
BIOABONO COMO ACONDICIONADOR DEL SUELO**

ALEJANDRA VALDERRAMA RAMÍREZ

Trabajo para optar al título de Especialista en Biotecnología

Director:

Margarita Enid Ramírez Carmona

Doctor en Tecnología de Procesos Químicos y Bioquímicos

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA
MEDELLÍN
2013**

CONTENIDO

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
1. RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	12
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	12
1.2 RESIDUOS SÓLIDOS.....	14
1.3 BIOTRANSFORMACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS.....	17
1.4 ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EMPLEANDO DIVERSOS MICROORGANISMOS.....	22
1.5 PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO.....	26
1.5.1 Producción de Abono Tipo Bokashi.....	27
1.5.2 Caldos Trofobióticos.....	28
1.5.3 Compostaje.....	28
1.6 COMPOSTAJE COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS.....	29
1.6.1 Temperatura.....	36
1.6.2 Humedad.....	37

1.6.3	pH.....	38
1.6.4	Oxígeno.....	38
1.6.5	Relación C/N.	38
1.6.6	Población Microbiana.	40
1.7	COMPOSTAJE COMO ACONDICIONADOR DE SUELOS	40
	BIBLIOGRAFÍA.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición de los residuos sólidos municipales en diversos países de América Latina (porcentaje en peso).	18
Tabla 2. Alternativas para aprovechar residuos sólidos agropecuarios	22
Tabla 3. Uso del Compost en la Agricultura.....	32
Tabla 4. Fases de Fermentación en el Compostaje.....	33
Tabla 5. Contenidos de niveles óptimos para abonos orgánicos	35
Tabla 6. Efectos del compost sobre el suelo	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los Residuos Orgánicos Municipales según su fuente.	16
Figura 2. Composición física de los residuos sólidos en Colombia.....	21
Figura 3. Perfiles de temperatura típicos de la primera mitad de las dos semanas de lotes de compostaje.	37

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, Septiembre de 2013

RESUMEN

Hace algunas décadas, el mayor desafío para el hombre era el proceso acelerado de industrialización, que deriva en una notable creciente de los problemas en los rellenos sanitarios, bosques y recursos hídricos, demostrando con ello que, La degradación del suelo se ha identificado como un problema importante y cada vez mayor (Thassitou & Arvanitoyannis, 2001).

Thassitou & Arvanitoyannis, Afirman que los pesticidas y fertilizantes son las principales fuentes de contaminación, seguido por los procesos industriales, desechos y disposición de lodos de aguas residuales. La acidificación de los Ríos es un problema que se hace a su vez trasfronterizo (2001).

La biodegradación de los residuos sólidos agropecuarios, es una opción viable para disminuir la contaminación que actualmente están generando, pues la disposición de estos desechos en los rellenos sanitarios genera vectores que deterioran el medio ambiente y disminuyen la calidad de vida de la población (Acurio , Rossin , Teixeira, & Zepeda , 1998). Este tipo de residuos se pueden someter a procesos biotecnológicos para transformarlos en sustratos mejoradores del suelo. Con la producción de abono orgánico se generan ingresos económicos, se disminuye el uso de agroquímicos que contribuyen a disminuir la toxicidad, residualidad y degradación de los suelos (Thassitou & Arvanitoyannis, 2001)

En el mapa de biomasa de residuos agrícolas en Antioquia se encontró que el valor máximo de biomasa residual generada por hectárea en Antioquia es de 93,72 Ton/Ha cultivada. El mapa de biomasa residual agrícola en Antioquia muestra que la biomasa está centralizada en el oriente cercano en los municipios

de El Retiro, La Ceja, El Carmen de Viboral, en la zona suroriental de Antioquia en los municipios de Sonsón, Argelia, Nariño; en la zona norte los municipios de Yarumal, Ituango, Peque, Toledo, Briceño y toda la zona central de la cordillera occidental que implica a municipios como Caramanta, Andes, Jardín, Betania, Hispania, Ciudad Bolívar, Salgar, Urrao, Caicedo, Abriaquí, Giraldo (CENTRO DE ESTUDIOS Y DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA, 2012).

El presente trabajo es una recopilación bibliográfica que describe generalidades y métodos que contribuyen a darle un uso adecuado a los residuos para disminuir su impacto ambiental en el Sector Agrícola y Agroindustrial.

Palabras Claves: Biodegradación, Acidificación, Métodos, Residual.

INTRODUCCIÓN

Hace miles de años, la población humana era pequeña y carecía de importantes problemas ambientales. La subsistencia de los seres humanos "dependía del consumo y el uso de los recursos naturales", por lo tanto los residuos generados de las actividades humanas se descomponían rápidamente en el medio ambiente y no causaban muchos problemas. Sin embargo, el desarrollo de los asentamientos humanos y el aumento de la agricultura urbana ha traído no sólo los problemas ambientales, sino también impactos económicos y sociales, Angulo, et al. (2012).

El aumento considerable en la cantidad de residuos sólidos a nivel nacional e internacional está ocasionando efectos ambientales desfavorables; especialmente en los países en desarrollo, creando con ello la necesidad de buscar opciones de tratamiento en desechos sólidos alternativos que puedan ofrecer ventajas sobre la eliminación de residuos sólidos (Castillo , Cristancho , & Arellano , 2006).

Medellín es una de las principales ciudades de Colombia, ubicada en la Zona Metropolitana del Valle de Aburra. Esta zona cuenta con 3,4 millones de personas (aproximadamente) y está conformado por 10 municipios, siendo Medellín la más grande e importante. Se prevé que la población aumente alrededor de 534.128 personas por año (1,42%) en 2018. Del mismo modo, se calculó un aumento de alrededor de 500.000 toneladas de residuos por año. Es un problema actual, ya que alrededor de 2.000 toneladas de residuos por día desde el Valle de Aburrá se disponen en el único vertedero de la zona conocida como "La Pradera Parque Ambiental" y este sitio tiene una vida útil limitada proyectado hasta el año 2020, Angulo, et al (2012).

"Los sistemas de soporte vital de la biósfera están bajo estrés debido al impacto global de la población humana y la actividad económica". Los mercados se han convertido en una de las principales fuentes de residuos de frutas y verduras en el mundo. Algunas alternativas tales como el compostaje y la producción de energía se han utilizado para reducir su impacto a largo plazo. Sin embargo, cada día aumentan los problemas debido a que la cantidad de residuos producidos es mayor que la cantidad reutilizada, Angulo, et al (2012).

La Plaza Mayorista o Central de Abastos en el Municipio Antioqueño de Rionegro es uno de los lugares que presenta problemas en la disposición de materiales orgánicos, que terminan siendo mezclados con residuos inorgánicos y aumentan la contaminación en el Municipio, situación que se ve reflejada en afluentes contaminados, saturación de residuos en lugares cercanos a la plaza, malos olores, vectores y roedores (Administración Plaza Rionegro).

Según el administrador de la plaza mayorista de Rionegro, (García , 2012) se generan aproximadamente 3 toneladas mensuales de residuos, que actualmente son recolectados por la empresa CAM, quien está encargada de su disposición final, esta empresa presenta falencias para darle uso a estos residuos, por la falta de educación a los usuarios de la plaza, quienes no conocen la técnica de separación de residuos en la fuente, por otra parte, la plaza no cuenta con un lugar específico destinado para el material orgánico y lo depositan mezclado con el material inorgánico, por tal motivo estos residuos terminan siendo basura que llega a los rellenos sanitarios, situación que hace necesaria la implementación de la separación de residuos en la fuente. A continuación se mostrarán algunos métodos que conducen a evaluar la biodegradación de residuos sólidos orgánicos y la posterior obtención de un bio-abono.

1. RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

1.1 ASPECTOS GENERALES

El aumento constante de residuos sólidos ocasionado principalmente por la gestión inadecuada de los residuos generados en los distintos sectores de la economía, ligado al crecimiento y el cambio de estilo de vida de la población, conlleva a crear una cultura racional sobre el manejo de estos residuos en Colombia (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO , s.f.). (Con base en esta problemática se han venido diseñando e implementando nuevas políticas tendientes a la gestión integral de los residuos sólidos, las cuales sólo se pueden materializar mediante el seguimiento estricto de la normatividad ambiental (Resolución 1045 de 2005, Decreto 1713 de 2002, entre otras). Es por esto que la implementación de acciones para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos es fundamental para el cumplimiento de los objetivos de la gestión integral de los residuos sólidos (Jaramillo & Zapata , 2008).

El mundo produce alrededor de 1,6 mil millones de toneladas de residuos sólidos por año, la generación y gestión inadecuada de estos residuos está considerado como uno de los principales problemas ambientales asociados a las emisiones de metano y dióxido de carbono, las emisiones de los olores de los vertederos y el daño del agua y la calidad del aire en la superficie, Angulo, et al, (2012). Los residuos agrícolas, como el estiércol animal, es otra fuente de residuos sólidos. La cantidad de estiércol producido en los Estados Unidos es 130 veces mayor que la cantidad de residuos humanos. El proyecto de ley agrícola de 2002 identifica los residuos de estiércol como un importante problema ambiental nacional. Los contaminantes potenciales de la descomposición de estiércol incluyen la demanda

biológica de oxígeno (DBO), patógenos, nutrientes, metano y emisiones de amoníaco, Macías et al. (2008).

La producción nacional de residuos en 1998, según el Ministerio de Medio Ambiente, se estimó en 22.000 toneladas diarias, de las cuales 13.000 toneladas son descargadas a cuerpos superficiales de agua o a botaderos a cielo abierto. Según dicho Ministerio, solamente el 9% de los municipios cuentan con adecuados sistemas de disposición final. La producción media por habitante y por día (kg/hab/día) se estima en 0.5 kg/hab/día y su variación se encuentra entre 1kg/hab/día para las ciudades grandes y 0.2 kg/hab/día en los municipios pequeños y zonas rurales. La recuperación de los residuos generados se estima entre 5% y 7% del total (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO , s.f.).

La cantidad de Residuos Sólidos generados diariamente en Colombia es de aproximadamente 30.886 toneladas, de los cuales el 52,3% es orgánico (16.153 toneladas). Actualmente, alrededor del 92,54% es lanzado en los vertederos, y 7.46% tiene una disposición final inadecuada. Por otra parte, el reciclaje de mercados es mínima, y hay una falta de información sobre su potencial para la alimentación de los animales, todo ello porque no ha tenido una caracterización cuantitativa o nutricional publicada y generada a partir de los principales mercados Angulo, et al, (2012)

La problemática de los residuos sólidos es relevante porque la disposición final se realiza con poco control en la mayoría de los municipios, ocasionando contaminación ambiental. Las empresas de aseo municipales son las responsables de recolectar los residuos sólidos resultantes de las actividades domésticas, comerciales e industriales. La Superintendencia de Servicios Públicos

Domiciliarios, presentó un estudio en el 2002 sobre la disposición final de los residuos sólidos en los 1086 municipios, siendo las formas más frecuentes: la disposición en botaderos y quemas a cielo abierto (52%), el relleno sanitario (30 %), y el uso de varias alternativas como relleno, compostaje, y/o incineración (18%), (Puerta , 2012),

Los residuos sólidos son probablemente los de mayor importancia; no tanto por el riesgo; si no por el volumen que generan. Según algunos investigadores la cantidad de residuos sólidos producidos por los países europeos es de alrededor de 5 mil millones de toneladas por año. Sin embargo, las estadísticas de generación de residuos han demostrado ser muy poco fiables en los últimos años. Los gobiernos nacionales han declarado abiertamente que muchas cifras correspondientes a la generación de residuos se basan en estimaciones. En los Estados Unidos, los materiales de desecho liberados directamente de la industria y de la agricultura son responsables de la contaminación sustancial del suelo y el agua. Hay 14000 plantas industriales en los EE.UU. que producen aproximadamente 265 toneladas de residuos peligrosos al año (Thassitou & Arvanitoyannis, 2001).

1.2 RESIDUOS SÓLIDOS

El residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega, (Jaramillo & Zapata , 2008) y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final, normalmente son duros o macizos y se desechan como inútiles o no deseados.

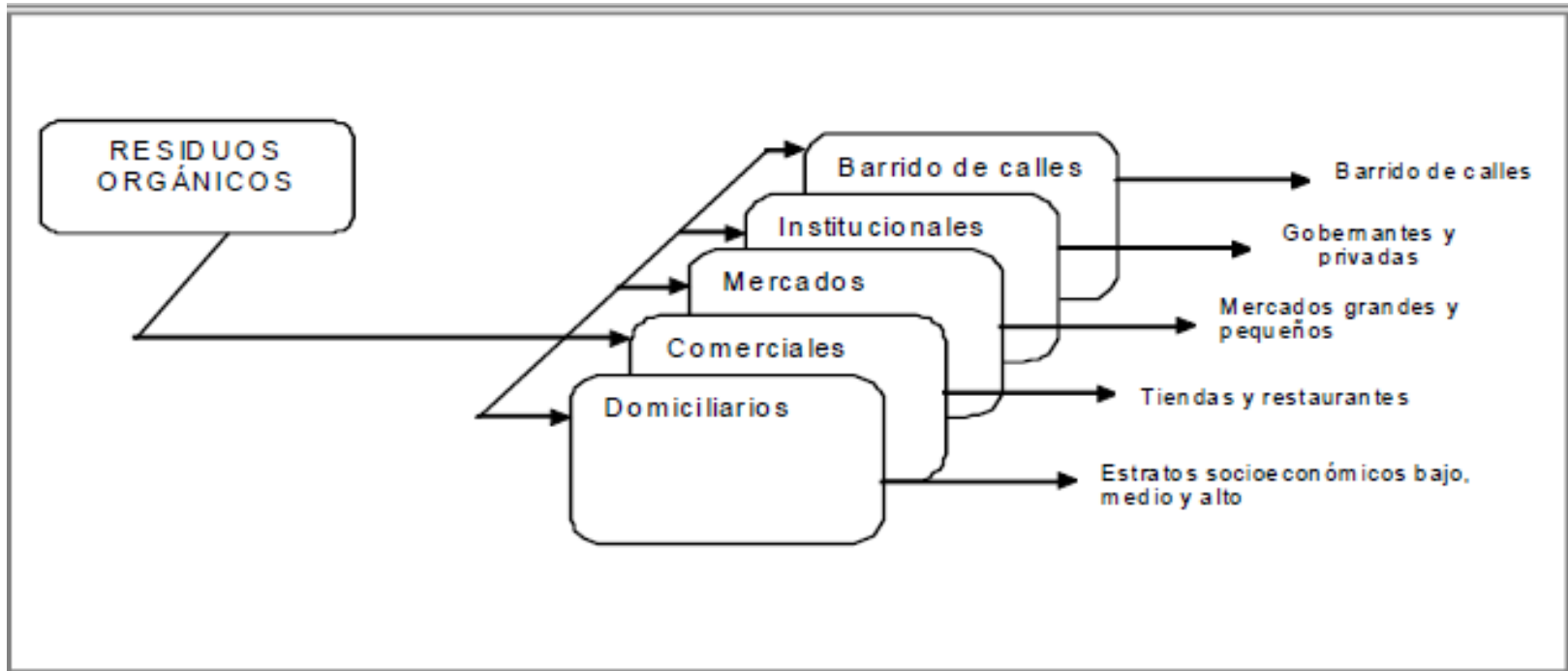
Por sus propiedades intrínsecas, los materiales de los residuos desechados a menudo son reutilizables y se pueden considerar como un recurso (Obando , Munoz, & Bravo , 2009).

Los residuos sólidos orgánicos son aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. Se exceptúa de estas propiedades al plástico, porque a pesar de tener su origen en un compuesto orgánico, posee una estructura molecular más complicada (Jaramillo & Zapata , 2008).

Los residuos orgánicos de los mercados representan un 10-20% del total de residuos de la ciudad. Una gran proporción proviene de la sobreproducción de frutas y verduras, convirtiéndolos en potencial contaminante. El valor nutricional que se encuentra para los residuos de frutas y verduras de un mercado, en un trabajo anterior, mostró que este producto puede ser considerado como una alternativa potencial para la alimentación de los animales Angulo, et al. (2012).

En la Figura 1, se muestra la Clasificación de los Residuos Orgánicos Municipales según su fuente.

Figura 1. Clasificación de los Residuos Orgánicos Municipales según su fuente



Fuente: Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia, 2008.

Existen diferentes fuentes para la generación de desechos sólidos, y los mercados son considerados uno de ellos en una escala global. En consecuencia, estos lugares no sólo contribuyen a los problemas medioambientales mencionados anteriormente, sino también crean problemas económicos debido a los altos costos en la recopilación, transporte y disposición. Los problemas sociales también resultan debido al hecho que los lugares de tratamiento de residuos (vertederos e incineradoras) a menudo se encuentran en las zonas de minorías, económicamente deprimidas, lo que resulta en la generación de más pobreza y riesgos para la salud. Por estas razones, existe la necesidad de buscar alternativas sostenibles para el reciclaje de residuos sólidos en el mundo. El compostaje ha sido uno de los usos más evaluados para el reciclaje de residuos orgánicos procedentes de zonas urbanas Angulo, et al, (2012).

1.3 BIOTRANSFORMACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS

En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado (Jaramillo & Zapata , 2008).

En la Tabla 1, se muestra la composición de los residuos sólidos municipales en diversos países de América Latina.

Tabla 1. Composición de los residuos sólidos municipales en diversos países de América Latina (porcentaje en peso).

PAÍS	% DE MATERIA ORGÁNICA
México	43
Costa Rica	58
El Salvador	42
Perú	50
Chile	49
Guatemala	63,3
Colombia	52,3
Uruguay	56
Bolivia	59,5
Ecuador	71,4
Paraguay	56,6
Argentina	53,2
Trinidad y Tobago	27

Fuente: (Tomado de:) Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. 2008

De la Tabla 1, se estima que aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento; el resto es confinado en vertederos o rellenos sanitarios; otro porcentaje es dispuesto inadecuadamente en botaderos o es destinado a la alimentación de cerdos, sin un debido control y procesamiento sanitario (Jaramillo & Zapata , 2008).

La clasificación cualitativa de los residuos orgánicos procedentes de las plazas de mercado local muestra que la mayor parte de los mismos corresponde a tubérculos y frutas enteras de mala calidad o con diferente grado de descomposición (papas, naranjas, mandarinas, papaya) con porcentajes que en

promedio son mayores al 20%. Los residuos son así mismo ricos en cáscaras de papa, yuca, plátano, frutas (naranja, banano, papaya) y hortalizas (cebolla, repollo) con porcentajes superiores al 15%; cabe destacar el elevado contenido de cáscaras de papa que en algunas muestras alcanzó porcentajes mayores al 40%. Finalmente, se encuentran en menor proporción frutas y verduras no aptas para el consumo humano, como tomate, piña (pulpa y cáscara), mango, papayuela, pepino, así como diferentes desechos como bagazo de plátano y de choclo, pasto y ramas. De la clasificación realizada se puede inferir que estos residuos tienen un mayor contenido de almidón que de celulosa, lo que se comprueba al realizar su caracterización físico-química (Cardona , Sánchez , Ramírez , & Alzate , 2004).

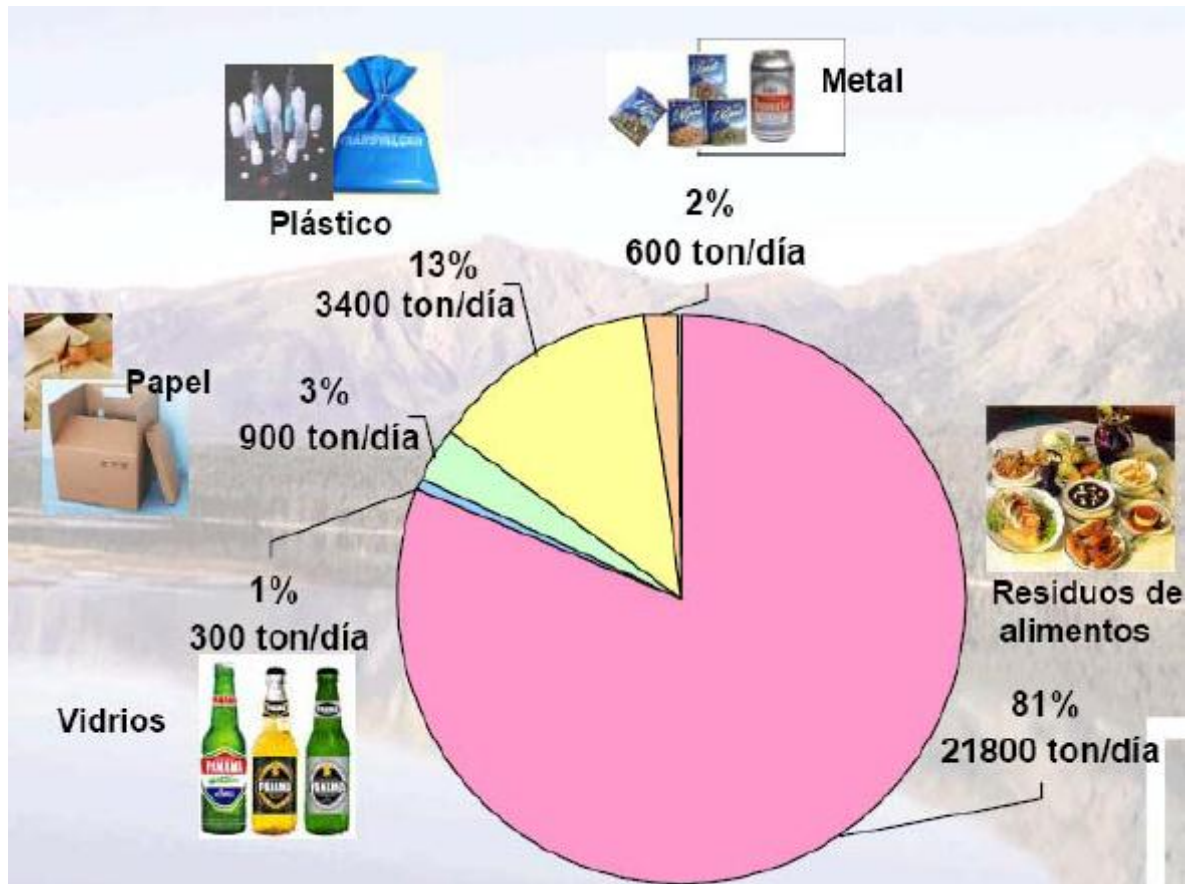
En un estudio realizado por Angulo, et al, en la plaza minorista de Antioquia, se clasificaron los residuos en cuatro grupos: donde Frutas y Verduras se componen de 43% de frutas, 30% de verduras y 27% de tallos, hojas, envolturas de hoja, mazorcas de maíz, raíces, basura, y otros. En el grupo 1 figuran las naranjas y el repollo, que son los productos que se encuentran en la mayor cantidad y frecuencia de los residuos y en el grupo 2 se encuentran la acelga, tomates, plátanos, lechuga, limones, papayas, los tallos, las hojas y envoltorios de mazorcas de maíz y , que se encuentran en cantidad y frecuencia de los residuos; El grupo 3 contiene mangos, productos de alta cantidad, mas no de frecuencia, ya que son encontrados en temporada de producción, en los residuos orgánicos, y en el grupo 4, se encuentran contenidos de aguacates, berenjena, papa, coliflor, diferentes frutas, calabazas, bulbos de cebolla, arracacha, tomate de árbol, cebolla, espinaca, pimienta común, remolacha, zanahoria, cilantro, apio, guayaba, sandías, brócoli, guanábana, pepinos, maracuyá, zapote, cítricos, plátano, piña y yuca, que son productos que se encuentran en menor cantidad y frecuencia. Hay diferentes aspectos que podrían influir en el tipo de producto presente en FV, incluyendo la ubicación geográfica del mercado, el período de cosecha, la

demanda de los productos, algunos comportamientos específicos en los mercados, así como las características de los productos y su manipulación (2012).

Este mercado es diferente de otros mercados principales en Colombia, como en Corabastos (ciudad de Bogotá), donde el residuo que contiene una mayor proporción de verduras (67,6%) de fruta. El mercado Minorista también es diferente de los resultados encontrados en otros países, como la India, donde los desechos de los mercados se componen de 85% de vegetales. Otro factor que debe tenerse en cuenta en la variación de la composición de Frutas y Verduras, es el período de cosecha. De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, la Frutas y Verduras del mercado minorista se compone de algunos productos básicos (especialmente los productos del grupo 1 y 2), que tenían un período de cosecha constante en la misma región o en regiones cercanas a el mercado durante todos los períodos de evaluación, mientras que hay otros productos que podrían estar presentes durante ciertos períodos del año (productos de los grupos 3 y 4) en función de su período de cosecha específica Angulo, et al, (2012).

Otros estudios dicen que en Colombia se genera alrededor del 81% de residuos sólidos orgánicos, como se evidencia en la Figura 2.

Figura 2. Composición física de los residuos sólidos en Colombia



Fuente: Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia, 2008.

Las alternativas existentes para el tratamiento y uso de los residuos orgánicos son principalmente procesos biológicos y térmicos. En cuanto a los procesos biológicos se puede hacer una distinción general entre procesos para la producción de biogás y para compostaje (ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & CORANTIOQUIA, 2006).

1.4 ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EMPLEANDO DIVERSOS MICROORGANISMOS

En la Tabla 2, se muestra algunas de las alternativas que están documentadas para aprovechar residuos sólidos agropecuarios.

Tabla 2. Alternativas para aprovechar residuos sólidos agropecuarios

RESIDUO	MICROORGANISMO	TRATAMIENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	REFERENCIAS
Cascaras de Cítricos	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> y <i>Escherichia coli</i>	Producción de Etanol. El estudio aplica Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF), que combina hidrólisis enzimática con la fermentación en el mismo recipiente al mismo tiempo. Las enzimas hidrolizan los polisacáridos en azúcares que son consumidos inmediatamente por la levadura para producir etanol. Los residuos tienen que ser pre tratados para eliminar D-	CPW se trató con vapor para eliminar D-limonena y esterilizar y suavizar la piel de los residuos antes de la SSF por <i>S. cerevisiae</i> SSF aumenta las tasas de hidrólisis mediante la reducción de la inhibición del producto de las enzimas y reduce el uso de tanque mediante la combinación de los tanques de sacarificación y fermentación en un tanque.	(Wilkins et al, 2007).

RESIDUO	MICROORGANISMO	TRATAMIENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	REFERENCIAS
		limoneno debajo de los niveles inhibitorios para levaduras antes de la SSF.		
Residuos de pulpa de piel de uva	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Extracción de pululano en los residuos de pulpa de piel de uva. Usado industrialmente en alimentos, en la industria farmacéutica, entre otras aplicaciones.	El pululano es normalmente recuperado del caldo de fermentación con etanol o metanol por precipitación. La determinación de pululano en mezclas, normalmente se lleva a cabo por hidrólisis con pululanasa seguido de estimación de la maltotriosa resultante con cromatografía, métodos de radiometría o de otro tipo.	(Arvanitoyannis et al, 2008)
Producción de enzimas lignocelulíticas	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Fermentación en estado sólido (SSF) para evaluar la producción de enzimas lignocelulósicos, es decir, la lignina peroxidasa, manganeso peroxidasa y lacasa de <i>P. chrysosporium</i> , con el uso de diferentes desechos agroindustriales, tales como residuos de pescado, lodos deshidratados, residuos de cervecería, residuos de manzana y pulpa y los lodos industria del papel.	Se utiliza como un indicador o medida de la cantidad de vida biomasa de hongos en el cultivo de estado sólido. Viabilidad de micelio fúngico roto en muestras que contienen sustrato micelio y residual se analizó con el método [17] el número más probable (NMP).	(Gassara et al, 2010)

RESIDUO	MICROORGANISMO	TRATAMIENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	REFERENCIAS
<p>Conversión de residuos de alimentos a Hidrógeno y Metano.</p>	<p><i>R. sphaeroides</i></p>	<p>Los residuos de alimentos, obtenidos en una cafetería, se diluyeron dos veces en volumen con agua del grifo, y luego rallados con un molinillo en piezas más pequeñas de 5 mm de diámetro. Los hidratos de carbono concentración se ajustaron a 30 g Carbo. DQO / L (g / L, tal como la demanda química de oxígeno de hidratos de carbono (COD)), y luego los residuos de comida fueron fermentados en lactato por un día sin la adición de inóculo externo o medio basal. El sobrenadante se utilizó para producir H2 por foto-fermentación, mientras que el residuo se utilizó para producir CH4 por AD.</p>	<p>La producción de biogás fue medida y ajustada a las condiciones estándar de temperatura (0 ° C) y la presión (760 mmHg) (STP). El contenido de H2, CH4, N2, CO2 en el biogás se determinó por cromatografía de gases (GC, Gow Mac serie 580) utilizando un detector de conductividad térmica y una columna de acero inoxidable de 1,8 mm empaquetada, usando helio como gas portador.</p>	<p>(Kim et al, 2013)</p>

RESIDUO	MICROORGANISMO	TRATAMIENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	REFERENCIAS
Bagazo de Caña como fuente de C en alimentación animal	<i>Streptomyces</i>	Fermentación en Estado Sólido (SSF)	Se encontró que la aplicación de los gases durante la SSF sin interrumpir el crecimiento del micelio y el contenido del sustrato es clave para la idoneidad de esta tecnología. Se logró obtener una proteína bruta de 21%, en bagazo después de 12 semanas de cultivo de una cepa fúngica de <i>Streptomyces</i> , lo que resultó en un 45% agotamiento de lignocelulosas.	(Pandey, Soccol, Nigam, & Soccol, 2000)

1.5 PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

El abono orgánico hace referencia a todo material orgánico empleado para el mejoramiento de la estructura del suelo y fertilización de cultivos. Los abonos orgánicos generalmente son de dos tipos: sólidos y líquidos. Los sólidos son llamados compost y los líquidos son los caldos Trofobióticos, actualmente en Colombia dado el interés y crecimiento del consumo de productos ecológicos, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, expidió la resolución N° 0074 del 4 de abril de 2002, por medio de la cual establece el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaclado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos. En el Artículo 5 del Capítulo III de dicha resolución indica que los sistemas de producción agropecuaria ecológica utilizan insumos que aumentan la actividad biológica del suelo y balancean el equilibrio biológico natural (Gómez & Tovar , 2008).

Se considera un abono orgánico todo material de origen animal o vegetal que se utilice principalmente para mejorar las características del suelo, como fuente de vida y nutrientes al suelo (Soto & Meléndez , 2004).

Existen diferentes alternativas y métodos para el aprovechamiento de los residuos sólidos agropecuarios, dentro de las cuales se destacan la producción de abono Tipo Bokashi, Caldos Trofobióticos y compostaje.

1.5.1 Producción de Abono Tipo Bokashi

El Bokashi es un sistema de preparación de abono orgánico de origen japonés que puede requerir aproximadamente 10 o 15 días para estar listo para su aplicación; sin embargo, es mejor si se aplica después de los 25 días, para dar tiempo a que sufra un proceso de maduración. Bokashi significa fermento suave (no obstante es un tipo de compost) y es considerado un buen abono para las plantas, ya que utiliza diversos materiales en cantidades adecuadas para obtener un producto equilibrado y se obtiene de un proceso de fermentación (Picado & Añasco, 2005).

La preparación del abono compostado tipo Bokashi comprende un proceso de integración de elementos benéficos para el suelo, producto de una fermentación aeróbica de residuos vegetales y animales (Gómez & Tovar , 2008).

Tradicionalmente el Bokashi se prepara con cascarilla de arroz, gallinaza, materia orgánica, levaduras, carbón, carbonato de calcio (CaCO_3), semolina de trigo y melazas de caña, estos materiales pueden ser sustituidos por residuos que aporten una cantidad similar de los mismos nutrientes al proceso (Picado & Añasco, 2005).

El contenido de Bokashi elaborado con desechos agrícolas resulta ser igual o mejor que el contenido de nutrientes del Bokashi tradicional. Esto indica que residuos como el raquis del banano puede ser usado como sustituto de la cascarilla de arroz en la elaboración del Bokashi. El banano, la yuca o el ñame, pueden ser usados como sustitutos de la semolina de trigo, la porcinoza o

bovinaza, pueden ser sustitutos de la gallinaza, siendo la porcínaza de mejor calidad como fuente de Nutrientes. (Leblanc, Cerrato , & Vélex, 2005)

1.5.2 Caldos Trofobióticos

Los caldos Trofobióticos son preparados orgánicos producto de la fermentación anaeróbica (parcialmente de tipo alcohólico) de estiércol fresco de bovino y agua natural enriquecidos con minerales. Las fermentaciones en condiciones anaeróbicas incompletas liberan una serie de moléculas parcialmente degradadas que son las que finalmente constituyen los nutrientes en los abonos. (Gómez & Tovar , 2008).

El uso de los Abonos Líquidos Fermentados como fertilizantes foliares se ha difundido en diversos países sin una base científica que describa su modo de acción y demuestre su efectividad. Los Abonos Líquidos Fermentados son utilizados con el objetivo de estimular crecimiento y desarrollo de las plantas, a la vez que mejorar la vida microbiana del suelo. Sin embargo, los agricultores no cuentan con información científica acerca de los procesos que conllevan la utilización de los Abonos Líquidos Fermentados y tampoco han validado sistemática y objetivamente su uso; los conocimientos que poseen provienen de talleres prácticos, boletines informativos e intercambio entre los productores (Galindo , Jerónimo , Spaans , & Weil , 2007).

1.5.3 Compostaje

El compostaje es la transformación de estiércol animal, residuos de alimentos, frutas y jardín por acción de los microorganismos descomponedores en abono orgánico. Es un proceso de descomposición biológica oxidativa de los

constituyentes orgánicos de los materiales de desecho, que se realiza bajo condiciones controladas sobre sustratos sólidos orgánicos heterogéneos, originando un producto que representa grandes beneficios cuando es adicionado al suelo. En el compostaje se pueden diferenciar cuatro periodos atendiendo a la evolución de la temperatura; en el periodo mesofílico, la masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente, la actividad metabólica de estos microorganismos eleva la temperatura presentándose el periodo termofílico donde invaden los microorganismos termófilos que producen ácidos orgánicos y transforman nitrógeno en amoníaco. Al descender la temperatura aparecen nuevamente mesófilos como bacterias esporáneas y actinomicetos que descomponen la celulosa, en este periodo de maduración se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus, la estabilidad del compost se da por el grado de descomposición de la materia orgánica (Obando , Munoz, & Bravo , 2009).

1.6 COMPOSTAJE COMO ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS AGROPECUARIOS

El compostaje es una descomposición aeróbica biológica de los materiales orgánicos en los que las condiciones se controlan estrictamente con el fin de ayudar a los microorganismos termófilos para transformar materiales orgánicos en un producto estable, parecido a la tierra. Un proceso de compostaje ocurre de manera similar en la naturaleza cuando los materiales se descomponen por los microorganismos presentes en el suelo. Sin embargo, las tasas de descomposición son tan lentas que algunos materiales casi no muestran ningún signo de descomposición. Con el fin de aumentar estas tasas de compostaje y el uso para fines industriales, es necesario optimizar el crecimiento microbiano. El

proceso de compostaje se inicia por las bacterias mesófilas, que son biológicamente activas a temperaturas de entre 30 y 45 °C. La degradación de los resultados de la materia orgánica en la producción de calor, se da a través de las reacciones exotérmicas. Por lo tanto, la temperatura aumenta a 50-60 °C facilitando así el crecimiento de bacterias termófilas. Las bacterias termófilas pueden aumentar aún más la temperatura con su actividad y, si no se controlan cuidadosamente las condiciones, la temperatura puede superar los 70 °C, lo que conduce a una menor actividad. Con el fin de evitar esto y conseguir la máxima eficiencia, las condiciones necesitan ser optimizadas. Esto significa que se debe optimizar la concentración de oxígeno, pH, contenido de humedad, relación carbono, nitrógeno (C: N) y el tamaño de partícula (Thassitou & Arvanitoyannis, 2001).

El proceso típico de compostaje se puede dividir en cuatro fases. En la primera fase, las bacterias mesófilas descomponen los sustratos solubles y rápidamente son biodegradables, en el rango de temperatura de 25-35 °C. Durante esta fase, la temperatura se eleva rápidamente debido a que el calor producido por estas reacciones permanece atrapado en el material de compostaje debido a su baja conductividad térmica. La segunda fase se inicia cuando la temperatura alcanza los 40 °C: las bacterias mesófilas se vuelven menos competitivas y se sustituyen por organismos termófilos, cuyo crecimiento aumenta aún más la temperatura a su rango óptimo de 55-65 °C. Esta alta temperatura favorece la degradación de las proteínas, grasas e hidratos de carbono complejos; aún más, por encima de 55 °C, la mayor parte de los microorganismos patógenos están desactivados por encima de los 65 °C. Hasta los organismos termófilos se ven seriamente perjudicados. A continuación, la tercera fase se produce, cuando el calor generado por las bacterias es equilibrada por las pérdidas de calor, lo que resulta en una temperatura constante. La cuarta y última fase, denominada "curado", se caracteriza por una progresiva disminución de la temperatura debido a la

mineralización de sustrato y la disminución de la actividad microbiana (Giusti & Marsili , 2010).

Con la utilización de plantas de compostaje, la cantidad de basura destinada para la disposición final en un relleno o botadero se puede reducir a un 50 %. Este porcentaje puede variar según la composición de la basura. En caso que los desechos reciclables sean recogidos separadamente y los desechos orgánicos sean compostados, el porcentaje de la basura descargada en el relleno puede reducirse a un 35 - 40 % (Roben , 2002).

En la Tabla 3, se muestran diferentes usos de residuos agropecuarios para la producción de compost y posterior uso en actividades agrícolas de labranza.

Tabla 3. Uso del Compost en la Agricultura

APLICACIÓN	OBJETIVO	CANTIDAD NECESARIA DE COMPOST (KG/M ²)	FRECUENCIA DE APLICACIÓN
Preparación del terreno	Mejorará la calidad de la tierra	Menor a 15 Kg/m ²	Una vez
Cultivo de papas, zanahoria y legumbres semejantes	Enriquecimiento de la tierra	3 – 5 Kg/m ²	1 a 2 años
	Uso como abono	3 – 6 Kg/m ²	
Trigo, Avena, cebada, Centeno, Maíz	Enriquecimiento de la tierra	2 – 4 Kg/m ²	1 año
	Uso como abono		
Pasto, pradera	Enriquecimiento de la tierra	3 – 6 Kg/m ²	1 a 2 años

Fuente: Roben (2002).

Durante el proceso de compostaje se produce una disminución en peso de los residuos orgánicos tratados, y en cada una de las etapas se producen cambios en numerosas propiedades químicas, físicas y biológicas de los materiales orgánicos, hasta llegar a la formación de moléculas polimerizadas de naturaleza húmica (Defrieri, Jiménez , Efron , & Palma , 2005)

El compostaje es un proceso mediante el cual diversos sustratos orgánicos se descomponen y estabilizan debido a la acción de una población mixta de microorganismos, obteniéndose un producto final denominado compost. Este, se construye con el estiércol de los animales de granja (aves, caballos, vacas, ovejas o cerdos), residuos de cosechas, desperdicios orgánicos domésticos y papel. En la Tabla 4, se describen las fases de la fermentación (Roben , 2002)

Tabla 4. Fases de Fermentación en el Compostaje

Fases de fermentación	Características
1	La temperatura del material aumenta rápidamente y empieza el proceso de biodegradación. La temperatura puede subir hasta 75°. Esto es equivalente al grado 1 de madurez. Los microorganismos provocan una degradación de componentes fácilmente degradables como: azúcares, grasas, proteínas, almidón.
2	La temperatura sigue manteniéndose en un nivel relativamente alto por causa del calor producido por la actividad microbiológica. En esta fase, la biodegradación se realiza por bacterias termófilas (grado 2 - 3 de madurez). La fase principal del compostaje puede durar entre 2 a 4 semanas en plantas mecanizadas, el doble, en plantas manuales.
3	El proceso de biodegradación se desarrolla más despacio y las emisiones también se disminuyen. En general, no hay necesidad de aireación o humedecimiento durante esta fase. Sin embargo, en

Fases de fermentación	Características
	esta fase es ventajoso continuar la mezcla revuelta y el movimiento del material para obtener un producto homogéneo e higiénico.
4	Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus

Un porcentaje de aproximadamente 50 % del material original se pierde durante la fermentación por causa de la evaporización y digestión microbiológica (Roben , 2002).

El compost orgánico brinda beneficios ya que es un acondicionador de suelos con características húmicas, libre de patógenos y malezas, que no atrae insectos ni vectores, el cual puede ser manejado y almacenado sin riesgo y benéfico al crecimiento de las plantas. Se han identificado tres funciones fundamentales del compost al aplicarse en suelos (ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & CORANTIOQUIA, 2006):

- El compost puede servir como fuente de materia orgánica para mantener o ayudar a la formación del humus del suelo (ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & CORANTIOQUIA, 2006)
- El compost puede mejorar el crecimiento de cultivos en la agricultura comercial y usos domésticos. Además, reduce los patógenos que atacan a las plantas y aumentan la resistencia a las enfermedades (ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & CORANTIOQUIA, 2006).

- El compost contiene valores apreciables de nutrientes como Nitrógeno, Fósforo y una variedad de elementos traza esenciales (ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & CORANTIOQUIA, 2006).

En la Tabla 5, se muestran valores óptimos de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, entre otros elementos que determinan la calidad del abono orgánico:

Tabla 5. Contenidos de niveles óptimos para abonos orgánicos

CARACTERÍSTICA	NIVEL ÓPTIMO
% Nitrógeno	Mayor a 2
% Fosforo	0,15 – 1,5
CICE (meq/100g)	75 – 100
C:N	Menor a 20
Humedad	Mayor a 40%
Color	Negro a café oscuro
Olor	Tierra

Fuente: Soto y otros (2004).

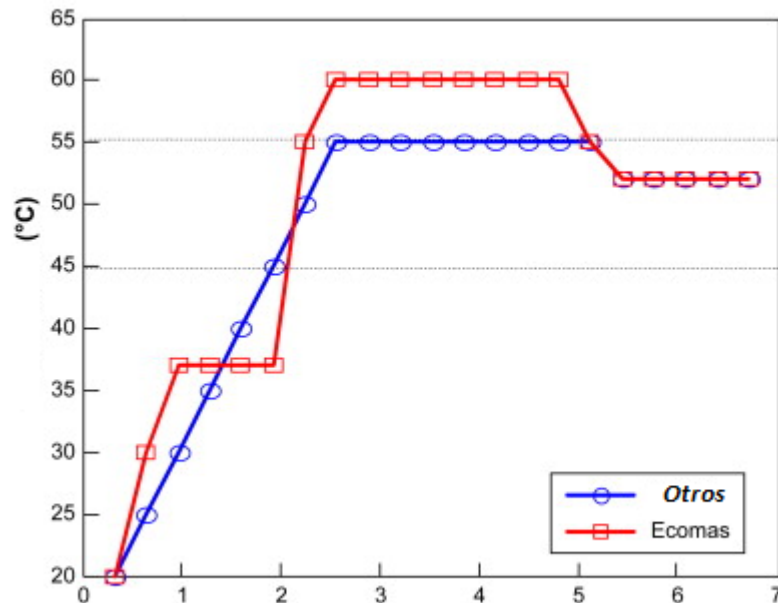
Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son: temperatura, humedad, pH, Oxígeno, relación C/N equilibrada, población microbiana, los cuales son descritos a continuación:

1.6.1 Temperatura.

La temperatura es uno de los factores más importantes que gobiernan la velocidad de las reacciones bioquímicas (Defrieri et al, 2005). Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas altas, varios microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados (Jaramillo & Zapata , 2008).

En un estudio realizado por Giusti y Marsili (2010), se compara la parte inicial (Primeras dos fases) de dos formas típicas de temperatura: el utilizado por ECOMAS, que alcanza una temperatura más alta que la otra y se utiliza normalmente en la práctica de compostaje para asegurar una desinfección a fondo. En la segunda semana (no mostrada) las dos curvas coinciden y mantienen una temperatura suficientemente alta para mantener la desinfección y la actividad de los microorganismos termófilos. Los datos utilizados para elaborar el modelo han sido facilitadas por ECOMAS (Burchi, 2008) y el vino de la biotunnel se muestra en la figura. 2 opera en el sur de Italia. El flujo de aire es modulada por la entrada de la válvula on / off y soplado en el compost a través de una serie de bocas. La caída de presión es un indicador del estado encendido / apagado de la válvula de entrada. Un termopar mide continuamente la temperatura T y salida del aire de escape antes de entrar en el biofiltro para la reducción de olores (Giusti & Marsili , 2010).

Figura 3. Perfiles de temperatura típicos de la primera mitad de las dos semanas de lotes de compostaje.



Fuente: Fuzzy modelling of the composting process, Environmental Modelling & Software, p. 641

La receta ECOMAS prescribe una temperatura más alta para asegurar la desinfección. En la segunda semana las dos curvas coinciden y mantienen una temperatura suficientemente alta para mantener la desinfección y la actividad termófilos.

1.6.2 Humedad.

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es

excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75-85 % mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50-60% (Roben , 2002).

1.6.3 pH.

El pH influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6- 7,5) (Defrieri, Jiménez , Efron , & Palma , 2005).

1.6.4 Oxígeno.

El Oxígeno es necesario para que los microorganismos puedan descomponer eficazmente la materia orgánica. Debe ser suficiente para mantener la actividad microbiana sin que en ningún momento aparezcan condiciones anaerobias, que además de entorpecer el proceso, dan lugar a la aparición de olores y a un producto de inferior calidad. Es necesario en el proceso, un buen aporte de Oxígeno. La base principal del proceso de fabricación del compost es una buena aireación de la masa. La demanda de aire está calculada en torno a 15-20 m³/Tm/día, y depende de muchos factores, como el material, la textura, la humedad, o la manera y frecuencia de voltear la pila (Estrada & Reyes , 2001).

1.6.5 Relación C/N.

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que

exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N baja no afecta el proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. (Confesor, Hamlett, Shannon , & Graves, 2009).

Los microorganismos necesitan Carbono como fuente de energía y, junto con el Nitrógeno, para la síntesis de proteínas y estructuras celulares. Si la relación C:N excede 25, entonces los microorganismos degradarán la materia orgánica si hay suficiente Nitrógeno disponible para ellos en el medio, causando una inmovilización temporal de ese Nitrógeno. Cuando la relación C:N es baja, por ejemplo menor que 20, la materia orgánica es degradada fácilmente, el Nitrógeno es temporalmente inmovilizado dentro de los microorganismos, al morir estos el Nitrógeno será liberado al medio. Cuando la relación C:N se encuentra entre 20 y 25 ambos procesos, mineralización e inmovilización estarán ocurriendo aunque en general terminarán liberando Nitrógeno al llegar a un equilibrio determinado (Cerrato , Leblanc , & Kameko , 2007).

El nitrógeno es el nutriente que más a menudo limita la producción de cultivos, especialmente en suelos alcalinos. El nitrógeno orgánico es también una de las entradas más costosas de la agricultura ecológica, por lo general cuatro o cinco veces más alto que los fertilizantes nitrogenados sintéticos convencionales (Gross , Guy , Posmanik , Pinchas , & Nejidat , 2012)

1.6.6 Población Microbiana.

El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, realizado por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos. Las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, actinomicetos, hongos, algas y protozoos, no necesitan ser adicionadas al compost, pues se encuentran en su naturaleza microbiana. El metabolismo es el 80% de la materia orgánica y se emplea para producir energía (catabolismo). El calor generado está entre 30 y 40 MJ/kg de C. Los microorganismos descomponen la materia orgánica dando lugar a CO₂, H₂O y Humus. Las bacterias son el 80-90 % de la biomasa del compost, responsables de la mayor parte de descomposición de la materia orgánica y de la generación de calor (Pucha , Ramos , Morales , Novoa , & Romero , 2009).

1.7 COMPOSTAJE COMO ACONDICIONADOR DE SUELOS

El compost es un producto valioso como acondicionador del suelo porque mejora las características generales del suelo, dando como resultado, menor erosión, mejor retención de la humedad, mejor germinación de la semilla, mejor crecimiento de las plantas (raíces más fuertes y una mejor supresión de la enfermedad), y la necesidad de menos fertilizantes sintéticos. El compost aumenta la eficiencia de los fertilizantes mediante la reducción de la escorrentía y hace que el fertilizante esté más disponible para las plantas durante un período más largo (el compost se une molecularmente al fertilizante y lo mantiene listo para uso de la planta). Además de los usos agrícolas, el compost es un excelente producto para la aplicación a las tierras erosionadas (Hezhong, Jiajia , Jiming , & Long , 2013).

Con el compostaje se disminuye la cantidad de material enterrado, siendo un método económico y eficaz. El producto es empleado como acondicionador de suelos debido a que nutrientes y materia orgánica pueden potencialmente retornar a ellos. Además, mejora la estructura del suelo y la fertilidad y el crecimiento de las plantas; de esta manera, se contribuye con la sostenibilidad de la producción agrícola y con la mitigación de los impactos generados por el manejo de este tipo de residuos (Lozano , Zabala , & Rojas , 2008). Sirve como fuente de nutrición natural para las plantas, mantiene la humedad del suelo, permite el desarrollo de los microorganismos benéficos, que a su vez ayudan a prevenir las plagas y enfermedades de las raíces, mejora las propiedades físicas del suelo como textura, estructura y porosidad, es más económico, se puede producir fácilmente y aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios (Puerta , 2012).

Los materiales orgánicos son aditivos del suelo importantes para mejorar las propiedades físicas del suelo. Esto es importante para mantener la productividad de los suelos sobre todo en regiones semi áridas, donde hay una baja de entrada de materiales orgánicos. El uso de materiales de base orgánica ha ganado importancia en los últimos años para la agricultura sostenible y la prevención de la degradación del suelo (Alago & Yilmaz, 2009).

Los hidrosolubles son compuestos constituidos por moléculas orgánicas de bajo peso molecular (aminoácidos, azúcares, purinas, etc.) y minerales como potasio, fósforo, magnesio y cobre, que lo hace recomendable como fertilizante foliar en el periodo de prefloración. Las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) constituyen la fracción del humus que se puede desprender por soluciones alcalinas. Los ácidos húmicos son polisacáridos poco modificados que presentan aumento de grupos fenólicos, carboxílicos y carbonílicos durante el compostaje. Los ácidos fúlvicos (AF) tienen su mayor acción sobre los minerales del suelo y

plantas, por su reactividad y bajo peso molecular favoreciendo el transporte de nutrientes, mejorando la productividad del suelo. Las huminas constituyen la materia orgánica evolucionada, insoluble en reactivos alcalinos, difícil de separar de la materia orgánica fresca debido a su unión intensa con las arcillas (Lozano , Zabala , & Rojas , 2008).

En la Tabla 6, se muestran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los abonos orgánicos y algunas de las acciones que estas propiedades cumplen en el suelo.

Tabla 6. Efectos del compost sobre el suelo

PROPIEDADES	ACCIÓN
FÍSICAS	Mejora la estructura y estabilidad del suelo, incrementa la porosidad, la permeabilidad del aire y la retención del agua.
QUÍMICAS	Incremento de la capacidad tampón, aumento del intercambio catiónico y del contenido de materia orgánica, incremento de los niveles de macro y micronutrientes esenciales.
BIOLÓGICAS	Favorece la coexistencia de diferentes especies de microorganismos, incrementa la microflora y la mesofauna como protozoos, rotíferos, nematodos y artrópodos, estimula la actividad microbiana y reduce la producción de patógenos.

Fuente: Tomado de: Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos (Puerta , 2012).

En muchos suelos agrícolas en los climas semiáridos y mediterráneos y, con exposición a la humedad cíclica y secado, se puede reducir la estabilidad de los agregados. A medida en que se incursiona en el pre tratamiento del suelo con sustancias húmicas derivadas del carbón puede aumentar la estabilidad de los agregados en los suelos expuestos a la humectación y el secado cíclico (Piccolo , Pietramellara, & Mbagwu, 1997).

La formación de agregados del suelo y la estabilidad de los agregados tienen un papel importante en la producción agrícola y la gestión sostenible de la agricultura. Tienen un papel importante en la relación semilla y el suelo, la conductividad hidráulica y la respiración de las raíces, la difusión de gases dentro del suelo y el crecimiento de las plantas. Por otra parte, los agregados estables en agua, previenen la erosión del suelo, que es uno de los principales factores de degradación del suelo. La estructura de la degradación del suelo se produce principalmente debido a la disminución de la materia orgánica dentro del suelo, causada por exceso de cultivos en el suelo (Alago & Yilmaz, 2009).

El uso de fertilizantes orgánicos, especialmente fertilizantes líquidos, dan como resultado, un pH del suelo estable y altos niveles de NO_3 durante el período de crecimiento. Además, aumenta el contenido de materia orgánica y poblaciones de microorganismos en el suelo, que pueden proporcionar beneficios de fertilidad a largo plazo y la mejora de la productividad de cebolla. La aplicación de fertilizantes orgánicos, permiten obtener un pH del suelo estable y un mayor contenido de materia orgánica y K intercambiable, lo que podría tener un efecto positivo en los cultivos (Lee, 2010).

Una buena estructura es importante para mantener la producción a largo plazo, en los suelos destinados a la producción de cultivos agrícolas, ya que influye en el estado del agua, trabajo, resistencia a la erosión, disponibilidad de nutrientes y el crecimiento y desarrollo de las plantas (Alago & Yilmaz, 2009).

Uno de los indicadores de una buena estructura del suelo es la estabilidad de los agregados del suelo en el agua, y esto se ve influenciado principalmente por la calidad y la cantidad de la materia orgánica en el suelo. La materia orgánica se considera viable para proporcionar los enlaces flexibles entre las superficies externas de los dominios de arcilla. Los principales polímeros de unión en la agregación se considera que son los hidratos de carbono. La estabilidad de los agregados del suelo fue altamente correlacionado con el contenido de materia orgánica, pero la adición de residuos de cultivos y estiércol no estaban solos para restaurar la calidad física del suelo. Subproductos orgánicos procedentes de procesos industriales representan una importante fuente de nutrientes, especialmente para la fertilización orgánica. A este respecto, la vinaza de remolacha, un subproducto final de la industria del azúcar, es un producto de gran interés agrícola, debido a su alto contenido de materia orgánica, el contenido de Nitrógeno (Alago & Yilmaz, 2009).

CONCLUSIONES

La caracterización de los residuos sólidos urbanos de origen vegetal muestra que sus principales componentes corresponden al almidón y la celulosa contenidos en productos tales como papa, naranja, mango y desechos relacionados, presentes en forma mayoritaria en los residuos analizados. Estos componentes son biopolímeros que se constituyen en la materia prima necesaria para diferentes procesos de biodegradación conducentes a la obtención de productos de valor agregado como jarabes azucarados y etanol, y a la estabilización y tratamiento de los residuos orgánicos con generación de biogás y compost (Cardona , Sánchez , Ramírez , & Alzate , 2004).

La relación C:N es un factor relevante en el proceso de mineralización de un abono orgánico, ya que los contenidos de C y N son esenciales para la vida y la reproducción de los microorganismos (Cerrato , Leblanc , & Kameko , 2007).

El compostaje de los residuos orgánicos estudiados tiene un comportamiento muy similar al de otros tipos de desechos orgánicos urbanos y de residuos agroindustriales que han demostrado su efectividad en la obtención de compost de alta calidad (Cardona , Sánchez , Ramírez , & Alzate , 2004)

La producción de abonos orgánicos, son una alternativa en los sistemas de fertilización en los diferentes cultivos, debido a su facilidad de manejo en un tiempo de elaboración lo que le permite al agricultor realizar un mejor y práctico aprovechamiento de los residuos generados de otros cultivos, solucionando también el problema de contaminación ambiental (Gómez & Tovar , 2008).

El compostaje como acondicionador de suelos, mejora la estructura del suelo y la fertilidad y el crecimiento de las plantas; de esta manera, se contribuye con la sostenibilidad de la producción agrícola y con la mitigación de los impactos generados por el manejo de este tipo de residuos (Lozano , Zabala , & Rojas , 2008).

La utilización de residuos orgánicos como acondicionadores de suelos, evita la mala disposición de los mismos, disminuyendo la contaminación del agua, suelo y aire, ahorrando recursos naturales (Puerta , 2012).

BIBLIOGRAFÍA

Acurio , G., Rossin , A., Teixeira, P., & Zepeda , F. (1 de Septiembre de 1998).

Cepis. Recuperado el 25 de Mayo de 2013, de <http://www.ciefa.org/acrobat/modulos/LECTURA%20DOS%20%20MODULO%20UNO%20RRSS.pdf>

Alago , Z., & Yilmaz, E. (2009). Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: A laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey. *Soil & Tillage Research*, 103, 419-424.

Angulo , J., Mahecha , L., Yepes , S., Yepes , Á., Bustamante , G., Jaramillo , H., . . . Villamil , T. (2012). Nutritional evaluation of fruit and vegetable waste as feedstuff for diets of lactating Holstein cows. *Journal of Environmental Management*, 210-214.

Angulo, J., Mahecha , L., Yepes , S., Yepes , Á., Bustamante , G., Jaramillo , H., . . . Gallo , J. (2012). Quantitative and nutritional characterization of fruit and vegetable waste from marketplace: A potential use as bovine feedstuff? *Journal of Environmental Management*, 203-209.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & CORANTIOQUIA. (2006).

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá 2005-2020. Medellín : AMVA, UdeA & Ainsa.

Cardona , C., Sánchez , Ó., Ramírez , J., & Alzate , L. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, VI(2), 78-89.

Castillo , E., Cristancho , D., & Arellano , V. (2006). Study of operational conditions for anaerobic digestion of urban solid wastes. *Waste Management*, 546-556.

CENTRO DE ESTUDIOS Y DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA. (2012).

Biomasa de Residuos Agrícolas en el Departamento de Antioquia . Medellín : Editorial Universidad Pontificia Bolivariana .

Cerrato , M., Leblanc , H., & Kameko , C. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical, Sostenibilidad, Ambiente y Sociedad, Revista de la Universidad Earth.*, 3(2), 183-197.

Confesor, R., Hamlett, J., Shannon , R., & Graves, R. (2009). Potential Pollutants from Farm, Food and Yard Waste Composts at Differing Ages: Leaching Potential of Nutrients Under Column Experiments. Part II. *Compost Science & Utilization*, 17(1), 6-17.

Defrieri, R., Jiménez , M., Efron , D., & Palma , M. (2005). Utilizacion de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje. *A GRISCIENTIA*, XXII(1), 25-31.

Estrada , J., & Reyes , M. (2001). *Tratamiento de desechos y desperdicios vegetales en la floricultura Colombiana* . Cundinamarca: Universidad de la Sabana.

Galindo , A., Jerónimo , C., Spaans , E., & Weil , M. (2007). Los abonos líquidos fermentados y su efectividad en plántulas de papaya (*Carica Papaya L.*). *Tierra Tropical, Sostenibilidad, Ambiente y Sociedad, Revista de la Universidad Earth*, 3(1), 91-96.

García , L. (12 de Febrero de 2012). Administrador Plaza Rionegro.

Giusti , E., & Marsili , S. (2010). Fuzzy modelling of the composting process. *Environmental Modelling & Software*, 1(25), 641-647.

Gómez , A., & Tovar , X. (2008). *Elaboración de un abono orgánico fermentado a partir de residuos de flores (pétalos de rosa) y su caracterización para uso en la producción de albahaca (Ocimum Basilicum L.)*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.

Gross , A., Guy , O., Posmanik , R., Pinchas , F., & Nejdat , A. (2012). A Novel Method for Combined Biowaste Stabilization and Production of Nitrate-Rich Liquid Fertilizer for Use in Organic Horticulture. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(3), 1205-1214.

Hezhong, T., Jiajia , G., Jiming , H., & Long , L. (2013). Atmospheric pollution problems and control proposals associated with solid waste management in China: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 142-154.

Jaramillo , G., & Zapata , L. (21 de Enero de 2008). *Universidad de Antioquia*.
Recuperado el 12 de Marzo de 2013, de

<http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

Leblanc, H., Cerrato , M., & Vélex, L. (2005). Comparación del contenido de nutrientes de bokashis elaborados con desechos de fincas del trópico húmedo de Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 50-56.

Lee, J. (2010). Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae*, 124, 299-305.

Lozano , L., Zabala , F., & Rojas , I. (2008). Proceso de descomposición de los residuos vegetales de la Universidad Industrial de Santander mediante compostaje. *Revista de la Facultad de Ingenierías, Físico, Mecánicas UIS Ingenierías*, 7(2), 50.

Macías , M., Samani, Z., Hanson , A., Smith , G., Funk , P., Yu , H., & Longworth, J. (2008). Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource Technology*, 8288-8293.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO . (s.f.). SEMINARIO INTERNACIONAL GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS, SIGLO XXI. *Diagnóstico Sectorial en Colombia* (pág. 16). Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico Colombia.

Obando , D., Munoz, N., & Bravo , B. (2009). *Estudio prospectivo para el diseño de estrategias que contribuyan a disminuir la problemática de la contaminación ambiental generada por los residuos sólidos en la ciudad de Popayán, Departamento del Cauca al año 2016*. Popayán: Universidad Nacional Abierta y a Distancia .

Pandey, A., Soccol, C., Nigam, P., & Soccol, V. (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 74, 69-80.

Picado , J., & Añasco, A. (2005). Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. *Cedeco Agricultura Orgánica Recuperando el Futuro*. Costa Rica, San José: Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense CEDECO.

Piccolo , A., Pietramellara, G., & Mbagwu, J. (1997). Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma*, 75, 267-277.

Pucha , A., Ramos , R., Morales , R., Novoa , V., & Romero , F. (2009). Verificación y cuantificación de microorganismos involucrados en el proceso de compostaje aerotérmico de residuos de producción orgánica certificada. *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* (pág. 4). Ecuador: Secsuelo.

Puerta , S. (2012). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista la Sallista de Investigación*, 1(1), 56-65.

Roben , E. (2002). Manual de compostaje para municipios . Loja , Ecuador : Municipio de la Loja Ecuador.

Soto , G., & Meléndez , G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 48(72), 91-97.

Thassitou, P., & Arvanitoyannis, I. (2001). Bioremediation: a novel approach to food waste management. *Trends in Food Science & Technology* , 12(1), 185-196.

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Formación del Plan de Gestión Integral del Valle de Aburra PGIRS Regional (2006): *Aprovechamiento de Orgánicos. Universidad de Antioquia*. Convenio No. 325 de 2004. P. 9-96

Wilkins, M; Widmer, Wilbur W; Grohmann, Karel (2007). Simultaneous saccharification and fermentation of citrus peel waste by *Saccharomyces cerevisiae* to produce ethanol. *Department of Biosystems and Agricultural Engineering*, Oklahoma State University. United States USDA, ARS, SAA, Citrus and Subtropical Products Research Laboratory.