

## MODELO TECNOLÓGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLE EN COMPLEJOS RESIDENCIALES Y TURÍSTICOS

Luis Aníbal Sepúlveda Villada. Ing. Sanitario. Esp. Ing. Ambiental; Msc. Medio Ambiente y Desarrollo.  
anibalsepulveda@une.net.co

### 1. INTRODUCCIÓN

Los encuentros y pactos internacionales, liderados por países con economías muy consolidadas y altos desarrollos tecnológicos ponen de manifiesto permanentemente la complejidad y riesgos asociados con el manejo de los residuos sólidos y peligrosos, especialmente en los centros urbanos, donde las cantidades y características físico químicas de estos, exigen alta capacidad técnica y gerencial para resolver contingencias y para elaborar programas y proyectos de carácter preventivo y manejo planificado.

A la fecha se interpreta con más acierto, la necesidad de categorizar los residuos por origen, por tipología y caracterización, por estrategia y manejo, entre otros, y de acuerdo con ella, se han desarrollado y se investigan permanentemente, modelos, metodologías para cuantificar, caracterizar, prevenir, almacenar, recolectar, transportar, tratar, reciclar, aprovechar, valorizar, disponer, y reincorporarlos a los ciclos productivos, con generación de valor económico, ambiental y social que es necesario contabilizar para el que el valor total, sea incorporado a los balances de empresa o de ciudad y de esta forma argumentar decisiones acertadas.

Los balances de las autoridades ambientales, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de hoy, de la Procuraduría y Contraloría General de República, de la Superintendencia, de la CRA y algunas de carácter regional y local dan cuenta del déficit en desarrollo de gestión preventiva y la baja oferta de servicios para la recolección y el transporte **de residuos aprovechables** en el país, para generar todas las oportunidades de este reenfoque de la gestión de los residuos residenciales, comerciales, industriales no peligrosos, los hospitalarios, los de la construcción, los de podas, jardines y barrido, eléctricos y electrónicos, entre otros. (PROCURADOR GENERAL DE LA NACION, Informe preventivo: Gestión de residuos hospitalarios y similares en Colombia" Bogotá, 21 de agosto de 2008).

De acuerdo con la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Nieves, E., Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Taller de Operación de Rellenos Sanitarios, 2.009), en el país se generan actualmente cerca de 30.800 toneladas/día de residuos ordinarios, y según el Ministerio de Ambiente, las Corporaciones Autónomas Regionales, las Empresas de Aseo Urbano y caracterizaciones de los residuos como las de Medellín ( Empresas Varias de Medellín, UdeM, 2.009. Caracterización de los Residuos Sólidos), el **55% de estos es materia orgánica biodegradable**.

En las cuatro grandes ciudades del país, como manifiesta el Ministerio, (Seminario sobre el aprovechamiento y manejo de los residuos sólidos. Manizales. Mayo 5. 2004), la generación de residuos sólidos, es la siguiente: 4 grandes ciudades (Medellín, Bogotá, Cali y Barranquilla): 11.275 Ton/día, lo que equivale al (41%)

de residuos generados, solo Bogotá genera 6500 ton/día; en las 28 ciudades capitales se generan 5.142 Ton/día (18.7%) y en los 1054 municipios se generan 11.083 ton/ día (40.3%), y de acuerdo a la composición de los mismos, el 65% son residuos sólidos orgánicos.

En los grandes centros urbanos del país, se genera más del 70% de los residuos sólidos ordinarios, y su manejo se centra en una óptima recolección, transporte y disposición final en los rellenos sanitarios, **sin ninguna separación del componente orgánico**, aprovechamiento y por tanto se presenta la formación de líquidos lixiviados de gran capacidad contaminante e impacto en los cuerpos de agua. (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional-PGIR-R del Valle de Aburrá, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2.006).

A la fecha está diagnosticado que el país no ha desarrollado un programa y proyectos de aprovechamiento del componente orgánico a gran escala, por los altos costos económicos, sus complejidades logísticas, técnicas y empresariales que demandan. (Procuraduría General de la Nación, Informe, 2.006), en cambio, a nivel de pequeños y medianos municipios, se tienen muy buenos planes y acciones de separación en la fuente, recolección separada y aprovechamiento por medio del compostaje y lombricultivos.

El compostaje, se desarrolla en hileras, con aireación mecánica o volteos manuales, sin controlar eficientemente la generación de olores, vectores y lixiviados, por lo cual estos se caracterizan por su gran ineficiencia.

La separación y aprovechamiento de los residuos reciclables ha mejorado ostensiblemente en los últimos 8 años, en especial a partir del Decreto 1713/2.002 y la Resolución 1045/2.003, que exigió a los todos los municipios del país, formular y desarrollar los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, por lo cual hoy se tiene un 10-15% de aprovechamiento de este componente, no así en el caso de los residuos orgánicos biodegradables.

Una propuesta o modelo de gestión técnica de compostaje y esquema de participación socio ambiental en contextos urbanos, es una necesidad y herramienta de gran potencia, para incrementar aceleradamente los indicadores del aprovechamiento del componente orgánico en las ciudades colombianas, con gran impacto positivo sobre la operación de los rellenos sanitarios, el caudal y complejidad físico química de los líquidos lixiviados, la duración de los equipos y la disminución de riesgos de rechazo de los rellenos, la contaminación de cuerpos de agua superficial y subterránea

## **2. ALGUNOS RASGOS DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A NIVEL NACIONAL**

Uno de los trabajos que da cuenta de cuál es el estado del aprovechamiento de los residuos a mediana escala a nivel nacional, es el Estudio "DIAGNÓSTICO SECTORIAL DE PLANTAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS" (Correal, M; Superintendencia Servicios Públicos Domiciliarios, 2.008), a través del cual se caracterizan 34 sistemas a través de visitas directas a las mismas, localizadas en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Huila, Meta, Nariño, Santander, Tolima y Valle del

Cauca, construidas desde 1991, aunque la mayoría inició operaciones en el año 2002. Los sistemas son en un 79% de carácter municipal y el 21% de alcance regional.

Las plantas fueron financiadas en un 77% con recursos municipales, 8% de las CAR's y un 13% del Fondo Nacional de Regalías, son de capacidad variable, desde 3Ton/mes, rangos de 20 a 100Ton/mes, 100 a 700, 700 a 1000, y sólo 3 sistemas con capacidad mayor a 1000 ton/mes. De estas sobresale el Guacal en Heliconia, con capacidad para procesar 13,200 Ton/mes.

En sólo el 36% de los sistemas se aprovechan residuos separados en la fuente, especialmente en municipios pequeños. Durante los procesos de separación los residuos son agrupados en tres grandes grupos: Orgánicos, conducidos a procesos de compostaje o lombricultura para obtener compost o humus respectivamente.

Con relación al aprovechamiento de residuos orgánicos se estableció en 28 plantas evaluadas, que se hace a través de tres métodos: compostaje (54%), lombricultura (15%) y mixto en un 31 %. Según el estudio, en el compostaje aerobio, se tienen tiempos promedio de 79 días, mínimos de 30 y máximos de 180 días, por medio de pilas de alturas que oscilan entre 1m y 4.5m. Se afirma que la mayoría de las plantas inoculan sus pilas con microorganismos que ayudan a acelerar los procesos y a disminuir olores y entre los más utilizados se encuentran las bacterias comercialmente conocidas como EM (Microefectivas).

Algunas plantas funcionan con la combinación de compostaje y lombricultura, con resultados poco eficientes, caracterizados por un trabajo dispendioso de volteos y tiempos de proceso de 180 días en promedio, lo cual conduce finalmente a condiciones anaeróbicas, generación de olores, CH<sub>4</sub> y formación de cantidades considerables de lixiviados. Los rendimientos de los sistemas es variable y se reporta valores promedio del 33%, aunque según las cifras, estos valores no son confiables, ya que no se presenta consistencia en balances de masa, que permita establecer una relación consistente de toneladas de residuos orgánicos aprovechados, y toneladas de compost o lumbrihumus obtenidos.

Aunque el estudio no presenta procesos metodológicos de su elaboración, las conclusiones si permiten vislumbrar que el país carece aún de procesos homologados y competitivos para afrontar con eficiencia y seguridad económica, técnica y ambiental, los retos del aprovechamiento del componente orgánico. Esta debilidad es igualmente válida en materia de instrumentos e incentivos económicos dentro de la regulación tarifaria, para promover agresiva y decididamente, este nuevo reto de la gestión, lo cual seguramente será más claro en términos de decisiones gerenciales, cuando se aplique con ortodoxia el Decreto 3930/2010, sobre vertimientos y la Ley 1333 de Régimen Sancionatorio Ambiental.

### **3. ASPECTOS NORMATIVOS**

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial estableció en 1998 la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, la cual está orientada a promover procesos de minimización, aprovechamiento,

valorización, tratamiento y disposición final controlada de los residuos sólidos. En el mismo sentido articuló el Manejo Integral de los Residuo Sólidos con la prestación del servicio público de aseo, a través del decreto 1713 de 2002, que obliga a los municipios a elaborar, implementar y a mantener actualizado el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS. Posteriormente se adoptó la metodología para la adopción de los planes mediante la resolución 1045 de 2003 como una herramienta de planificación para contribuir a disminuir los impactos que generan los residuos sólidos, ya que tienen gran incidencia en la protección del ambiente y en la salud pública.

De manera específica, el aprovechamiento de residuos es objeto del artículo 17 de la Resolución 351/2005 de la CRA, el cual se le da un valor tan marginal, que genera como resultado, la indiferencia del usuario para ejercer conscientemente esta práctica. Además se incorporó en el Decreto 2820 del 2.010, la obligatoriedad de licenciamiento ambiental, los proyectos de más de 50.000 ton/mes. Una política nacional agresiva y el diseño de instrumentos económicos deben ser la estrategia que equilibre los riesgos de un mercado inexistente y rompa los desequilibrios económicos para quien visiona y decida incursionar en alternativas de aprovechamiento de residuos orgánicos biodegradables en Colombia.

#### **4. PROYECTOS Y METAS REGIONALES SEGÚN EL PGIRS REGIONAL**

Acorde con las propuestas, metas y estrategias en la Política Nacional para la Minimización Gestión Integral de Residuos del Ministerio del Ambiente, en 1998, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Área Metropolitana del Valle de Aburrá desarrolla planeamientos estratégicos para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, modelos/escalas de aplicación y las posibles alternativas para su implementación, considerando parámetros técnicos y ambientales para la producción de compost, de acuerdo con los requerimientos de las normas internacionales de calidad.

La estrategia de aprovechamiento de residuos orgánicos en urbanizaciones se posibilita gracias a los lineamientos de política nacional y regional con metas definidas. En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, con base en el PLAN REGIONAL, aprobado según Resolución Metropolitana 04 del 26 de Febrero/2006, se estableció para el año 2020, una meta de aprovechamiento del 10% de los residuos orgánicos, la cual a la fecha debe ser revisada, a la luz propuestas como la que se presenta en este artículo, ya que hoy tenemos la certeza de un MODELO TECNOLÓGICO de pequeña escala y de aplicación en sitio, que combinado con un proceso de organización y participación ciudadana, puede ser el fundamento para dar el gran salto en las metas y resultados de del aprovechamiento en contexto urbano, y demostrar en la práctica, alternativas viables, para hacer de la sostenibilidad ambiental, una praxis cotidiana.

Esta propuesta significa que para el año 2020, sobre la cantidad de residuos que se generarían, (48.500 toneladas/mes.) se puede replantear la meta del 10 al 20% de aprovechamiento, lo cual significa la desviación de 9.500 ton/mes hacia la producción de compost aprovechable en la agricultura urbana y peri urbana o rural. (PGIRS Regional del Valle de Aburrá, 2005).

## **5. LA ESTRATEGIA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES EN URBANIZACIONES.**

El mayor componente de los residuos sólidos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá corresponde a la materia orgánica biodegradables (son transformables por bacterias), con un porcentaje del 60%, de acuerdo con el promedio de las caracterizaciones realizadas en el año 2005 y la reportada para Medellín en el estudio “Sistema de información Geográfica del Servicio de Aseo para Medellín y sus 5 Corregimientos” (SIAM5) de empresas Varias de Medellín. (PGIRS Regional del Valle de Aburrá, 2005). En el Valle de Aburrá se generan aproximadamente 2.000 ton/día de residuos sólidos, de los cuales el 60% corresponden a orgánicos, equivalentes a 1.200 ton/día y el 70% de estos residuos (840 ton/día), provienen del sector residencial.

En la Región Metropolitana residen cerca de tres millones cuatrocientos mil habitantes de los cuales aproximadamente el 65.7% vive en urbanizaciones (Dane, 2005), por lo que la estrategia de centra en esta población.

La estrategia de aprovechamiento de residuos orgánicos se debe llevar a cabo en un escala grande, mediana o pequeña; El PGIRS Regional plantea la realización de estudios y definición de posibles sitios para la ubicación de plantas compostadoras en el Valle de Aburrá, en la región metropolitana, sin embargo aún no se tienen las condiciones tecnológicas y económicas para desarrollar un macro proyecto de cómo aprovechar la parte orgánica biodegradable de los residuos de las residencias, siendo el aprovechamiento de los residuos orgánicos en pequeña escala una alternativa viable que constituyen facilidades operativas, llevada a cabo inicialmente en zonas rurales y en solares de viviendas, en el marco de programas de seguridad alimentaria y de organización de las comunidades y ahora implementada en el contexto urbano.

A pequeña escala (viviendas individuales y urbanizaciones) se pueden desarrollar proyectos completamente seguros, el compostaje doméstico y/o el compostaje desarrollado en urbanizaciones, frente a la gestión tradicional de la fracción de residuos orgánicos municipales, presenta diferentes ventajas, como son: el hecho de evitar la recogida del residuo y su transporte a las plantas de tratamiento, la reducción del gasto en material y de inversión en infraestructuras y, en general, una reducción del costo de tratamiento; esto implica menos uso de la tierra y, por último, permite un control más específico de las procesos de compostaje y de la materia orgánica tratada. (Colón, *et al.*, 2010)

Una urbanización que aplique con disciplina los procesos de separación y aprovechamiento de residuos orgánicos puede reducir su tasa de aseo en un 25 al 35% adicional a la reducción lograda con el aprovechamiento de los residuos reciclables y por cada kgr. de residuo orgánico separado, se puede obtener 0.4 kg de compost, útil para las zonas verdes de la urbanización o para comercializarlo a partir de la demanda interna para jardinería de los socios del conjunto residencial.

## **6. METODOLOGIA**

### **LOS COMPONENTES DE LA ESTRATEGIA**

Convocatoria y selección de las urbanizaciones interesadas en participar, en el proyecto piloto se definieron los siguientes criterios de selección:

- Deben estar en un rango de 50 a 80 apartamentos.
- Tener un área disponible para el montaje de la compostera de aproximadamente: 20 a 25 m<sup>2</sup>, con piso duro en cemento y cubierto, por lo menos en el área donde estará ubicada.
- Disponibilidad de recursos para las adecuaciones físicas.
- Disponibilidad del operario o la persona encargada del proceso.
- Expresar formalmente y por escrito su disposición de participar activa y decididamente, con la aprobación del CONSEJO DE ADMINISTRADORA, en el desarrollo del proyecto.
- Preferencia a las unidades residenciales que posean el Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (PMIRS).
- Preferencia a las unidades residenciales que hayan participado en programas relacionados con el manejo y la separación de residuos sólidos con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y/o con los Municipios.
- Preferencia a las unidades residenciales que hayan asistido a jornadas que haya programado el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para explicar los alcances, objetivos y partes del proyecto.
- Permitir hacer visita de inspección física de las condiciones mínimas requeridas.
- Compromisos de las urbanizaciones seleccionadas con las responsabilidades que implica el proyecto, explicando claramente los beneficios del proyecto.
- Diseño y suscripción de instrumentos de compromisos.
- Sensibilización y capacitación para la separación de los residuos orgánicos en las residencias y definición de las rutas de recolección del residuo orgánico al interior de la urbanización.
- Construcción y dotación de la unidad de compostaje residencial para la urbanización seleccionada.
- Capacitación y entrenamiento del personal de recolección-operación de la unidad de compostaje.

En el proceso de compostaje dentro de la urbanización, se dan las siguientes actividades:

- Control rutinario de parámetros físicos de temperatura y pH.
- Determinación de cantidades aprovechadas, producto y características del proceso y producto obtenido.
- Entrega de compost a los residentes.
- Utilización del compost obtenido en la jardinería interna de la urbanización y/o comercialización.
- Socialización de resultados.

## **7. BASE TECNOLÓGICA DE LA ESTRATEGIA**

ACODAL ha desarrollado y probado un sistema propio, por medio de composteras cerradas, que usa principios bioquímicos de validez universal. El proceso de compostaje requiere que se cumplan las siguientes condiciones:

- Separación de la fracción orgánica en la fuente.

- Correcta proporción de los aportes de carbono/nitrógeno(C/N)
- Correcta humedad de la mezcla( % Humedad)
- Aireación adecuada y constante de la mezcla ( O<sub>2</sub>)
- Mantenimiento de la temperatura adecuada de la mezcla.(°T)

La compostera tiene las siguientes características que la hacen funcional en el proyecto de aprovechamiento de residuos orgánicos: (Ver Figura 1)

- Capacidad para 3000 litros equivalentes a 1500 kg de residuos orgánicos. Para la generación de residuos sólidos de 80 apartamentos aproximadamente.
- Dividida en 4 compartimentos, lo que permite el compostado ininterrumpido de las fracciones orgánicas que van llegando al sistema.
- De difícil acceso a insectos y roedores.
- En el proceso no se generan líquidos lixiviados ni malos olores.
- Permiten la aireación convectiva permanente del residuo.
- Fácil procedimiento de llenado y vaciado
- Están fabricadas por materiales resistentes a los procesos que se desarrollan en su interior; polipropileno 100% reciclado.
- Es estéticamente agradable, por lo que su ubicación en el sector residencial se hace más fácil.
- Tiene ruedas para la movilidad y permite el aseo de la zona de compostaje.
- Permite obtener el compost entre 30 a 35 días.



Figura 1. Compostera usada en las urbanizaciones.

El reactor utiliza la aireación pasiva o natural, el mecanismo de convección térmica, es probablemente el mecanismo de aireación pasiva en la mayoría de los sistemas de compostaje, el calor generado durante el proceso de degradación aumenta la temperatura de los gases presentes en los materiales, disminuyendo su densidad. Los gases calientes son liberados de la masa en compostaje, creando un vacío que provoca que el aire más fresco penetre. La eficiencia de este proceso depende de la diferencia de la temperatura entre los gases del interior y el aire del ambiente y de la mayor o menor resistencia del flujo del aire que penetra en la



masa del material que se está compostando, es decir, de la mayor o menor porosidad de los materiales implicados en el proceso. (Finstein 1983) citado por (Moreno & Joaquín, 2007)

## 8. EL PROCESO SOCIAL Y TÉCNICO PARA LOGRAR LA META

En la figura 2 se muestra el flujograma de proceso, el cual permite identificar aspectos críticos en el desarrollo del proyecto, ejemplo de esto son los retrasos a la hora de tomar la decisión de participar o no en el proyecto, reuniones con el consejo de administración de la urbanización y en ocasiones la decisión llega hasta las asambleas de propietarios, el inicio de las adecuaciones físicas de la zona de compostaje también toma su tiempo, los procesos de separación de residuos sólidos en fuente, siendo estos los aspectos críticos más significativos.



FLUJOGRAMA DE PROCESO

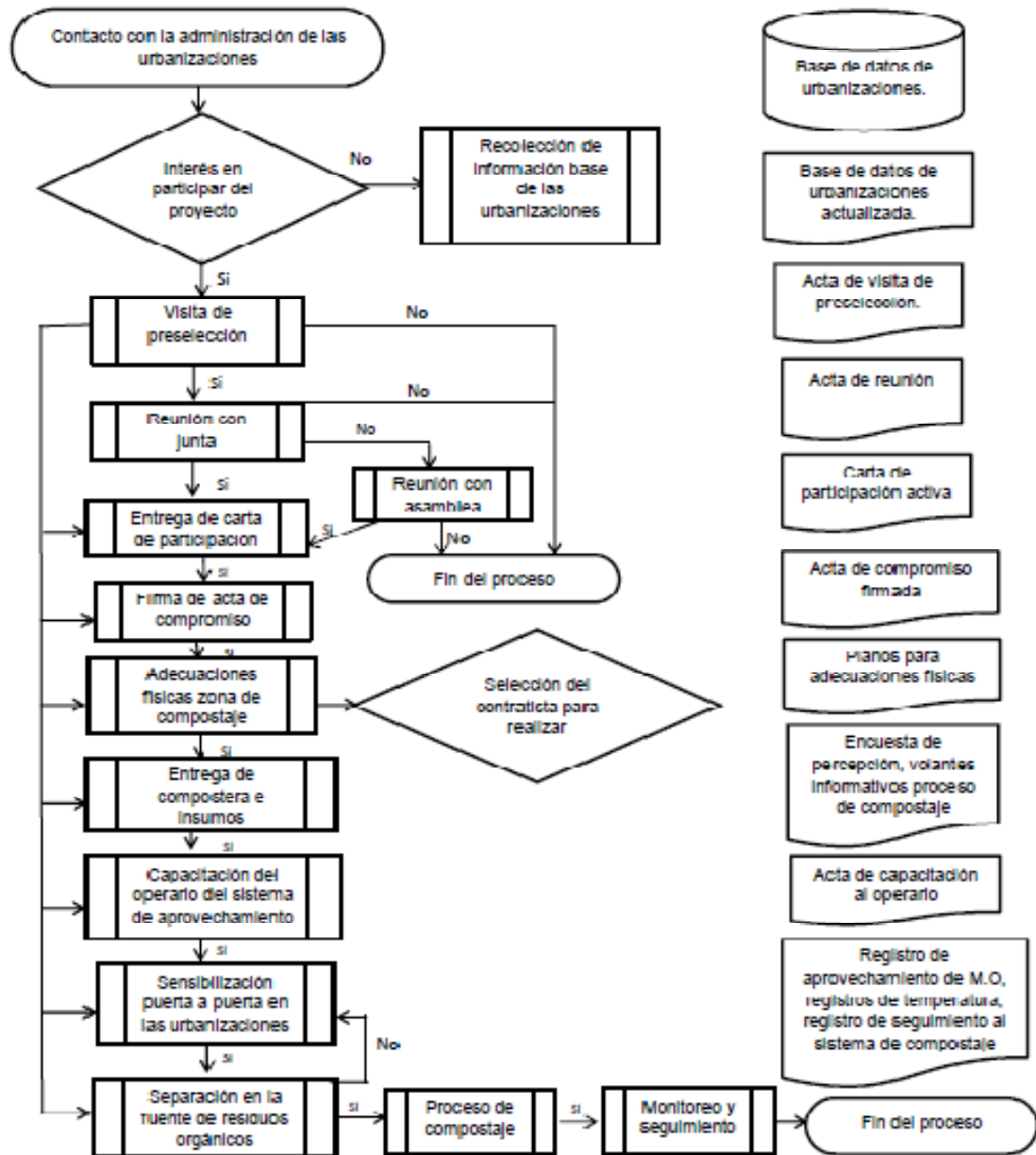


Figura 2. Flujoograma del proceso de aprovechamiento de residuos orgánicos biodegradables en urbanizaciones.

9. AVANCES Y RESULTADOS

A continuación se presenta en la tabla 1, el consolidado de urbanizaciones participantes en el convenio actual. La decisión ha sido tomada por las administraciones y en algunos casos por los Consejos de Administración. Se socializó el proyecto en 146 urbanizaciones para llegar a las 8 que desarrollaron el

proyecto, este avance en la gestión de sensibilización sobre el personal directivo, permitirá, ser más eficiente en el inicio del proceso, para una posible segunda etapa de proyecto con urbanizaciones. En la figura 3, se muestra la ubicación espacial de las urbanizaciones participantes en el proyecto.

Tabla 1. Urbanizaciones participantes en el convenio 387.

Nº	NOMBRE DE LA URBANIZACIÓN	NOMBRE DEL ADMINISTRADOR Y/O ENCARGADO	DIRECCIÓN	TELÉFONO PORTERIA	TELÉFONO ADMÓN	Nº DE APTOS	COMUNA
1	CONJUNTO SIEMPRE VERDE	JUAN FERNANDO PELAEZ	CLL 7 N° 83-31	3454219	300 6146240	402	16
2	CONJUNTO RESIDENCIAL EL TINAJERO	VICTOR HUGO ALVAREZ	CLL 47DD No 82A - 84	2649101	3422185 3165273700	50	12
3	FUENTES DE PERÚ	MARLENI ARCILA BUITRAGO	CLL 55 N° 43-45	2613878	318763496	80	10
4	ALCAZAR DE LOS PRADOS	NELIDA ECHAVARRIA	CLL 5D N°5 ESTE -64	2863973	3122297438	96	SAN ANTONIO DE PRADO
5	PRADOS DEL DUQUE	JAIRO TAMAYO	CLL 10 N°3-19	3764386	3104647141	95	SAN ANTONIO DE PRADO
6	PORTOALEGRE	MARTA CECILIA MACIAS	CRA 76 A 1-91	238 75 64	3427163	78	16
7	LAURELES CAMPESTRE	ALEXANDRA NARANJO	CLL 33C N°88A - 01	4967192	3536565	192	12
8	LOYOLA	JUAN FELIPE PINZÓN	CLL 49 N° 20-10	2693541	2267099 3016158166	190	9



Figura 3. Distribución espacial de las urbanizaciones participantes del convenio.

**CONSOLIDADOS DE RESIDUOS ORGÁNICO APROVECHADOS Y COMPOST OBTENDIO EN EL PROYECTO.**

**BALANCE DE APROVECHAMIENTO DE MATERIA ORGÁNICA.**

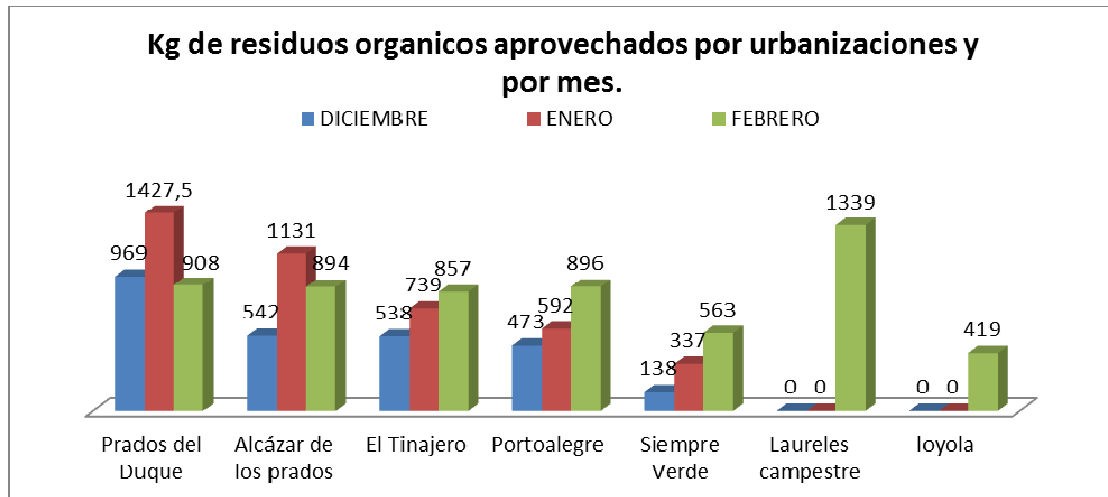
Se captaron **12.759** kg de residuos orgánicos separados en fuente en las 7 urbanizaciones participantes del proyecto, con la participación de 615 viviendas de 7 urbanizaciones localizadas en el Area Metropolitana del Valle de Aburrá y 8 composteras en funcionamiento; el porcentaje de aprovechamiento fue del 45% del potencial aprovechable el cual se calculó con una ppc de 0.200 kg/hab.día. En la Tabla 2 y gráfica 1 se presenta la captación de residuos orgánicos en las urbanizaciones durante tres meses de operación, desde diciembre de 2010 hasta el 28 de febrero de 2011.

En la tabla 2 se evidencia el porcentaje de participación de los residuos orgánicos captados, dado en el orden de mayor a menor participación, sobresale el aporte de la urbanización Prados del Duque con el 26 % del total captado, en las urbanizaciones Laureles Campestre y Loyola el porcentaje aportado es bajo pero se debe a que empezaron el proceso de compostaje en el mes de febrero (Ver Gráfica 1).

En la urbanización Siempre Verde se evidencia poca captación iniciando el proceso, por lo que fue necesario realizar actividades de sensibilización con mayor intensidad hasta que se alcanzaron mejores cantidades, mientras que en Laureles Campestres no fue necesario inicialmente realizar actividades de sensibilización y los niveles de captación fueron óptimos. En la Gráfica 1 se evidencia esta situación

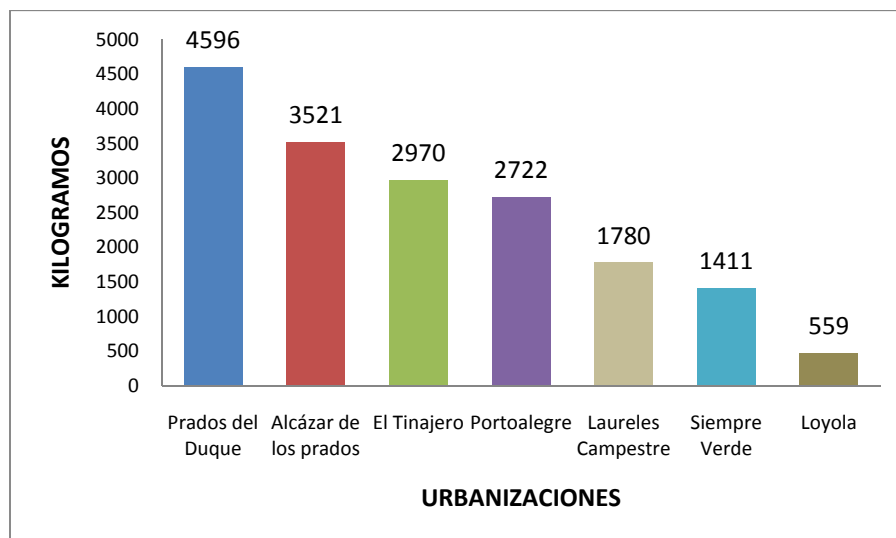
Tabla 2. Captación de materia orgánica en los procesos de separación en la fuente en las urbanizaciones participantes del proyecto piloto

Pesaje de materia orgánica								
Urbanización	N° Aptos	Diciembre	Enero	Febrero	Total general	% de participación	Potencial aprovechable	% Aprovechado
Prados del Duque	95	969	1427,5	908	3304	26	5.905	56
Alcázar de los prados	96	542	1131	894	2567	20	5.983	43
El Tinajero	50	538	739	857	2133	17	2.940	73
Portoalegre	96	473	592	896	1960	15	5.418	36
Siempre Verde	96	138	337	563	1037	10	4.430	30
Laureles campestre	82	0	0	1339	1339	8	1.747	59
Loyola	100	0	0	419	419	3	1.872	22
<b>Total general</b>	<b>615</b>	<b>2660</b>	<b>4226,5</b>	<b>5876</b>	<b>12.759</b>	<b>100</b>	<b>28.295</b>	<b>45</b>



**Gráfica 1.** Captación de residuos orgánicos aprovechados por urbanizaciones en el proyecto piloto.

Al material captado en las viviendas se les realizaron mezclas de materiales (aserrín, viruta y equinaza) lo que aumenta la cantidad de residuos aprovechados a **17.553 Kg.** de residuos orgánicos biodegradables, En el gráfico 2 se evidencia la participación por unidad residencial de la cantidad de orgánicos aprovechados.



**Gráfica 2.** Peso de materia orgánico biodegradable a compostar por urbanización

Se generaron **3.980 kg de compost** en tres meses en las 7 unidades residenciales y en las 8 composteras. En la tabla 3 se evidencia el balance de masas por urbanización, las pérdidas por evaporación fueron 5.516 kg; en procesos de compostaje en compartimientos de todas las urbanizaciones quedan 7.377 Kg y en procesos de maduración están presentes 680,5 Kg de material.

Tabla 1. Balance de masas obtenido por urbanización en el convenio.

Unidad Residencial	Cantidad de residuos depositados (kg)	Material de mezcla adicionado (kg)	Total Residuos Dispuestos (kg)	Material a maduración (kg)	Compost Maduro (kg)			Pérdida total de H2O		
					Cernido	Grueso	Total	Fase de compostaje	Fase Maduración	Total
Laureles Campestre	1.339	441	1.780							
Loyola	419	140	559							
Siempre Verde	1.037	374	1.411	274	66	32	97	305	13	318
Portoalegre	1.960	762	2.722	731	321	138	458	934	101	1.035
Tinajero	2.134	837	2.970	1.046	537	237	773	947	272	1.219
Alcázar de los Prados	2.567	955	3.521	1.232	615	352	966	1.191	116	1.307
Prados del Duque	3.304	1.286	4.590	2.178	984	702	1.686	1.340	297	1.637
<b>TOTAL</b>	<b>12.759</b>	<b>4.794</b>	<b>17.553</b>	<b>5.459</b>	<b>2.521</b>	<b>1.459</b>	<b>3.980</b>	<b>4.717</b>	<b>799</b>	<b>5.516</b>

#### CAPACIDAD UTILIZADA DE LA COMPOSTERA.

En la tabla 4 podemos observar la capacidad utilizada de la compostera por urbanización, la urbanización que ha utilizado en su totalidad la capacidad de la compostera es Prados del Duque y le sigue Alcázar de los Prados, pero cabe resaltar que Laureles Campestre cuenta con dos composteras en funcionamiento una de las cuales utiliza su capacidad al 100% y la segunda en un 20 % aproximadamente.

Tabla 2. Capacidad utilizada de la compostera por urbanización.

Urbanización	Capacidad de la compostera (ton/mes)	Residuos aprovechados (ton/mes)	% de capacidad utilizado
Prados del Duque	1,5	1,5	102
Alcázar de los prados	1,5	1,2	78
El Tinajero	1,5	1,0	66
Porto Alegre	1,5	0,9	60
Laureles Campestre	3	1,8	59
Siempre Verde	1,5	0,71	47
Loyola	1,5	0,56	37,3

## CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL COMPOST GENERADO EN URBANIZACIONES CON RESIDUOS SÓLIDOS SEPARADOS EN FUENTE

Para la realización de la caracterización físico-química y microbiológica del compost generado en las urbanizaciones se enviaron las muestras a los laboratorios del Grupo Interdisciplinario de Estudio Moleculares GIEM de la Universidad de Antioquia, Laboratorios autorizados, donde se analizaron las muestras según la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 "Productos para la industria Agrícola. Productos Orgánicos usados como abono o fertilizantes y enmiendas de suelo"; igualmente se tomaron muestras de parámetros del material crudo, con 15 días de proceso para monitorear los procesos de compostaje.

Los residuos generados en el proyecto piloto de aprovechamiento de residuos orgánicos en las urbanizaciones son separados en la fuente, recogidos y depositados en el reactor diseñado por ACODAL, en promedio la duración en el compostador fue de 23 a 25 días y posteriormente fueron llevados a un proceso de maduración con una duración de 7 días para un proceso de 30 a 33 días en promedio.

Se realizó análisis de residuos orgánicos crudos (sin mezclas), con 15 días de proceso en la compostera (contiene mezcla de aserrín, viruta y equinaza) y el compost obtenido, el proceso tiene 30 días en promedio para cada urbanización objeto del estudio; los parámetros que se determinaron fueron Porcentaje de cenizas, Carbónico orgánico, humedad, Nitrógeno orgánico total, relación C/N y pH (Ver Tabla 5). Igualmente se realizaron mediciones de temperatura.

Tabla 5. Parámetros físico-químicos de los residuos orgánicos crudos, con 15 días de proceso y los compost obtenidos.

Parámetro	Prados del Duque			Alcázar de los Prados			El Tinajero			Portoalegre		
	R.O. C*	15 días	Compost	R.O.C	15 días	Compost	R.O.C	15 días	Compost	R.O. C	15 días	Compost
Cenizas (%)	14,5	12,7	10,2	24,4	11,2	13,9	15,4	13,6	12,6	46,8	33,3	8,9
CO (%)	38,2	37,5	42	30	38,2	43,1	37,5	39	41,6	34,1	26,6	43,5
Humedad (%)	60,6	53	49,9	46,7	58,1	52,6	82,1	61,1	56,6	36,8	59	48
Nitrógeno orgánico total (%)	1,25	1,4	1,12	0,86	1,06	1,4	3,88	1,26	1,9	1,51	1,05	1,53
pH	8,23	7,7	7,75	7,8	8,2	7,5	8,57	7,12	7,17	8,1	8,01	7,73
Relación C/N	30,6	26,8	37,5	34,9	36	30,8	9,66	31	21,9	22,6	25,3	28,4

- R.O.C : Residuo Orgánico crudo

### CONTENIDO DE HUMEDAD.

El contenido de humedad es un factor limitante del proceso de compostaje. Si la humedad desciende por debajo del 40%, la actividad microbiana se relentiza, mientras que si excede el 65% se dificulta la circulación de aire a través de la masa (Domínguez, Elvira, & Sampedro, 1996), valores óptimo para el rango de humedad se encuentran entonces desde 40 hasta 60%. (Chiumenti, Chiumenti, Diaz, Savage,



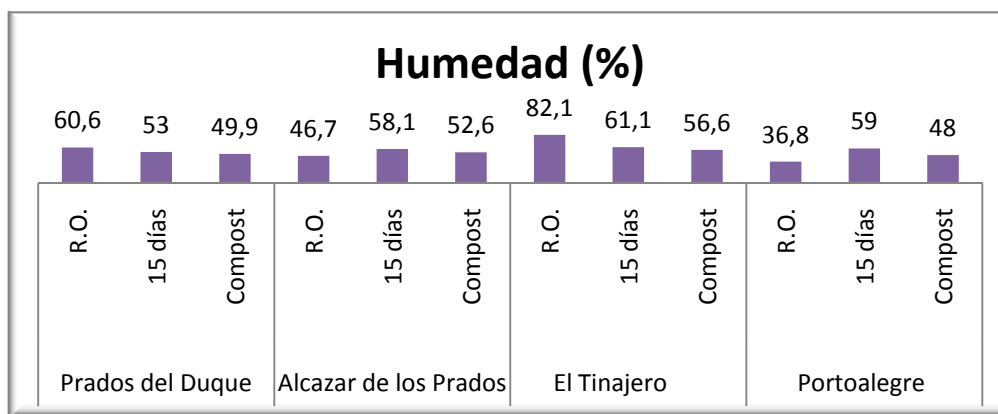
Eggerth, & Goldstein, 2005). Varios autores sitúan el contenido óptimo en humedad en torno al 55- 65% y consideran valores por debajo del 40% como condiciones de estrés hídrico (Finstein, 1985).

No obstante, es deseable un contenido en humedad moderado (30 – 40 %) en el producto final, con la finalidad de minimizar el transporte de agua y facilitar las operaciones de almacenaje. Según la Norma Técnica Colombiana 5167 el contenido de humedad para abonos orgánicos es:

- Para materiales de origen animal 20%
- Para materiales de origen vegetal 35%
- Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.

El residuo crudo de la Urbanización Prados del Duque, Alcázar de los Prados, El Tinajero y Portoalegre contiene 60,6 %, 46.7%, 82.1% y 36.8 de humedad respectivamente al comienzo del proceso, a los 15 días de proceso se reduce a 53 % en Prados del Duque, en Alcázar de los Prados se incrementa, en la urbanización El Tinajero baja a 61% y Portoalegre se incrementa. El contenido de humedad en el reactor se encuentra en rangos óptimos para el desarrollo eficiente de los microorganismos en el proceso de Compostaje.

El compost obtenido contiene 50 %, 52% 56% y 48 % de humedad, por lo que no cumple con la Norma Técnica Colombiana NTC, Ver Gráfica 3.



Gráfica 3. Contenido de humedad de los residuos orgánicos crudos, con 15 días de proceso y los compost obtenidos.

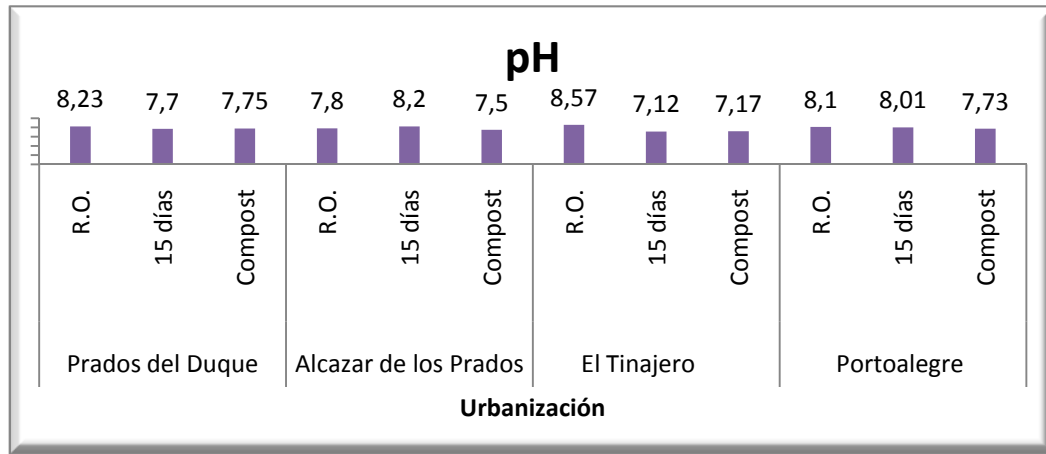
Es necesario ampliar la fase de maduración y/o darle más tiempo para el secado del compost obtenido, en el compostador se genera demasiada evaporación, la cual humedece de nuevo la materia contenida debido al diseño cerrado que tiene el reactor.

#### pH.

El pH de un compost es un buen indicador de cómo ha evolucionado el proceso de descomposición, En el compostaje, el pH normalmente baja ligeramente durante las primeras etapas del proceso (es decir a 5,0) debido a la formación de CO<sub>2</sub> y ácidos orgánicos. Los ácidos sirven como sustratos para futuras poblaciones microbianas. Posteriormente, el pH empieza a subir, y puede llegar a niveles tan altos entre 8 y 9 como consecuencia de la liberación de CO<sub>2</sub>, la aireación de la biomasa y la producción de amoníaco de la degradación de las proteínas (Díaz, 2010)

Valores de pH ácidos indican ausencia de madurez debido generalmente a un tiempo de compostaje demasiado corto o a la ocurrencia de procesos anaeróbicos en la masa, situación que no se presentó en los reactores ubicados en las unidades residenciales (Ver Gráfica 4).

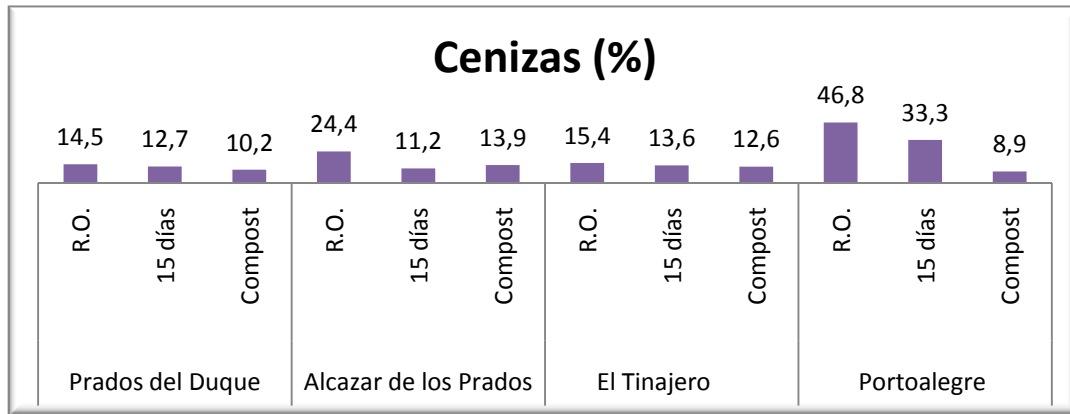
El proceso de compostaje se realiza dentro de un rango amplio de valores de pH. Los valores óptimos para la mezcla de partida son entre 5,5 y 8, teniendo en cuenta que las bacterias prefieren un pH cercano al neutro, mientras que los hongos prefieren condiciones acidas. (Chiumenti, Chiumenti, Diaz, Savage, Eggerth, & Goldstein, 2005); La Norma técnica Colombiana NTC 5167 establece valores mayores a 4 y menores 9 condiciones que se cumplen en el compost obtenido en las urbanizaciones.



Gráfica 4. pH de los residuos orgánicos crudos, con 15 días de proceso y los compost obtenidos.

#### PORCENTAJE DE CENIZAS.

Los porcentajes de cenizas del compost obtenido fueron bajas, por lo que es necesario que la etapa de maduración se aumente.



Gráfica 5. Porcentaje de cenizas de los residuos orgánicos crudos, con 15 días de proceso y los compost obtenidos.

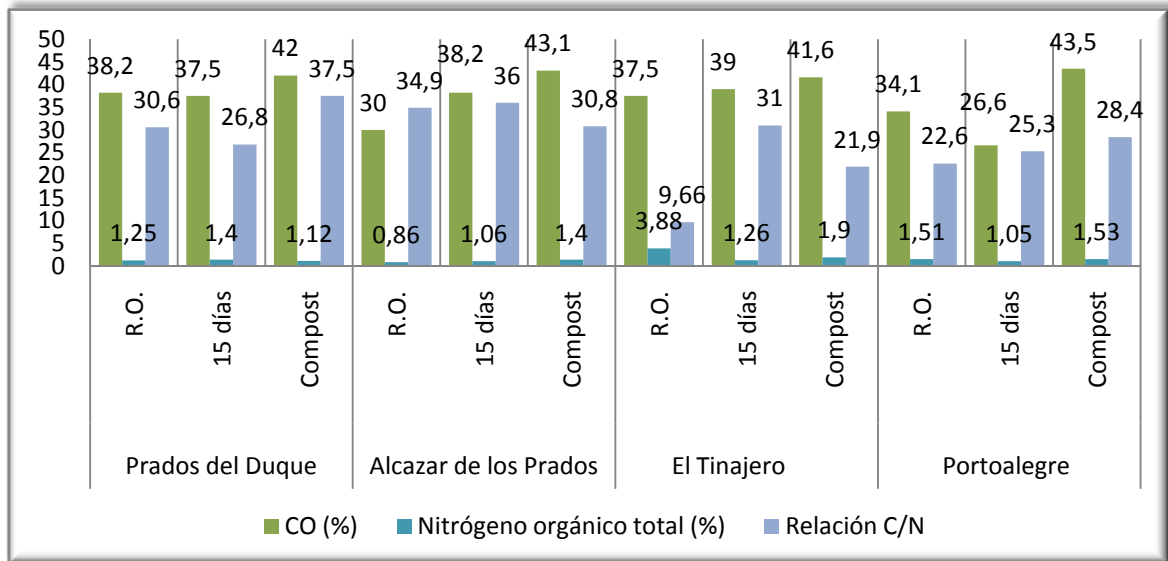
#### RELACIÓN C/N

La relación ideal de C/N para compostar es alrededor 30:1 y decrece a 15:1 en el compost final (2/3 partes del C sale CO<sub>2</sub>). En las muestras crudas se encuentra relaciones ideales como punto de partida para empezar los procesos de compostaje Ver Gráfica 6, los resultados fueron en Prados del Duque 30,6, en Alcázar de los Prados 34,9 y Portoalegre 22,6, en El Tinajero esta relación fue baja 9,66; con la mezcla preliminar de aserrín, viruta y equinaza en proporción 1:3 con el residuo orgánico (es decir material de mezcla 1, residuo orgánico 3) los resultados a los 15 días de proceso este material mostró relaciones que se incrementaron como los de Alcázar de los Prados de 34,9 paso a 36 y después en el compost obtenido baja a 30,8; En el Tinajero la relación pasa de 9,66 a 31 y después baja a 21,9; en

Portoalegre la relación fue en aumento 22,6 material cruda, a los 15 días 25,3 y compost obtenido 28,4; En Prados del Duque la Inicial fue de 30,6, a los 15 días con la mezcla la relación disminuye a 26,8 y después se incrementa a 37,5.

Un cociente más bajo, el nitrógeno estará en exceso y se pierde como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), causando olores indeseables.

Cocientes más altos significan que no hay suficiente nitrógeno para el crecimiento óptimo de las poblaciones microbianas, así que el compost es relativamente frío y la degradación procederá a una tasa lenta.



Gráfica 6. Porcentaje orgánico oxidable total, Nitrógeno orgánico total y relación C/N de los residuos orgánicos crudos, con 15 días de proceso y los compost obtenidos.

### CONTROL DE LA TEMPERATURA.

La temperatura en el proceso de compostaje es una de las variables de mayor importancia, esta influye desde la mineralización y crecimiento de las poblaciones microbianas y ellas a su vez de las reacciones exotérmicas de descomposición de las cadenas de compuestos orgánicos. La combinación de los factores de temperatura, humedad, aireación y relación C/N, definen la eficiencia de los procesos bioxidativos de la materia orgánica biodegradable. Existe controversia entre diferentes autores sobre cuál es la mejor temperatura para que se desarrolle un compostaje óptimo. Los rangos más comunes oscilan entre los 50-60°C, aunque algunos autores indican que la máxima producción de  $\text{CO}_2$  se da entre los 60 y 65 °C, lo que daría la máxima velocidad de compostaje (Epstein, 1997).

Los resultados obtenidos del monitoreo de la temperatura durante los ciclos desarrollados, muestran consistencia frente a la literatura sustentada con procesos de investigación.

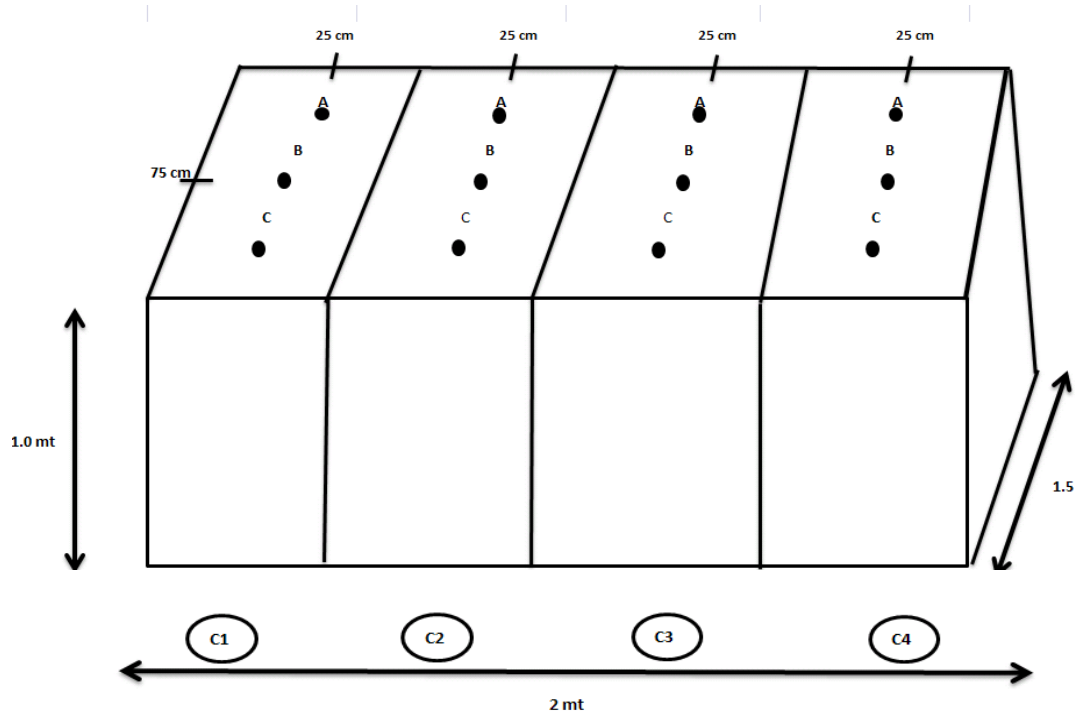
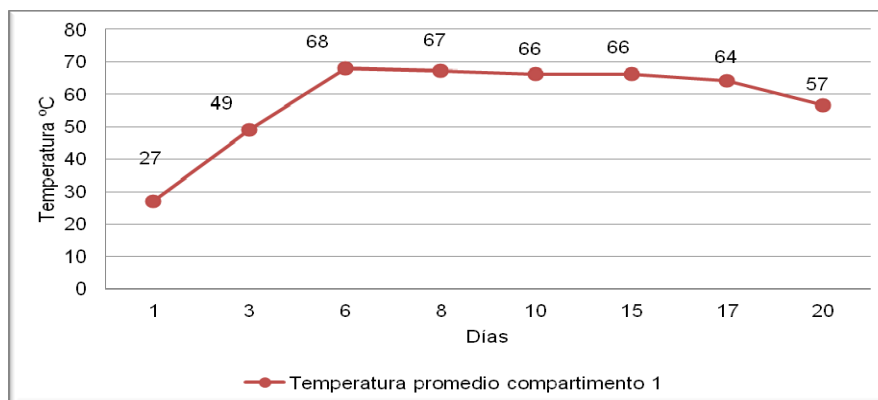


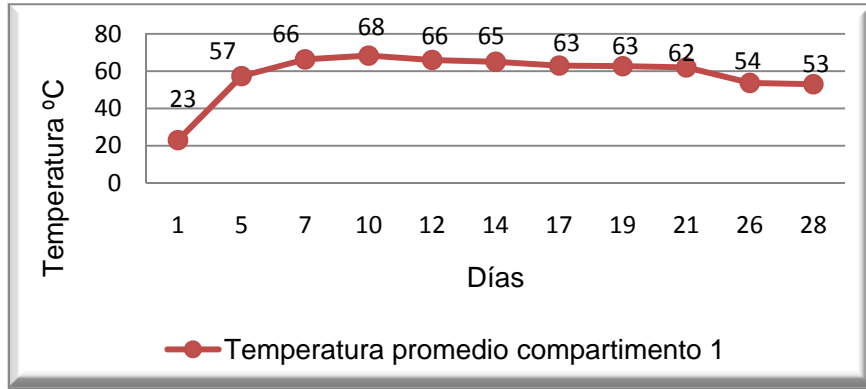
Figura 4. Esquema de medición de temperaturas de la compostera.

A continuación se ilustra el comportamiento de las temperaturas medias en el compartimento 1 de las composteras de las urbanizaciones participantes del proyecto.

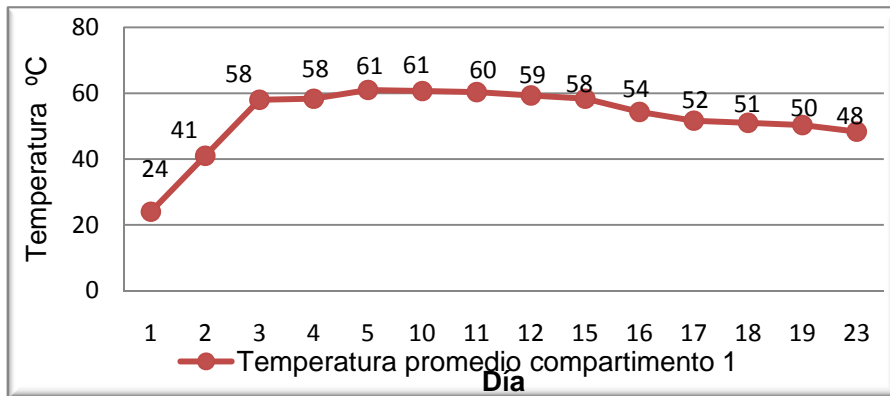
En las Gráficas se evidencia un comportamiento típico de las temperaturas en los procesos de compostaje, La composteras se llenan a partir de los días 5 a 7, la temperatura máxima alcanzada fue 68°C.



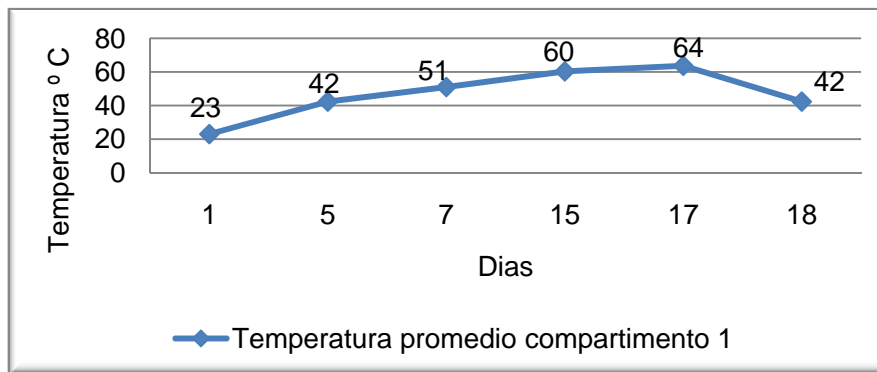
Gráfica 7. Temperatura promedio del compartimento 1 de la urbanización Prados del Duque.



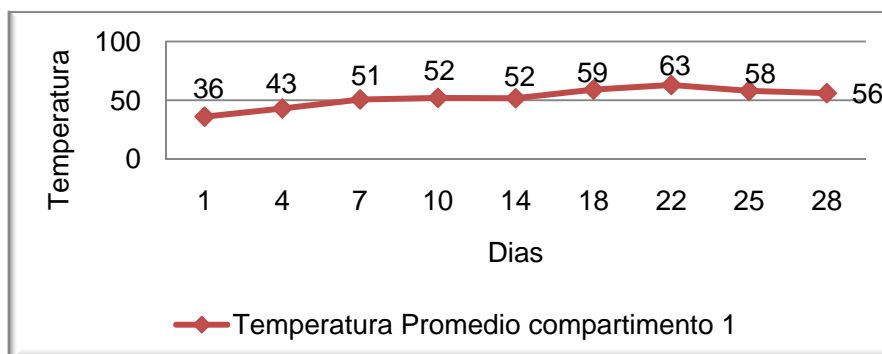
Gráfica 8. Temperatura promedio del compartimento 1 de la urbanización Alcázar de los Prados.



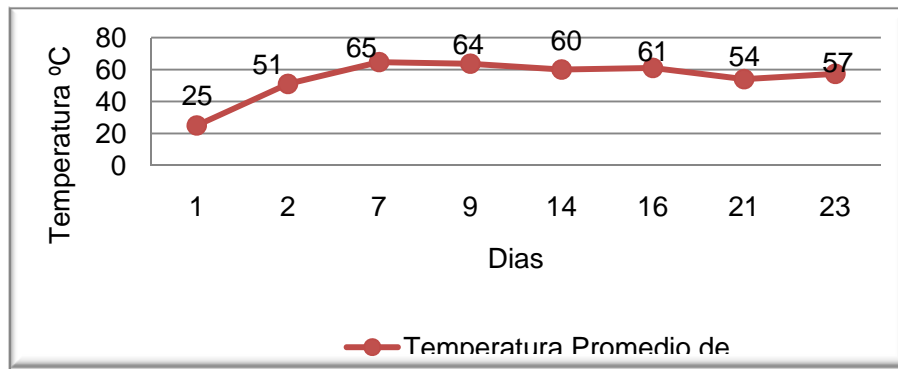
Gráfica 9. Temperatura promedio del compartimento 1 de la urbanización Tinajero.



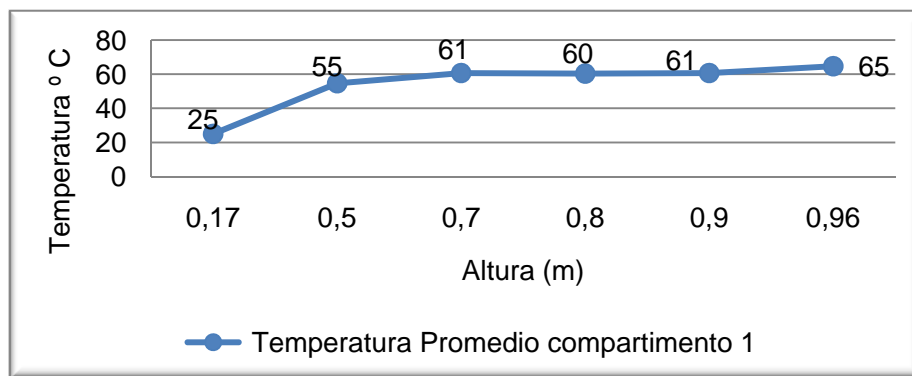
Gráfica 10. Temperatura promedio del compartimento 1 de la urbanización Portoalegre.



Gráfica 11. Temperatura promedio del compartimento 1 de la urbanización Siempre Verde.



Gráfica 12. Temperatura promedio del compartimento 1 de la urbanización Laureles Campestre.



Gráfica 13. Temperatura promedio del compartimento 1 de la urbanización Loyola

### ANÁLISIS DE RESULTADOS CARACTERIZACIÓN COMPOST SEGÚN NTC 5167

Se realizó análisis del compost obtenido en las urbanizaciones, en la Tabla 6 se aprecia los parámetros que se caracterizaron y en la Tabla 7 se aprecian los resultados obtenidos.

Tabla 6. Requisitos específicos que deben cumplir los productos orgánicos empleados como fertilizantes y acondicionadores del suelo.

Fertilizantes o abonos orgánicos, orgánicos mineral y enmiendas orgánicos

Fertilizantes o abonos orgánicos			
Clasificación del producto	Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)
1	2	3	4
Abono orgánico	Productos sólidos obtenidos a partir de la estabilización de residuos animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezclas de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresadas como carbono orgánico oxidables total y los parámetros que se indican.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas por volatilización %</li> <li>• Contenido de cenizas máximo 60%</li> <li>• Contenido de humedad:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para materiales de origen animal 20%</li> <li>• Para materiales de origen vegetal 35%</li> <li>• Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.</li> </ul> </li> <li>• Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15%</li> <li>• N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O totales (declarados si cada uno es mayor de 1%)</li> <li>• Relación C/N</li> <li>• Capacidad de cambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg<sup>-1</sup> (meq/100g)</li> <li>• Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso.</li> <li>• pH mayor de 4 y menor de 9</li> <li>• Densidad máximo 0,6 g/cm<sup>3</sup></li> <li>• Límites máximos en mg/Kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arsénico (As) 41</li> <li>• Cadmio (Cd) 39</li> <li>• Cromo (Cr) 1 200</li> <li>• Mercurio (Hg) 17</li> <li>• Níquel (Ni) 420</li> <li>• Plomo (Pb) 300</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C)</li> <li>• Humedad máxima (%)</li> <li>• Contenido de Cenizas (%)</li> <li>• Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+)Kg<sup>-1</sup>) (meq/100g)</li> <li>• Capacidad de Retención de Humedad (%) pH</li> <li>• Contenido de Nitrógeno Total (% N)</li> <li>• Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se indicará la materia prima de la cual procede el producto.</li> <li>• La suma de estos parámetros debe ser 100</li> </ul>	



Tabla 7. Resultados Análisis Físico Químicos de las urbanizaciones del proyecto piloto de aprovechamiento de residuos orgánicos. (Los cálculos de las variables se hacen sobre base seca)

Parámetro	Prados del Duque	Alcázar de los Prados	El Tinajero	Portoalegre	Siempre Verde
Aluminio total (%)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cadmio total (ppm)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Calcio total (% CaO)	2,035	2,372	3,316	2,957	2.268
Cromo total (ppm)	<0,02	6,43	4,94	<0,02	<0,02
Magnesio total (% MgO)	0,162	0,291	0,431	0,325	0.485
Níquel total (ppm)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Plomo total (ppm)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	N.D
Potasio total (% K <sub>2</sub> O)	0,705	1,573	2,165	1,716	2.765
Sodio total (%)	0,059	0,266	0,103	0,237	0.312
Zinc Total (%)	0,043	0,054	0,091	0,062	0.087
Mercurio total (ppm)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Arsénico (ppm)	0,058	0,31	0,781	0,058	0.05
Cenizas (%)	10,2	13,9	12,6	8,9	9.59
CIC (meq/100 g)	20,2	49	38,4	32,7	25
CIC/CO (meq/100 g CO)	48,1	113,7	92,3	75,2	56.1
CO (%)	42	43,1	41,6	43,5	44.6
CRA (%)	414,5	338,5	153,6	431,6	337
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,15	0,18	0,51	0,18	0.2
Fósforo total (%)	0,35	0,652	0,162	0,44	0.589
Humedad (%)	49,9	52,6	56,6	48	40.9
Nitrógeno orgánico total (%)	1,12	1,4	1,9	1,53	1.03
pH	7,75	7,5	7,17	7,73	7.23
Relación C/N	37,5	30,8	21,9	28,4	43.3
Porcentaje de elementos extraños (%)	0,03	0,12	0,5	0,25	0.0

De la Tabla 7 se evidencian los siguientes resultados que son importantes en este proyecto piloto:

### Contenido de metales pesados.

En las 5 urbanizaciones no sobrepasan los límites máximos establecidos en la norma NTC 5167, (Ver tabla 4) lo que evidencia un excelente proceso de separación en la fuente por parte de las comunidades de las urbanizaciones que participan del proyecto piloto.

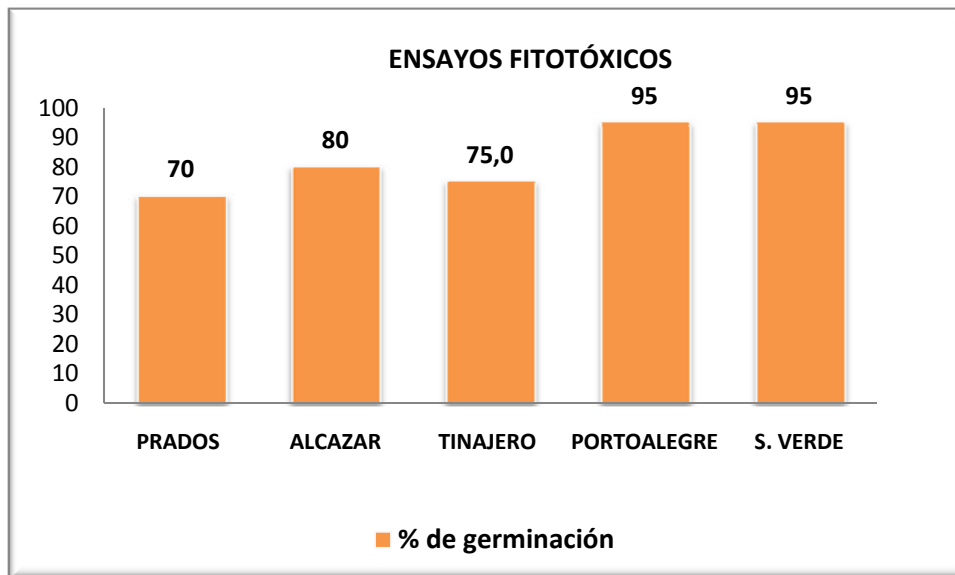
Tabla 8. Resultados en urbanizaciones y límite establecido contenido de metales pesados en mg/kg (ppm) del proyecto piloto de aprovechamiento de residuos orgánicos.

Elemento	Contenido máximo permitido en mg/kg (ppm)	Urbanización					
		Prados del Duque	Alcázar de los Prados	El Tinajero	Portoalegre	Siempre Verde	Unal
Cadmio total (ppm)	39	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cromo total (ppm)	1200	<0,02	6,43	4,94	<0,02	<0,02	111,2
Níquel total (ppm)	420	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	85,6
Plomo total (ppm)	300	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	N.D	< 0,01
Mercurio total (ppm)	17	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Arsénico (ppm)	41	0,058	0,31	0,781	0,058	0.05	2,69

### ENSAYOS FITOTÓXICOS Y RESPIROMÉTRICOS

La Gráfica 14 contiene los resultados de los ensayos Fitotóxicos de diferentes muestras de compost, en las cuales se sembró *Raphanus sativus* más conocido como rábano.

Dado esto se puede evidenciar que el material producido en el conjunto Siempre Verde y Portoalegre proporciona a la planta un rango más elevado de probabilidades para su germinación; esto quiere decir que su contenido posee menos cualidades Fitotóxicos y que se encuentra en un estado de maduración avanzado. El compost producido en Alcázar de los Prados es un compost maduro y el generado en Prados del Duque y Tinajero presenta porcentajes cercanos al rango de compost maduro 70 y 75 % de germinación. (Ver Gráfica 14)



Gráfica 14. Ensayos Fitotóxicos del compost obtenido en las urbanizaciones del proyecto piloto de aprovechamiento de residuos orgánicos

### RESPIROMETRÍA

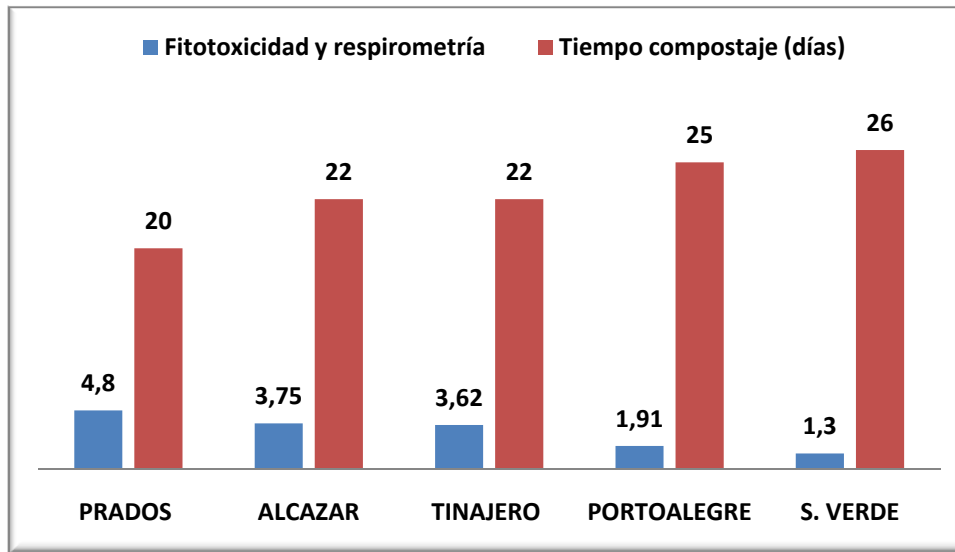
La respiración se considera una medida de la actividad biológica. Este parámetro puede proporcionar una medida fiable y repetitiva de la actividad microbiológica de un material. De forma general, la respirometría se puede definir como el consumo de O<sub>2</sub> o la producción de CO<sub>2</sub> por microorganismos heterótrofos aerobios que hay en el compost (Sánchez, 2007).

A manera de conclusión tenemos que la respirometría dentro de sus funciones define la carga microbiológica del compostaje. Esto quiere decir que el material producido en Prados del Duque posee mayor carga microbiológica, caso contrario al compost producido en el conjunto Siempre Verde. (Ver Tabla 9 y Gráfica 15)

Si se compara el análisis respirométrico con el tiempo de fase de compostaje, se puede decir que hay una relación inversamente proporcional; es decir a más días de descomposición aerobia del material orgánico, el producto final será más estable y por consiguiente la actividad microbiana será menor. Se evidencia que con 4 días de proceso en el reactor se alcanzan mejores resultados en tres de los compost obtenidos.

Tabla 9. Respirometría del compost obtenido en las urbanizaciones del proyecto piloto de aprovechamiento de residuos orgánicos

Parámetro	Prados del Duque	Alcázar de los Prados	El Tinajero	Portoalegre	Siempre Verde
Respirometría 24 Horas (mg (CO <sub>2</sub> )/G	4,8	3,75	3,62	1,91	1,3



Gráfica 15. Respirometría del compost obtenido en las urbanizaciones del proyecto piloto de aprovechamiento de residuos orgánicos – tiempo de compostaje antes de maduración

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El aprovechamiento de residuos orgánicos biodegradables en urbanizaciones es una alternativa viable en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, siempre que se cumplan los criterios establecidos.
- Es necesario consolidar el proceso en el Área metropolitana del Valle de Aburrá en el sector residencial mediante el desarrollo de proyectos de replica para evidenciar las bondades del aprovechamiento de residuos orgánicos en contextos urbanos.
- Los resultados demuestran que el compostaje en urbanizaciones es una tecnología perfectamente válida y es necesario aprender de este proyecto piloto como primer acercamiento para obtener un compost de alta calidad y estable.
- Se dejaron de llevar a los rellenos sanitarios 17,5 toneladas de residuos sólidos orgánicos, lo que se traduce en beneficios ambientales y económicos para el área Metropolitana Del Valle de Aburra, en un tiempo considerablemente corto
- Los procesos de separación de residuos sólidos orgánicos en fuente fueron de alta calidad, debido a que el compost obtenido cumplió la NTC 5167 en cuanto a metales pesados y macrocontaminantes.
- La participación de los administradores es decisiva para el éxito del proyecto en las urbanizaciones, la voluntad y el entusiasmo invertido por los administradores fue clave para un desarrollo eficaz.
- Se recomienda el uso del compost inicialmente en la jardinería interna de la urbanización.
- Los medios de comunicación fueron de vital importancia en el desarrollo del proyecto piloto en tanto facilitaron la difusión del mismo y el acercamiento a la comunidad.
- Desarrollar propuestas que apunten a generadores específicos de residuos orgánicos como empresas de alimentos, restaurantes, hoteles, centros comerciales, restaurantes escolares, plazas de mercado, entre otras.

## Referencias

- Chiumenti, A., Chiumenti, R., Diaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L., & Goldstein, N. (2005). *Modern Composting Technologies*. USA: The JG Press. Inc.
- Colon, Joan; Martinez-Blanco, Julia; Gabarrell, Xavier; Artola, Adriana; Sanchez, Antoni; Rieradevall, Joan; Font, Xavier. "Environmental assessment of home composting". En: *Resources Conservation and Recycling*, 54 (11): 893-904 Sep 2010.
- Díaz, L. F. (2010). *Reciclaje y tratamiento biológico de los residuos sólidos Municipales*. Quito, Ecuador: Editorial Ecuador.
- Domínguez, J., Elvira, C., & Sampedro, L. a. (1996). Effects of bulking agents in composting of pig slurries. *The science of composting*, 1146-1149.
- Finstein, M. a. (1985). "Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness". *Composting of Agricultural and Other Wastes*, 13-26.
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 5167. Productos para la Industria agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Editada 2004. 40 p.
- Moreno, C., & Joaquín, R. H. (2007). *Compostaje*. Madrid, España: Mundi-Prensa.