



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**ESTUDIO COMPARATIVO EN LA PRODUCCIÓN DE DOS TIPOS  
DE COMPOST CON RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA PRE-PARROQUIA  
SAN GABRIEL DEL BABA CANTÓN SANTO DOMINGO**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos  
establecidos para optar por el título de  
Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía

Ing. Carlos Luis Banchón Bajaña

Autora

Ruth Estefanía Larreátegui Rosales

Año

2013

### **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

---

Carlos Luis Banchón Bajaña

Ingeniero

C.I.: 091805918-9

### **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

---

Ruth Estefanía Larreátegui Rosales

C.I.: 172137566-3

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por su apoyo incondicional. A la familia Zurita Rosales y Almeida Zurita por su ayuda en la culminación de este proyecto.

A mi tutor, Ing. Carlos Banchón, por su guía y motivación durante el desarrollo de esta tesis.

Al GAD Municipal de Santo Domingo.

Al personal del Instituto Tecnológico Superior Calazacón, principalmente al Doctor Wilson Ramírez, por la colaboración en el desarrollo experimental de esta investigación.

***Estefanía***

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mi familia, principalmente a mis padres por ser el pilar más importante en mi vida, por su amor y apoyo incondicional. A mi tía Rosi, a quien quiero como a una madre. A mis primos Gabi y Jorge, porque más que mis primos son mis hermanos.

A Jonás por ser mi compañero de vida. A mis amigos y amigas por su cariño y ayuda incondicional, principalmente a Gaby y Bolito. A Zoé por ser mi amiga fiel.

***Estefanía***

## RESUMEN

El inadecuado manejo de los residuos orgánicos es un problema que caracteriza a la mayoría de ciudades del país. El aprovechamiento de los desechos en procesos de enmienda ambiental es nulo, como es el caso del cantón Santo Domingo.

El compostaje está basado en el manejo de una agricultura sostenible. La comparación de dos métodos de compostaje busca determinar las materias primas y condiciones ideales para que el proceso se desarrolle de una manera correcta; para el efecto se ha utilizado los desechos orgánicos, principalmente provenientes de las cocinas de los habitantes de la pre-parroquia San Gabriel del Baba, cantón Santo Domingo. Para la evaluación de la efectividad de los procesos comparados se tomó en consideración el siguiente análisis:

- Tipo de materias primas (frutas o vegetales)
- Bioacelerador (Microorganismos eficientes autóctonos o levadura más bebida gaseosa)
- Parámetros (Temperatura, humedad, pH, densidad y composición química del suelo de cada lecho)

En conclusión: una vez desarrollado el experimento se demostró que los tratamientos de degradación de residuos orgánicos, con el uso de la solución bioaceleradora a base de microorganismos eficientes autóctonos; alcanzaron los niveles óptimos de desarrollo del proceso de compostaje, en base a los resultados de laboratorio y la composición final del abono obtenido; en comparación con el resto de tratamientos.

## ABSTRACT

The inadequate management of organic waste is a problem that characterizes most cities. The utilization of the organic waste in environmental amendment process is null, such as in the canton Santo Domingo.

Composting is based on the management of sustainable agriculture. The comparison of two methods of composting seeks to determine the raw materials and ideal conditions for the process evolves in the right way; to the effect has been used organic waste, mainly from the kitchens of the habitants of the parroquia San Gabriel del Baba, canton Santo Domingo. For evaluating the effectiveness of the process, the following analysis was considerate:

- Type of raw materials (fruit or vegetable)
- Bioaccelerator (Effective Microorganisms or yeast plus soda)
- Parameters (temperature, humidity, pH, density and chemical composition of the soil in each bed)

In conclusion: once finished the experiment it showed that the degradation treatment of organic waste, with the use of the bioaccelerator solution based on Effective Microorganisms; reached optimum levels for proper development of the composting process, based on the results of laboratory analysis and the final composition of the compost; compared with the other treatments.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1 CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</b> .....	<b>2</b>
1.1 GENERACIÓN Y MANEJO RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ECUADOR .....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3 OBJETIVOS .....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 MARCO LEGAL Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL .....	8
<b>2 CAPÍTULO II: ZONA DE ESTUDIO</b> .....	<b>9</b>
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA.....	9
2.2 AGRICULTURA.....	12
2.3 RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS, LA BASURA Y EL BOTADERO EN EL CANTÓN SANTO DOMINGO.....	12
2.3.1 Áreas de servicio y cobertura.....	12
2.3.2 Generación per cápita y composición de los desechos .....	15
2.3.3 Clasificación de los residuos sólidos por su origen de generación .....	17
2.3.4 Recolección y disposición final de los residuos sólidos .....	18
<b>3 CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
3.1 COMPOSTAJE Y COMPOSTA.....	22
3.1.1 Beneficios del Uso de Compost.....	23
3.2 SISTEMAS DE COMPOSTAJE.....	24
3.2.1.1 Sistemas Abiertos .....	25
3.2.1.2 Pilas Simples.....	26
3.2.2 Sistemas Cerrados .....	27
3.3 FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	27
3.3.1 Temperatura .....	27
3.3.2 Humedad .....	27
3.3.3 pH .....	28
3.3.4 Aireación .....	28
3.3.5 Relación C/N Equilibrada .....	29
3.3.6 Densidad Aparente .....	29
3.3.7 Población Microbiana.....	30
3.4 FASES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	30
3.4.1 Mesofílica.....	30

3.4.2	Termófila.....	31
3.4.3	De Enfriamiento .....	31
3.4.4	De Maduración.....	31
3.5	POSIBLES PROBLEMAS Y SOLUCIONES DURANTE EL COMPOSTAJE.....	32
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>34</b>
4.1	METODOLOGÍA.....	34
4.1.1	Diseño experimental de los sistemas de compostaje .....	35
4.1.2	Determinación del Tamaño de la Muestra .....	37
4.1.3	Ubicación de Lechos de Compostaje.....	37
4.1.4	Construcción de Lechos de Compostaje .....	38
4.1.5	Aceleradores Biológicos (Bioactivadores).....	41
4.1.5.1	EMAs .....	41
4.1.5.2	Elaboración del Acelerador a base de levadura .....	44
4.1.6	Materiales para Compostaje .....	45
4.1.6.1	Plan de Recolección de Desechos Orgánicos .....	45
4.1.7	Armado de las Pilas de Compostaje.....	46
4.1.7.1	Triturado de Desechos Orgánicos.....	46
4.1.7.2	Conformación de la Pila de Compostaje .....	47
4.1.8	Control de Factores en el Proceso.....	51
4.1.8.1	Temperatura.....	51
4.1.8.2	pH .....	51
4.1.8.3	Humedad.....	51
4.1.8.4	Densidad Aparente .....	52
4.1.8.5	Relación C/N.....	53
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
5.1	CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA.....	54
5.2	GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN SAN GABRIEL DEL BABA .....	55
5.3	VARIABLES DE RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COMPOSTAJE.....	56
5.3.1	Temperatura del Compost en función del tiempo de operación .....	57
5.3.2	pH del Compost en función del tiempo de operación.....	58
5.3.3	Humedad del Compost en función del tiempo de operación .....	59
5.3.4	Densidad del Compost en función del tiempo de operación .....	59
5.3.5	Análisis Químico del Compost en función del tiempo de operación .....	60

<b>6</b>	<b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
6.1	ANÁLISIS TECNOLÓGICO.....	62
6.1.1	Variables de Respuesta en función del tiempo de compostaje y tipo de tratamiento .....	63
6.1.1.1	Temperatura del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento .....	63
6.1.1.2	pH del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento.....	69
6.1.1.3	Humedad del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento .....	71
6.1.1.4	Densidad del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento .....	73
6.1.1.5	Análisis Químico del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento .....	75
6.1.1.6	Olor del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento.....	78
6.1.1.7	Análisis de Color del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento .....	79
6.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	80
6.2.1	Prueba de Hipótesis para la Temperatura (Fase Termófila).....	81
6.2.1.1	Análisis de la Varianza .....	84
6.2.1.2	Interpretación y conclusiones.....	85
6.2.2	Análisis de Correlación .....	87
6.2.2.1	Correlación Temperatura – Humedad.....	88
6.2.2.2	Correlación Temperatura – pH.....	88
6.2.2.3	Correlación Temperatura – Densidad .....	89
6.3	ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO .....	89
6.3.1	Evaluación del proyecto de compostaje de residuos orgánicos en San Gabriel del Baba .....	89
6.3.1.1	Costos de Inversión y Reinversión.....	89
6.3.1.2	Costo de Operación y Mantenimiento .....	90
6.3.2	Identificación, Cuantificación y Valoración de los Beneficios .....	90
6.3.2.1	Producción Agrícola .....	90
6.3.2.2	Extensión de la Vida Útil del relleno sanitario de Santo Domingo .....	91
6.3.2.3	Reducción de la Formación de gases de efecto invernadero .....	92
6.3.2.4	Contaminación de los Recursos Hídricos .....	92
6.3.2.5	Impacto sobre las Actividades Económicas .....	92
6.3.2.6	Mejoramiento de la gestión de los residuos orgánicos y ahorro económico en el presupuesto municipal .....	93

<b>7</b>	<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>99</b>
7.1	CONCLUSIONES.....	99
7.2	RECOMENDACIONES .....	97
	<b>Referencias</b> .....	<b>103</b>
	<b>Anexos</b> .....	<b>105</b>

## INTRODUCCIÓN

A nivel nacional tanto autoridades como habitantes, identifican al manejo de residuos sólidos como un problema que afecta a las ciudades y pueblos; convirtiéndose así en uno de los principales problemas ambientales actuales, que tiene como resultado nocivas consecuencias a la salud y al ambiente. En el país, la gestión de los residuos sólidos estuvo a cargo de varios institutos y subsecretarías, tradicionalmente los responsables de esta competencia han sido los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs); pero debido a la interferencia de distintas instituciones y actores involucrados, no se ha llegado a soluciones eficientes, ni a largo plazo, sobre el manejo de desechos sólidos.

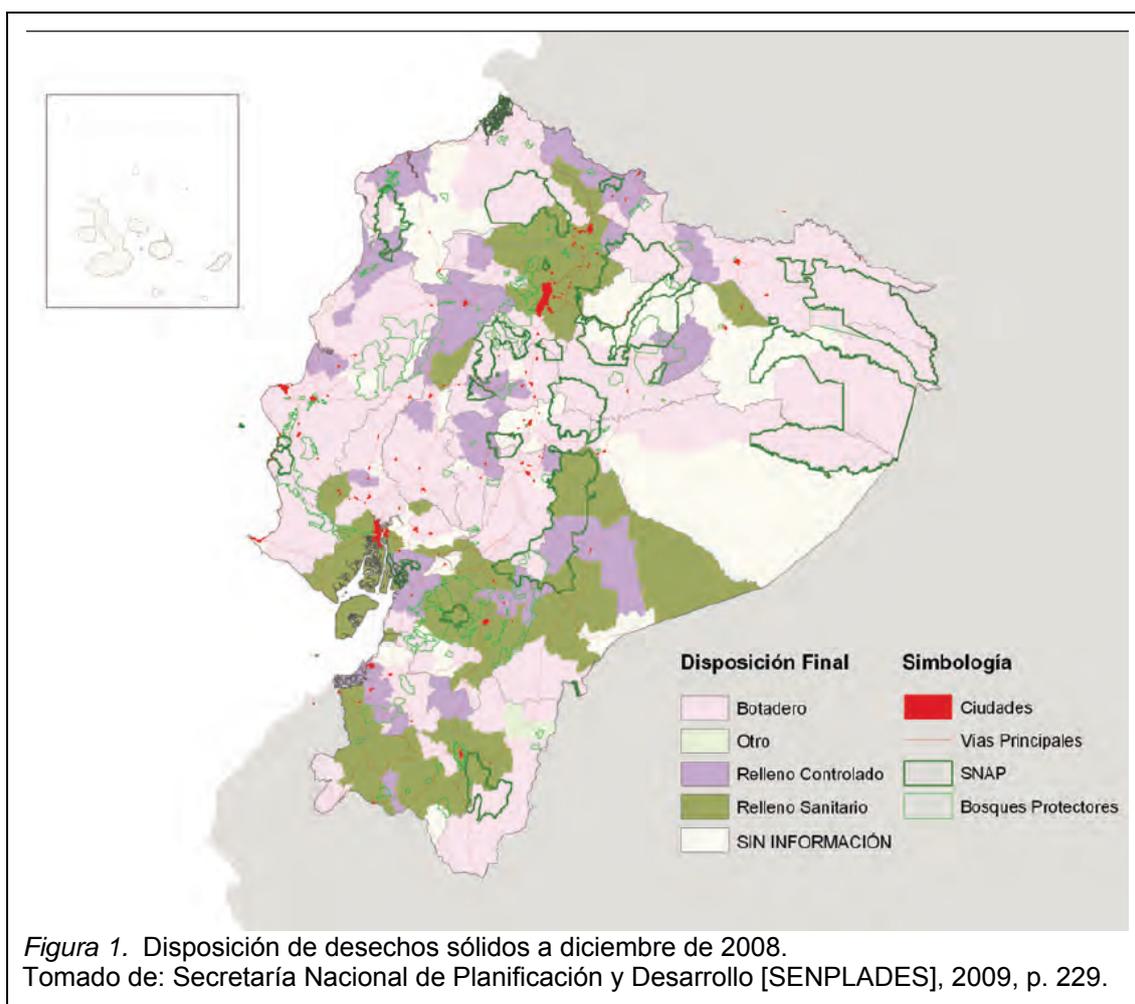
Los porcentajes de cobertura y de servicios de calidad brindados, no satisfacen a la mayoría de la población nacional, siendo los más afectados los sectores con mayores índices de pobreza. Esta problemática se origina principalmente debido a la falta de infraestructura, presupuesto, técnicos, entre otros; existen varias maneras de realizar un manejo de estos residuos, principalmente los residuos orgánicos, como por ejemplo: reciclaje, compostaje, vermicultura, entre otras; éstas pueden llevarse a cabo en los hogares, barrios, comunidades, mejorando la calidad de vida de las personas y evitando así la contaminación al ambiente.

Con el objetivo de plantear soluciones a la problemática expuesta; en el siguiente trabajo se diseña 2 procesos de compostaje con distintas variables y condiciones involucradas en el proceso. Se investiga para determinar la técnica adecuada de aprovechamiento de los residuos orgánicos para convertirlos en abono, reduciendo así la contaminación al ambiente; adicionalmente, se provee de opciones tecnificadas para la gestión de los residuos orgánicos generados en los hogares de la pre-parroquia San Gabriel del Baba.

## 1 CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

### 1.1 GENERACIÓN Y MANEJO RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ECUADOR

El crecimiento de la población ecuatoriana en los últimos años ha provocado un aumento en la generación de residuos, causando problemas ambientales debido a rellenos sanitarios saturados, muchos de los cuales no cumplen con las características para ser considerados como tales y son simples botaderos a cielo abierto donde la basura se acumula sin ningún tipo de control. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010). En la Figura 1 se puede observar la disposición de desechos sólidos en el Ecuador.



A nivel de país no se cuenta con información actualizada acerca de la producción y composición física de los residuos sólidos domésticos; el último estudio realizado por una organización internacional como la Organización Panamericana de la Salud (OPS) data del año 2002.

Según el documento publicado en el año 2002 por la OPS, denominado Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en el Ecuador, se determina que se generan cerca de 7 423 toneladas de residuos sólidos al día. El 71,4% (5 298 toneladas) corresponden a materia orgánica que puede ser utilizada en procesos de compostaje; además, se calcula que existe una recolección formal que abarca un 49,1%, el cual puede llegar hasta un 75% mediante el uso de volquetas, camiones y similares (OPS, 2002, p. 87). De acuerdo a datos obtenidos en el año 2011, se estima que en el Ecuador la disposición final del 85% de los residuos sólidos son los terrenos baldíos, quebradas, cuerpos de agua y basureros clandestinos; sólo un 14,91% de estos desechos generados se disponen en rellenos sanitarios: 17,17% en el Oriente, 17,91% en la Sierra y 7,17% en la Costa, donde no se garantiza que exista una gestión integral de los mismos. (Clínica Ambiental, 2011, p. 5). Se determina que existe un reciclaje total de los residuos (formal e informal) del orden del 14%; a nivel nacional el costo promedio del manejo de los residuos sólidos por tonelada es de USD 43.05 (Solíz, 2011).

De acuerdo a datos obtenidos en el Censo Nacional del año 1990, se realizó proyecciones sobre la generación per cápita para el año 2000, los resultados generales se observan en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Generación per cápita y total de residuos sólidos domésticos en las principales ciudades del Ecuador.**

Ciudad	Población año 2000 (habitantes)	Generación (kg/hab*día)	Generación total (2000)	
			(ton/día)	(ton/año)
Guayaquil	2'600000	0,75	1950,00	711750
Quito	1'600 000	0,75	1200,00	483 000
Cuenca	400 000	0,75	260,00	94 900
Santo Domingo de los Colorados	340 000	0,65	221,00	80 665
Durán	236 900	0,55	130,30	47 559
Machala	220 000	0,63	138,60	50 589

Adaptado de: (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2002, p. 86).

En base a la Tabla 1 se determina que al año 2000 el cantón Santo Domingo contaría con 340 000 habitantes y con una generación de 0,65 kg/hab\*día, alcanzando a las grandes ciudades del país (OPS, 2002, p. 86).

La composición aproximada de los residuos sólidos generados en Ecuador se detalla a continuación:

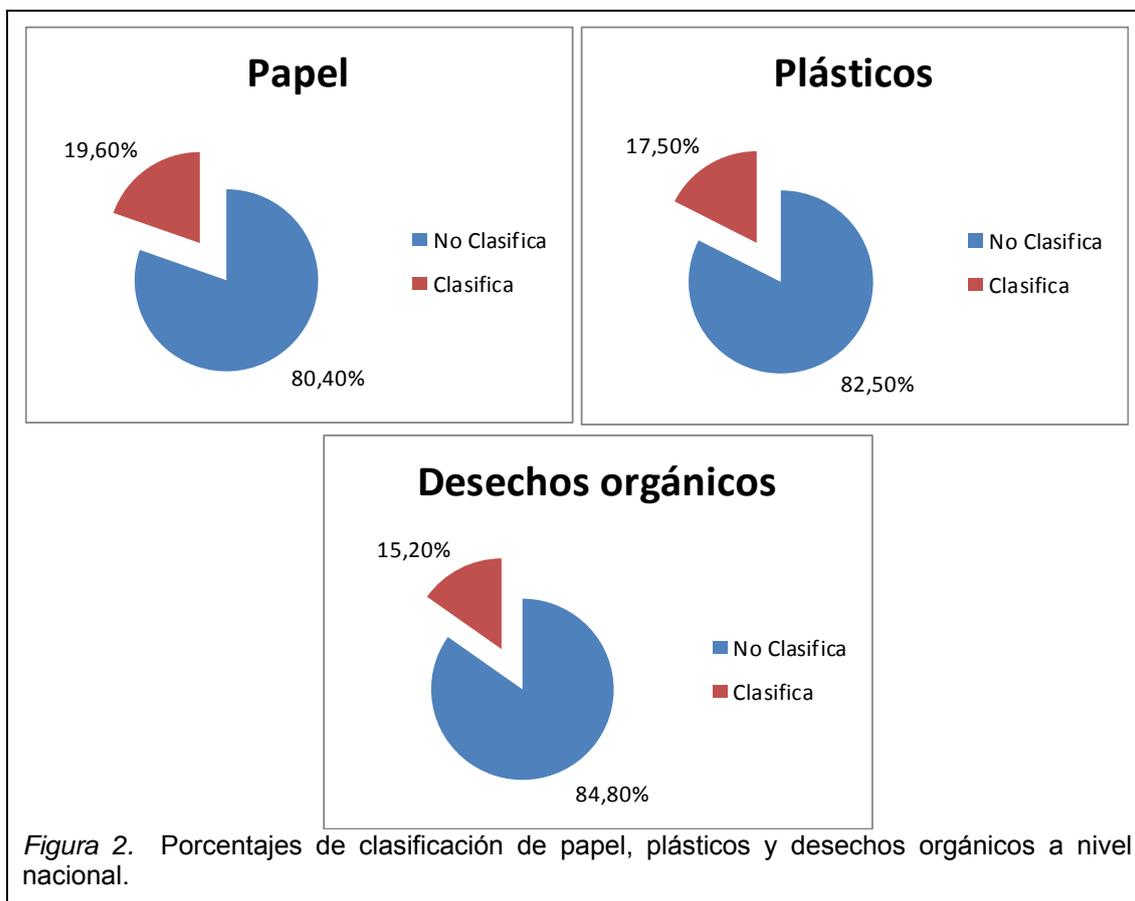
**Tabla 2. Naturaleza de los residuos sólidos en el Ecuador.**

Material	Producción (ton/día)
Materia orgánica	5 298
Papel y cartón	709
Plástico	336
Vidrio	274
Metales	53

Adaptado de: (OPS, 2002, p. 88).

Como se puede evidenciar, más del 70% de los residuos generados a nivel nacional, corresponden a materia orgánica que puede ser utilizada en procesos de compostaje.

Según un estudio realizado a nivel nacional sobre los hábitos ambientales de los hogares ecuatorianos se determinó que, en promedio, el 80,4% no clasifica el papel, el 82,5% no clasifica los plásticos y el 84,8% no clasifica los desechos orgánicos (INEC, 2010, p. 4).



Los residuos orgánicos generados en los domicilios ecuatorianos provienen de la cocina (como consecuencia de la elaboración de alimentos, productos que se han dañado, etc.), y del jardín (hojas y tallos secos, restos de poda, etc.). El uso de estos residuos orgánicos tiene como beneficio el evitar que los mismos terminen en un relleno sanitario disminuyendo su capacidad y, por otro lado, la obtención de compost que permitirá colaborar con la sostenibilidad del planeta. El compostaje es una forma sencilla y económica de tratamiento para los residuos orgánicos. Su meta es transformar los desechos, en un producto útil como es el abono; siendo así una propuesta como solución a desarrollarse en San Gabriel del Baba.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los residuos orgánicos que se originan de las actividades domésticas, tienen un impacto ambiental negativo cuando su destino final son rellenos sanitarios o botaderos, sin un diseño técnico eficiente para prevenir la contaminación; esto puede ser la causa de posibles incendios, derrumbes y explosiones; a la generación de lixiviados que contaminan las fuentes de agua y a la emanación de gases de efecto invernadero. Estos impactos se pueden evitar mediante su aprovechamiento en la producción de abono, para su posterior uso en el sustrato, con la finalidad de mejorar la calidad del mismo.

El Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización en el Art. 55, literal d) establece como competencia del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, el prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento y aquellos que establezca la ley (Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización [COOTAD], 2011, p. 41); pero, en base a los porcentajes de cobertura se puede evidenciar que el manejo por parte de los mismos es ineficiente y crítico, teniendo como resultado un gran impacto en el ambiente, en la salud y el bienestar de las comunidades.

La pre-parroquia San Gabriel del Baba, es una de las zonas de mayor afluencia turística del Cantón Santo Domingo, especialmente por los ríos que la cruzan; sin embargo, la calidad de vida de la población no logra mejorar. Muchas son las causas que provocan esta situación, pero una de las principales es un mal manejo de los desperdicios. Dentro de lo que la población en general denomina basura se encuentran los residuos orgánicos, los cuales son biodegradables. Su almacenamiento inadecuado forma un hábitat de vectores portadores de enfermedades y causa malos olores, contribuyendo a la contaminación ambiental; de igual manera, el uso indiscriminado de fertilizantes es una de las causas principales de la degradación del suelo.

Producto de la descomposición de los residuos orgánicos se generan gases de efecto invernadero, por lo que es necesario poner en marcha una propuesta de gestión como la elaboración de compost, con su posterior uso como abono; se reduce así la formación de metano y el uso de fertilizantes químicos que en muchos de los casos atentan contra la vida y la salud de los consumidores; adicionalmente se disminuye la cantidad de residuos orgánicos domiciliarios destinados al relleno sanitario, lo que inclusive ayudará a extender su vida útil.

La falta de iniciativa en el reciclaje de los residuos orgánicos en la parroquia rural San Gabriel del Baba, es el motivo de desarrollo de este trabajo de titulación.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Elaborar compost de calidad a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos para su posterior propuesta como enmienda orgánica en la Parroquia San Gabriel del Baba.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar e implementar un sistema de compostaje por pilas utilizando los residuos orgánicos de la zona.
- Identificar los tipos de residuos orgánicos necesarios para la obtención de compost de calidad, mediante un análisis comparativo de los productos finales.
- Evaluar la eficiencia de los procesos basados en sus parámetros físico-químicos para recomendar su aplicación en la parroquia San Gabriel de Baba.

#### 1.4 MARCO LEGAL Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL

El marco referencial estará determinado por los siguientes instrumentos legales:

- Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial N° 449 del 20 de octubre de 2008. Artículos: 10, 14, 15, 66 numeral 27; Artículos 83, 86 numeral 86; Artículos 276, 313, 240, 264, 315, 395 de los principios ambientales numerales 1,2,3,4, y Art. 415.
- Ley de Gestión Ambiental, Codificación 19. Codificación 19, Registro Oficial N° 418 de 10 de Septiembre del 2004.
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, Capítulo III, “De la Prevención y Control de la Contaminación de los Suelos”. Codificación 20, Registro Oficial N° 418 de 10 de Septiembre del 2004.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI “De la Calidad Ambiental”, Título II: Políticas Nacionales de Residuos Sólidos. Decreto N° 3.516, Edición Especial N° 2 de Registro Oficial de 31 de marzo del 2003.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI Anexo 6 Norma de Calidad Ambiental Para El Manejo y Disposición Final de Desechos no Peligrosos. Decreto N° 3.516, Edición Especial N° 2 de Registro Oficial de 31 de marzo del 2003. Artículos 4.1.1, 4.1.5, 4.1.9, 4.1.10, y del 4.1.15 al 4.1.25, 4.3 en varios literales.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. Publicado en el Suplemento del Registro Oficial N° 303 de martes 19 de octubre del 2010. Art. 55 Competencias exclusivas de los GAD Municipales, Art. 136 Ejercicio de las competencias de la Gestión ambiental, Art. 431. De la gestión integral del manejo ambiental.

## 2 CAPÍTULO II: ZONA DE ESTUDIO

### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA



San Gabriel del Baba es una población ubicada 10 km al sur de Santo Domingo de los Colorados, cantón Santo Domingo, en la vía a Julio Moreno. La población asentada en esta zona proviene principalmente de Carchi, Loja y Colombia (Torres y Rosales, 2002, p. 112).

La altitud promedio de San Gabriel del Baba es de 600 msnm. Se desarrolla en un terreno plano con ligera inclinación hacia el Río Baba; una cadena de montañas rodea el poblado, por el Norte y el Este. Se ubica en la zona arbórea húmeda, la vegetación natural es de bosque alto, localizado sobre la cordillera costanera y las estribaciones de la Cordillera de Los Andes. La temperatura de la zona es de 18°C - 22°C, con un clima muy húmedo sub-tropical. Pertenece al bosque muy húmedo Pre Montano (b.m.h.P.M.) con un promedio de

precipitación total de 2000 – 4000 milímetros por año (Rosales, Tapia y Torres, 1999, p. 16).



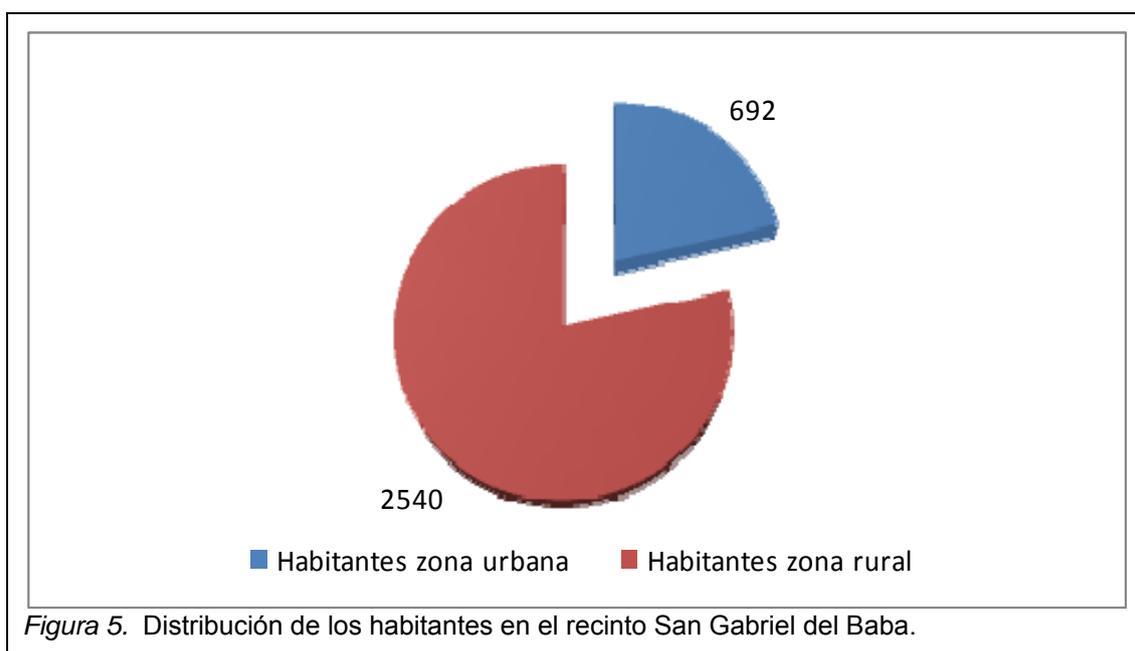
Figura 4. Mapa de ubicación de San Gabriel del Baba.  
Tomado de: Dirección de Planificación GAD Santo Domingo, 2013

Según información proporcionada por la Dirección del Departamento de Planificación Territorial, Obras y Ornato del GAD Municipal Santo Domingo, la pre-parroquia tiene una superficie aproximada de 162 898 m<sup>2</sup> sólo en el Centro Poblado, no se cuenta con información de la zona rural.

San Gabriel del Baba es actualmente un recinto; a esta denominación el COOTAD la define como el espacio comprendido dentro de ciertos límites, donde existen asentamientos rurales considerados como organizaciones territoriales, no es considerado como un nivel de gobierno. La organización en San Gabriel del Baba comprende: presidente, vicepresidente, asesor jurídico, secretario, tesorero, 3 vocales principales y 3 vocales suplentes.

El último Censo de Población y Vivienda realizado por el INEC sólo cuenta con datos estadísticos a nivel de parroquias rurales, dejando de lado otros centros poblados como los recintos. Debido a que San Gabriel del Baba es una pre-parroquia, no hay datos oficiales sobre el número exacto de habitantes.

En una entrevista realizada a la Sra. Josefa Fuertes, ex presidenta de la pre-parroquia San Gabriel del Baba, sobre el número de habitantes de la zona, se informó de la existencia de un censo llevado a cabo por la comunidad, liderado por la directiva del recinto en el año 2009, donde se estimó una población de 3 800 habitantes. Según información obtenida en el GAD Municipal de Santo Domingo se calcula que la pre-parroquia rural cuenta con un total de 3 232 habitantes distribuidos de la siguiente forma:



San Gabriel del Baba contaba con 434 habitantes y con una tasa de crecimiento del 0,34% anual al año 1999 (Rosales et al., 1999, p. 16). Tanto a nivel urbano como rural, el promedio de habitantes por vivienda es prácticamente paritario, con una diferencia de apenas dos décimas porcentuales como se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 3. Promedio de habitantes por vivienda ocupada.**

Total	Viviendas	Ocupantes	Promedio
	94 023	367 998	3,9
<b>Urbana</b>	69 863	270 850	3,8
<b>Rural</b>	24 160	97 138	4,0

Adaptado de: (CONSULTPIEDRA Cía. Ltda., 2011, p. 35).

## **2.2 AGRICULTURA**

La agricultura es una de las principales actividades económicas en San Gabriel del Baba. En pequeñas fincas existe una formación vegetal de cultivos permanentes asociados con café, plátano, yuca, cacao y cítricos; en forma paralela hay vegetación herbácea densa y sembrada con gramíneas introducidas tales como el pasto saboya, pasto elefante y gramalote (Rosales et al., 1999, p. 16).

Actualmente, según la Dirección de Desarrollo Económico Local, la producción de San Gabriel del Baba no es sólo destinada al consumo local; muchos de los productos salen inclusive de la provincia a mercados de ciudades como Quevedo, Quito y Guayaquil. La población produce:

- Orito
- Maqueño
- Yuca
- Piña
- Naranja
- Otros

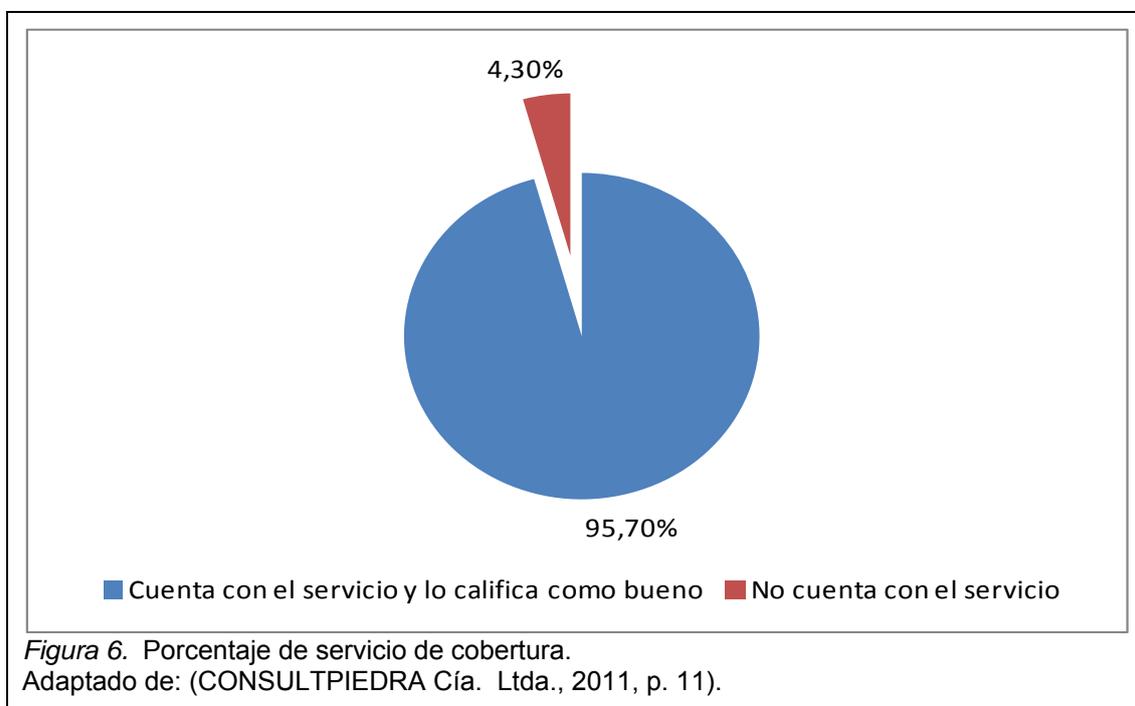
Los productos que más se comercializan fuera de la zona son la yuca y el plátano.

## **2.3 RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS, LA BASURA Y EL BOTADERO EN EL CANTÓN SANTO DOMINGO**

### **2.3.1 Áreas de servicio y cobertura**

Actualmente, el porcentaje de la población del Cantón Santo Domingo que tiene servicio de recolección de basura y lo califica como bueno, está en un

95,7%, mientras que el 4,3% no cuenta con este servicio (CONSULTPIEDRA Cía. Ltda., 2011, p. 11)



En el Plan de Desarrollo Provincial 2011, se determinó los parámetros de cobertura tanto para el área rural y urbana, así la capacidad de recolección de residuos en el área urbana está entre el 66% y el 82%; mientras que para el área rural se estima que se encuentra entre 14% y 25% (CONSULTPIEDRA Cía. Ltda., 2011, p. 11); en contraste, los datos publicados oficialmente por el INEC, de acuerdo al censo realizado en el año 2010, se estimó una cobertura de recolección en el área urbana del 96,83%, y en el área rural del 36,95%, con una cobertura promedio del 82,56% (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010).

A

### Área urbana



B

### Área rural



C

### Área urbana



D

### Área rural



Figura 7. Porcentajes de cobertura del área urbana y rural según datos de Plan de Desarrollo Provincial 2011 e INEC.

En la figura 7 se puede apreciar que los datos sobre los niveles de cobertura, tanto en la zona rural como urbana; difieren en las dos fuentes consultadas, siendo los porcentajes del Plan de Desarrollo Provincial 2011 (A y B) inferiores a los publicados por el INEC (C y D).

### 2.3.2 Generación per cápita y composición de los desechos

La generación per cápita total en Santo Domingo para el período 2008 y 2018 se estima entre 0,86 y 0,95 kg/hab\*día (CONSULTPIEDRA Cía. Ltda., 2011, p. 12). Su estimación se argumenta en la intensa actividad comercial que se lleva a cabo en el cantón, lo que induce a la población a generar mayores cantidades de residuos; además de que la dieta alimentaria de los ciudadanos de la zona, especialmente la zona rural, se basa en vegetales, que generan bastante peso como es el caso de plátano, yuca, etc.

De acuerdo con los datos de población estimados por el INEC, en el censo llevado a cabo en el 2010, y la información base del estudio realizado por Fundación Natura, cuya base es el Estudio realizado por IDOM, se proyectó la generación per cápita de residuos generados ton/día para los próximos años; la información se detalla en la siguiente tabla:

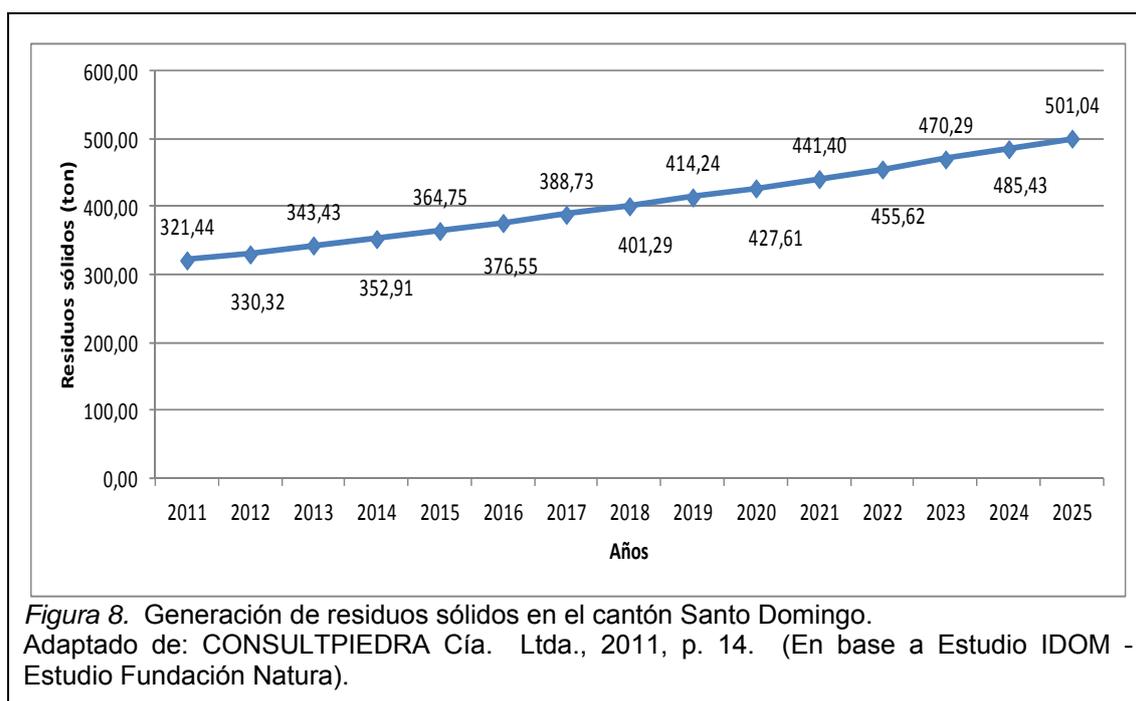
**Tabla 4. Generación de residuos sólidos en el cantón Santo Domingo.**

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>	<b>PPC Residuos Kg/hab*día</b>	<b>Residuos generados kg/día</b>	<b>Residuos generados ton/día</b>
2011	378 170	2,76	0,85	321 444,63	321,44
2012	388 608	2,76	0,85	330 316,51	330,32
2013	399 333	2,76	0,86	343 426,57	343,43
2014	410 355	2,76	0,86	352 905,15	352,91
2015	421 681	2,76	0,87	364 753,73	364,75
2016	433 319	2,76	0,87	376 554,21	376,55
2017	445 279	2,76	0,87	388 728,22	388,73
2018	457 568	2,76	0,88	401 287,40	401,29

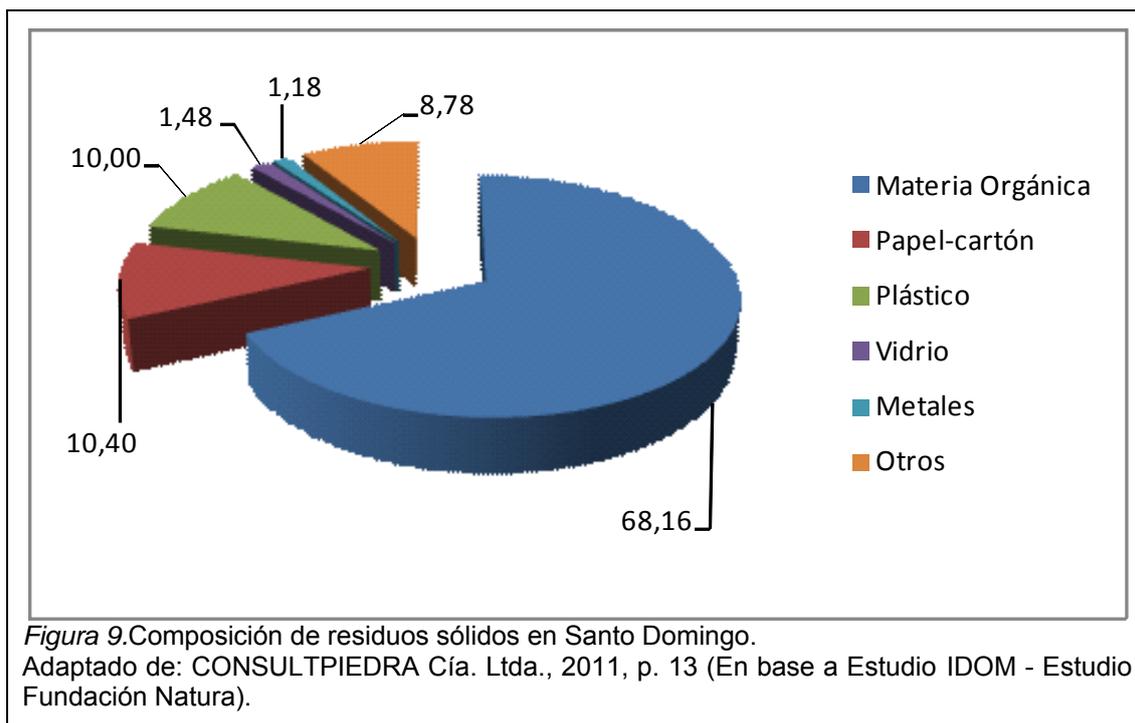
Año	Población	Tasa de crecimiento	PPC Residuos Kg/hab*día	Residuos generados kg/día	Residuos generados ton/día
2019	470 197	2,76	0,88	414 243,72	414,24
2020	483 175	2,76	0,89	427 609,54	427,61
2021	496 510	2,76	0,89	441 397,61	441,40
2022	510 214	2,76	0,89	455 621,04	455,62
2023	524 296	2,76	0,90	470 293,36	470,29
2024	538 766	2,76	0,90	485 428,52	485,43
2025	553 636	2,76	0,91	501 040,89	501,04

Adaptado de: CONSULTPIEDRA Cía. Ltda., 2011, p. 14.

Es así como se estima que al año 2025 el cantón Santo Domingo contaría con una población de 553 636 habitantes y con una generación de 0,91 kg/hab\*día.



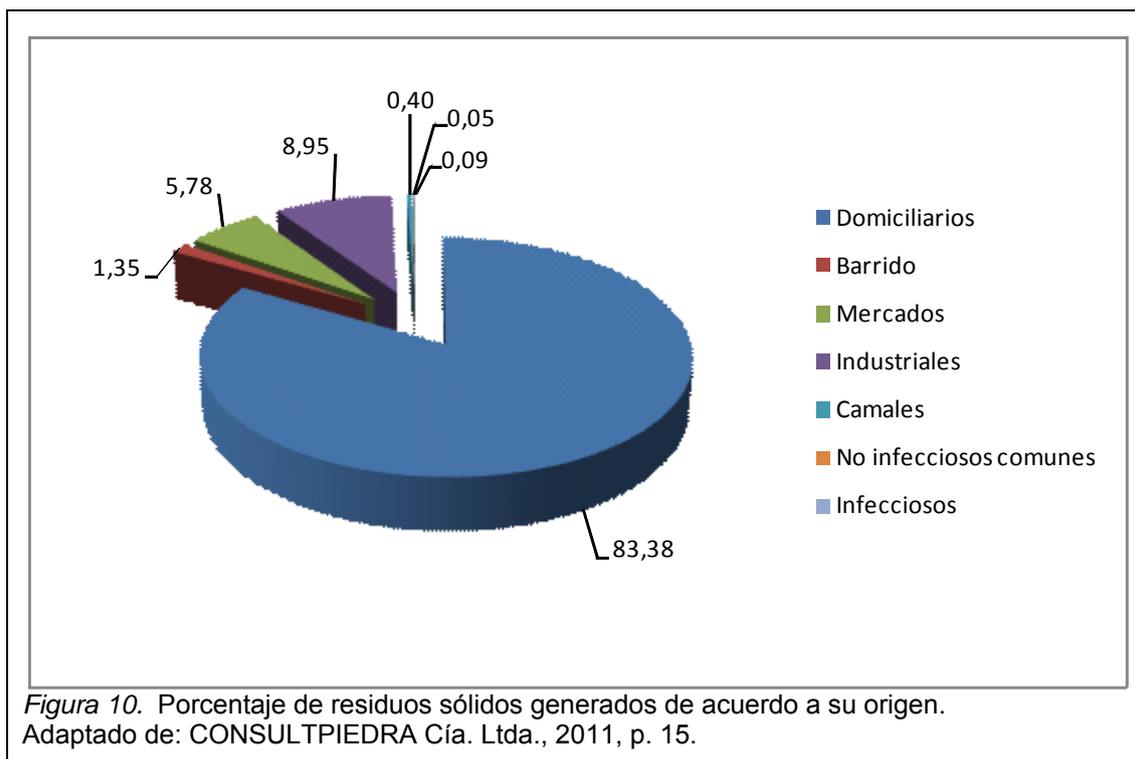
La composición de los residuos sólidos generados en el cantón Santo Domingo se detalla en la siguiente figura:



Como se puede evidenciar, el porcentaje de materia orgánica corresponde a más de la mitad de la composición total de los residuos sólidos generados en el cantón (68,16%); materia orgánica puede ser utilizada en procesos de compostaje evitando problemas ambientales futuros y extendiendo la vida útil de los rellenos sanitarios.

### 2.3.3 Clasificación de los residuos sólidos por su origen de generación

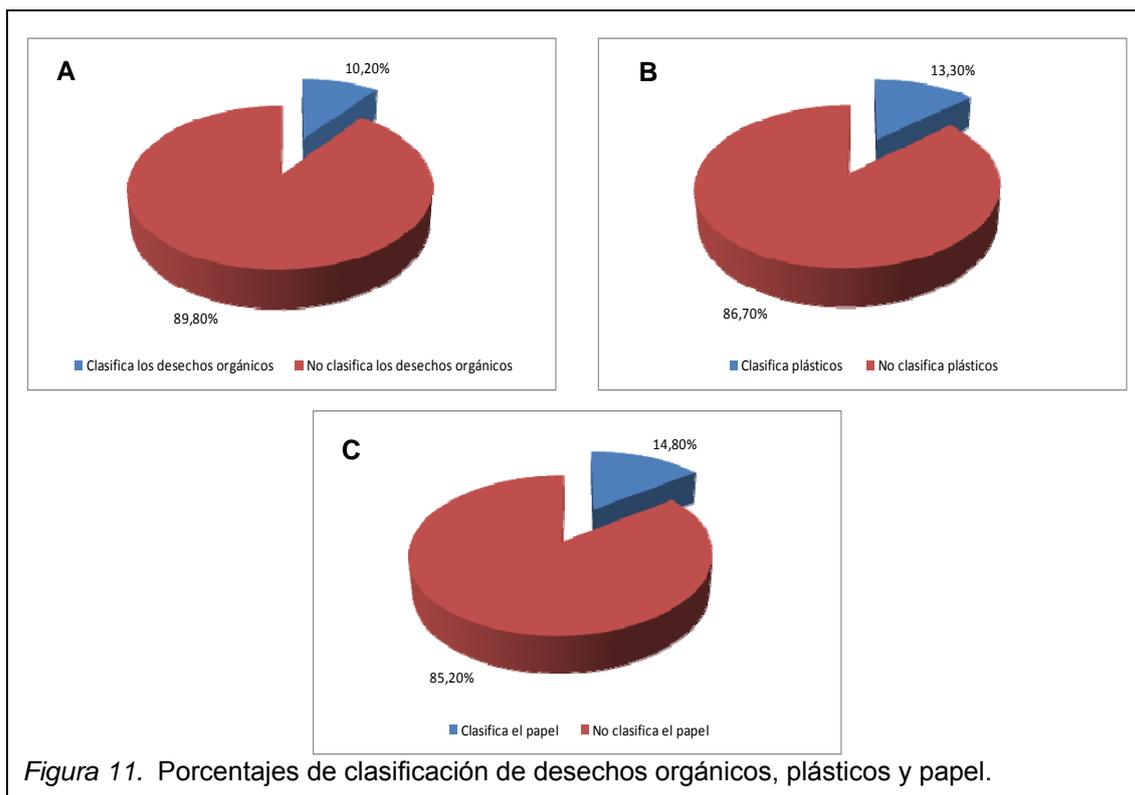
Los domicilios generan más del 80% de los residuos sólidos totales que se producen en el cantón, sobrepasando ampliamente a otras fuentes de procedencia como mercados, industrias, entre otras; en la siguiente figura se especifica el porcentaje de generación de acuerdo a su origen:



### 2.3.4 Recolección y disposición final de los residuos sólidos

El almacenamiento de los residuos sólidos se lo realiza en tachos plásticos, fundas, cartones, tachos metálicos, cajas de cartón y de madera. En el país no existe estandarización en cuanto a las dimensiones del recipiente, salvo en ciudades como Loja y Zamora, donde el municipio comercializó recipientes estandarizados para el depósito de los residuos en los hogares. Son pocos los hogares donde se practica una separación de residuos para su posterior entrega a gestores adecuados.

En la Provincia de Santo Domingo, el 10,2% de las viviendas clasifica los desechos orgánicos (A), el 13,3% clasifica los plásticos (B) y el 14,8% clasifica el papel (C), situándose así por debajo del promedio nacional. El 25,9% de las familias ecuatorianas tienen capacitación sobre reciclaje (INEC, 2010, p. 9). En la siguiente figura se detallan los porcentajes de clasificación para cada material:



Los vehículos recolectores no transitan por las calles que no tienen tratamiento en su capa de rodadura, mientras que en las zonas rurales no hay suficientes unidades para abastecer la demanda actual del servicio, lo que ocasiona un déficit de cobertura del mismo. La falta de promoción y educación ciudadana sobre el manejo de desechos sólidos, influye negativamente en la prestación del servicio de recolección de basura (Torres y Torres, 2009, pp. 65 – 66)

Administraciones anteriores no enfrentaban la problemática de la basura y la trataban sin ningún criterio técnico; era común la utilización de quebradas del área urbana para hacer rellenos y habilitar la conexión de vías, sin medir las consecuencias de la contaminación que ocasionaba y ante la complacencia de la gente (Torres y Torres, 2009, p. 66). Los déficits de cobertura y el manejo inadecuado de los desechos generados provocó, que tanto en el área urbana como en el área rural, el excedente de basura producido se acumulara en esteros, lotes vacíos y calles; lo que también ocasionó una proliferación de botaderos clandestinos, razón por la cual en agosto de 2009 el Gobierno Autónomo Descentralizado de Santo Domingo, bajo la administración de la

Alcaldes Ing. Verónica Zurita, declaró al cantón en emergencia sanitaria; iniciándose un proceso de implementación del Complejo Ambiental, un centro integral dedicado al manejo de residuos sólidos, donde se garantice una adecuada gestión de los residuos sólidos generados (CONSULTPIEDRA Cía. Ltda., 2011, p. 30).

Actualmente el GAD Municipal de Santo Domingo recolecta alrededor de 270 toneladas por día de residuos sólidos. El servicio de recolección tiene una cobertura aproximada del 85%, lo que significa que existen aproximadamente unas 40 toneladas diarias que actualmente no se recogen (CONSULTPIEDRA Cía. Ltda., 2011, p. 2). El servicio de recolección de basura se brinda únicamente los días martes, jueves y sábado, el excedente de basura producido que no es recogido por los carros recolectores del GAD de Santo Domingo necesariamente se acumula en quebradas, esteros y terrenos vacíos de la zona (CONSULTPIEDRA Cía. Ltda., 2011, p. 44). En la zona rural, específicamente en San Gabriel del Baba, los carros recolectores brindan el servicio sólo los días martes y sábados de todas las semanas.

De acuerdo a entrevistas realizadas en la Dirección de Planificación Territorial, Obras y Ornato del GAD Municipal de Santo Domingo, se conoce que el servicio de recolección de basura cuenta con una cobertura del 70% del total de la población ubicada en el centro poblado, y no existe separación en la fuente.

Según información proporcionada por el Departamento de Saneamiento y Gestión Ambiental del GAD Municipal de Santo Domingo; el proceso de manejo de los residuos inicia con su generación y almacenamiento temporal en los hogares, continuando con su recolección y transporte, hasta terminar con su depósito en un botadero a cielo abierto ubicado en el km 19 de la vía a La Concordia. A partir de la acumulación temporal en las viviendas se originan los problemas ecológicos, más aún si se considera que el manejo de los referidos desechos no es técnico.

Según el GADM de Santo Domingo la inversión actual en el tratamiento de los residuos sólidos generados es aproximadamente de USD 83,72 por tonelada en la zona rural; el desglose de este rubro se detalla a continuación:

**Tabla 5. Inversión del GADM de Santo Domingo en la gestión de los residuos sólidos.**

<b>Actividad</b>	<b>USD (\$) por Ton</b>
Disposición final y tratamiento técnico de los residuos sólidos	18,22
Recolección y transporte de los residuos sólidos	57,50
Costos operativos y administrativos	8
<b>TOTAL</b>	<b>83,72</b>

Nota: La disposición final incluye el costo de infraestructura, la operación del relleno, el tratamiento lixiviados, y las medidas complementarias como el cierre técnico del área en uso. El costo de recolección promedio de cada tonelada es de USD 34,15, el costo en el área rural es superior debido a que se pierde eficiencia en el servicio.

Toda la información descrita en este capítulo se tomó en cuenta para el desarrollo del sistema de compostaje óptimo a diseñar, de acuerdo a las características de la zona en cuanto a; generación de residuos, población, actividades agrícolas, entre otras.

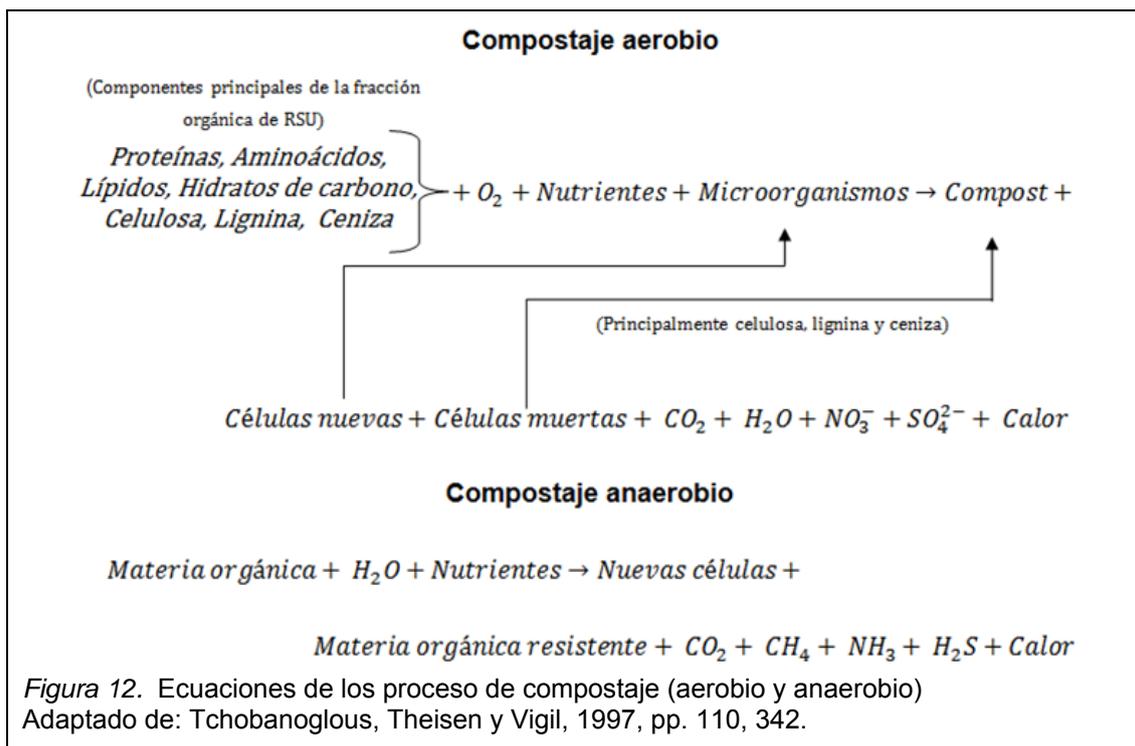
### 3 CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

#### 3.1 COMPOSTAJE Y COMPOSTA

Díaz, E. define al compostaje de la siguiente forma: “El proceso de compostaje es la transformación biológica de los residuos orgánicos llevada a cabo por los microorganismos debido a la cual, elementos químicos como el N, C, K, P Y S de compuestos complejos se liberan” (Díaz, 2002, p. 12). El compostaje es un proceso de degradación natural de desechos orgánicos (celulosa, almidón o proteínas) debido a la actividad de enzimas producidas por microorganismos; esta actividad biológica resulta en la generación de calor (Martínez, et. al., 2009, p. 14). El objetivo del compostaje es la transformación de los desechos orgánicos en abono orgánico (compost o composta), para que puedan ser absorbidos por la tierra y por las plantas, fertilizando así el suelo debido a la incorporación de nutrientes al suelo original.

Existen dos clases de compostaje:

- **Compostaje aerobio (rápido):** Ocurre en presencia de oxígeno necesario para alcanzar temperaturas altas, eliminar la mayoría de larvas, patógenos, y semillas de maleza y reducir la generación de olores. El compost maduro se puede obtener a partir de los 2 meses aproximadamente, dependiendo del control que se dé al proceso.
- **Compostaje anaerobio (lento):** La degradación se produce sin la presencia de O<sub>2</sub>, generalmente este tipo de compostaje se realiza para la obtención de metano. La obtención del abono puede tardar entre 6 y 12 meses (Rodríguez y Córdova, 2006, pp. 32 – 33).



Para la obtención de un compost maduro de calidad, es necesario mantener un control de la cantidad de oxígeno, temperatura y la mezcla del material, para lograr una aceleración en el proceso de degradación de los desechos orgánicos y evitar la presencia de moscas, insectos, roedores y olores desagradables. Un compost maduro y estable consume poco oxígeno y nitrógeno y genera de forma limitada dióxido de carbono y calor (Díaz, 2002, p. 12).

### 3.1.1 Beneficios del Uso de Compost

Cuando se mezcla el compost con agua, éste tiene la propiedad de asociarse a muchos iones minerales cargados positivamente (cationes) o nutrientes, que pueden entonces ser absorbidos con más facilidad (Alonso, 2011, p. 83). Algunos de los beneficios para las plantas y el suelo se detallan a continuación:

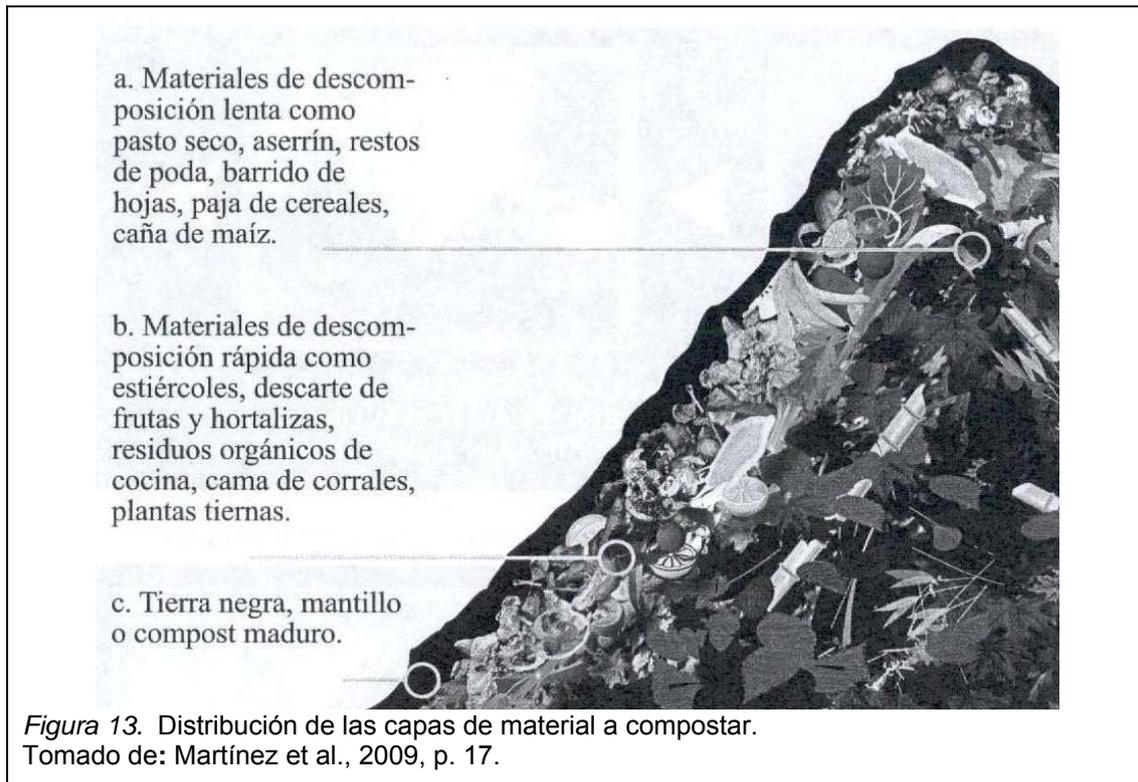
- “Reduce la compactación del suelo y mejora su estructura.
- Mejora la capacidad de movilización de nutrientes.

- Reduce la necesidad de fertilizantes.
- Facilita el cultivo.
- Incrementa el desarrollo de las raíces.
- Mejoras las propiedades hídricas del suelo, favoreciendo el drenaje en los suelos arcillosos y la resistencia a la sequía en los arenosos.
- Protege a las plantas de las enfermedades.
- Incrementa las poblaciones de microorganismos y de lombrices, que causan un beneficio persistente al suelo y a las plantas.” (Alonso, 2011, p. 83).

### **3.2 SISTEMAS DE COMPOSTAJE**

La mayoría de los sistemas de compostaje consisten en hacer una pila o montón de capas de materiales secos (hojas secas, ramas, etc.), alternadas con capas de desechos de materiales húmedos (restos de poda, restos de cocina, etc.). Las capas pueden estar superpuestas; unas sobre otras, o mezcladas.

Es necesaria la circulación del aire a lo largo de la pila; por lo tanto, debe tomarse en consideración este factor al momento de elegir su tamaño y forma. En lechos demasiado grandes el oxígeno no puede penetrar en el centro; y en pilas muy pequeñas no se alcanza la temperatura necesaria. El tamaño óptimo depende del tipo de material y la temperatura del ambiente (Alonso, 2011, p. 107).



Entre los distintos sistemas se tiene:

- Sistemas Abiertos (compostaje en superficie, pilas simples, pilas estáticas ventiladas, compostaje en hileras, compostaje en trincheras)
- Sistemas Cerrados (compostaje en tambor, compostaje en túnel, compostaje en contenedor, digestores)

### 3.2.1.1 Sistemas Abiertos

Los residuos se disponen en pilas o en hileras en el interior de una nave o al aire libre. Para lograr la fermentación aerobia del sustrato es necesario aportarles oxígeno; bien por volteación de las hileras, bien mediante una red de tuberías perforadas (Alonso, 2011, p. 106).

### 3.2.1.2 Pilas Simples

Éste es el sistema que se usa con más frecuencia debido a que no se necesita maquinaria especializada y la inversión económica inicial es muy baja. Los materiales se acumulan sobre el suelo sin comprimirlos en exceso. Es muy importante la forma y dimensión de la pila. Las dimensiones y forma óptimas de la pila dependen del tamaño de partículas, el porcentaje de humedad existente, porosidad y nivel de degradación; lo cual afecta al flujo de aire hacia el interior de la pila. El tamaño generalmente varía entre 1 - 2 m de altura, por 2 – 4 m de anchura. La sección tiende a ser trapezoidal (Alonso, 2011, p. 106). Las dimensiones del lecho de compostaje varían dependiendo del autor. Se consultó a expertos de la zona, quienes aseguraron que con lechos de 0.5 m de ancho por 1 m de alto se puede realizar el proceso de compostaje, obteniendo resultados óptimos.

Los lechos de compostaje son aireados por convección natural. Se crea una presión de succión por el aire caliente que sube desde el centro de la pila, y que aspira el aire de las zonas laterales (Alonso, 2011, p. 107).

Una vez que se tiene la pila, la única tarea necesaria para un compostaje adecuado es el volteo y el vigilar las condiciones de la pila como: humedad, temperatura, etc. La frecuencia del volteo depende del material a compostar; su grado de hidratación y de la rapidez con que se desea obtener la composta, comúnmente se realiza un volteo por semana. Los volteos ayudan a controlar los niveles de humedad aumentando así la porosidad del lecho; además de eliminar el excesivo calor, debido a que se homogeniza la mezcla y su temperatura (Alonso, 2011, p. 107).

El sistema de compostaje por pilas es el que se utiliza en este proyecto debido a sus bajos costos de construcción, su fácil control, y a que el espacio a utilizar es mínimo; siendo así el recomendado a usar en los hogares de San Gabriel del Baba.

### **3.2.2 Sistemas Cerrados**

Se utilizan contenedores, túneles o tambores, estos procesos permiten aumentar la capacidad de tratamiento, añadiendo a la planta las unidades de compostaje necesarias. Al ser sistemas cerrados se produce una descomposición anaerobia, por lo que es necesario tratar los olores producidos para lo que se suelen utilizar biofiltros de corteza, o se hace uso de sistemas de ventilación forzada, adicionalmente pueden incluir sistemas de mezcla interna (Alonso, 2011, p. 109).

## **3.3 FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

### **3.3.1 Temperatura**

La temperatura óptima se encuentra en un rango entre 35°C– 60 °C. Cuando la temperatura es superior a los 50°C se eliminan larvas, semillas de maleza, organismos patógenos (Díaz, 2002, p. 15). El proceso de compostaje inicia con una fase mesofílica donde alcanza hasta los 40 °C, luego pasa a una fase termófila donde llega a temperaturas de 60 °C, y regresa a una fase mesofílica donde la temperatura desciende hasta los 35 °C aproximadamente. En secciones posteriores se amplía la información sobre las fases del proceso.

### **3.3.2 Humedad**

El proceso de compostaje debe alcanzar los niveles óptimos del 40% -60% de humedad. Si el porcentaje de humedad es superior al 60%, el agua ocupará todos los poros y el proceso se tornará anaeróbico produciéndose una pudrición de la materia orgánica. Cuando las condiciones se hacen anaerobias se originan malos olores y disminuye la velocidad del proceso. Caso contrario, cuando los porcentajes de humedad son inferiores al 40%, el proceso se ralentiza debido a que disminuye la actividad de los microorganismos. El contenido de humedad depende de los residuos a compostar (Infoagro, 2010).

### 3.3.3 pH

El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Mediante el seguimiento del pH se puede tener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas, se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH (Moreno y Moral, 2011, p. 98).

Durante la fase mesófila inicial se evidencia una disminución del pH (6), debido a la liberación de ácidos orgánicos producidos por la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil. Esta disminución de los niveles de pH puede ser muy pronunciada si existen condiciones anaeróbicas, pues se forma una mayor cantidad de ácidos orgánicos. A continuación se produce una fase de alcalinización del medio debido a la pérdida de ácidos orgánicos y a la producción de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas. En una tercera fase final, el pH tiende a la neutralidad (7,5 – 8,5) debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón (Moreno y Moral, 2011, p. 98).

### 3.3.4 Aireación

Es necesario asegurar la presencia de oxígeno durante los procesos de compostaje, debido a que los organismos que intervienen en él son aerobios. Una aireación baja provoca un reemplazo de los microorganismos aerobios por anaerobios, provocando un retraso en los procesos de degradación; la aparición del sulfuro de hidrógeno, y la aparición de malos olores. Un exceso de ventilación podría producir el enfriamiento de la pila de compostaje, provocando una reducción de la actividad metabólica de los microorganismos. Durante el proceso de maduración no se deben hacer aportaciones adicionales de oxígeno, ya que se provocaría un consumo de los compuestos húmicos formados y una rápida mineralización de los mismos (Moreno y Moral, 2011, pp. 99 - 100).

### 3.3.5 Relación C/N Equilibrada

Se sabe que los microorganismos involucrados en el proceso de compostaje absorben 30 partes de C por cada parte de N (Díaz, 2002, p. 17).

La relación equilibrada entre C y N influye en la obtención de un compost de buena calidad, componentes básicos de la materia orgánica. Se considera el rango de 25-35 como el ideal, pero esta relación depende de las materias primas que conforman el compost (Infoagro, 2010).

La actividad biológica disminuye cuando la relación C/N es muy elevada, y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con el consiguiente retraso del proceso, debido a la insuficiente disponibilidad de nitrógeno para la síntesis proteica de los microorganismos. Para eliminar el exceso de carbono (en forma de anhídrido carbónico) es necesaria la aparición progresiva de diversas especies microbianas. Al morir estos microorganismos el nitrógeno contenido en su biomasa se recicla y la relación C/N tiende a disminuir. El proceso de compostaje no se ve afectado cuando se tiene una relación C/N muy baja, se pierde el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Con una relación C/N muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N del proceso. La relación C/N ideal para un compost totalmente maduro es cercana a 10, similar a la del humus. Generalmente se considera que un compost se encuentra estable o maduro cuando  $C/N < 20$ , aunque esta es una condición necesaria pero no suficiente (Moreno y Moral, 2011, p. 102).

### 3.3.6 Densidad Aparente

Se define como la relación existente entre el peso del suelo y el volumen. Según Gordillo y Chávez, la densidad aparente debe encontrarse entre 0,4 y 0,7 g/mL para que se lleve a cabo un proceso de descomposición adecuado.

Este parámetro se ve afectado por la humedad del producto, la distribución de las partículas, el contenido de materia orgánica, y su grado de descomposición. La densidad aumenta conforme pasa el tiempo de compostaje, como consecuencia de una mayor descomposición y reducción tamaño de las partículas (Gordillo y Chávez, 2010, pp. 3-4)

En las pilas de compostaje, la densidad aparente puede aumentar o disminuir dependiendo del grado de humedad existente. El espacio de aire libre disminuye y el producto se compacta cuando la humedad es alta; cuando los valores de humedad son bajos los espacios intersticiales están ocupados por aire, y la densidad aparente aumenta (Moreno y Moral, 2011, p. 101).

### **3.3.7 Población Microbiana**

Los microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetes son los encargados de la degradación de la materia orgánica.

Durante la fase mesofílica aerobia inicial predominan bacterias y hongos generadores de ácidos. Durante el período termófilo (temperaturas superiores a los 40°C) predominan bacterias, actinomicetes y hongos termófilos y termotolerantes (Díaz, 2002, p. 13).

## **3.4 FASES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE**

### **3.4.1 Mesofílica**

La pila mantiene la temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos comienzan a multiplicarse rápidamente. Los microorganismos presentes (bacterias, hongos y protozoos), junto con artrópodos y anélidos; requieren que la temperatura no sea superior a 40 °C para sobrevivir. Comienzan asimilando los hidratos de carbono y las proteínas. Debido a la actividad metabólica de los microorganismos la temperatura aumenta, y se producen ácidos orgánicos que

provocan un descenso del pH (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2002, p. 540)

#### **3.4.2 Termófila**

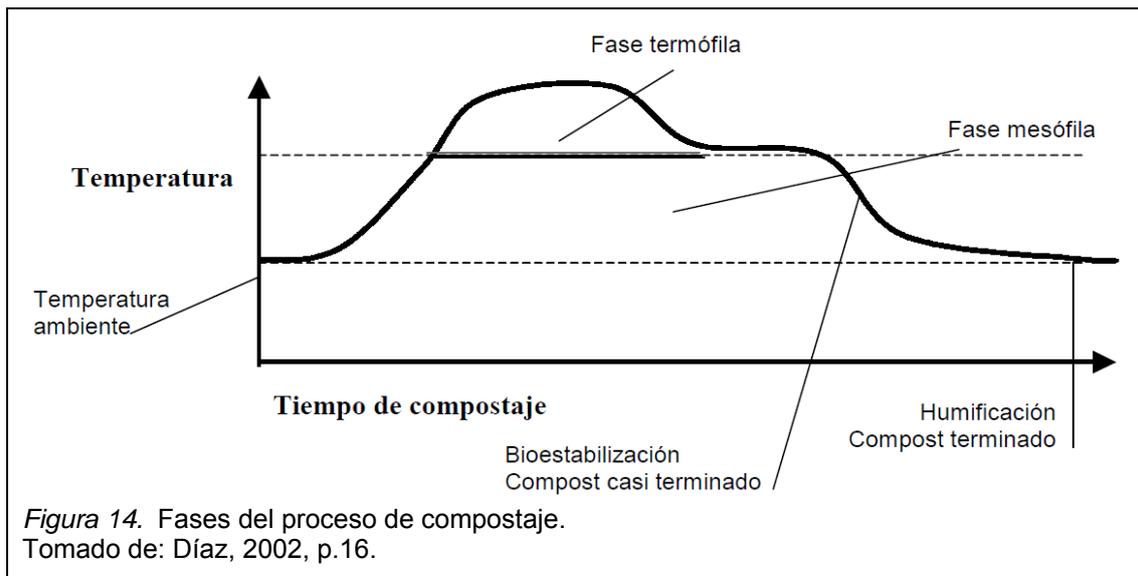
En esta fase se inicia una rápida proliferación de bacterias, hongos y actinomicetos, que realizan los más importantes cambios en la composición química de los materiales. Las nuevas bacterias degradan la celulosa y la lignina (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2002, p. 540). La temperatura llega a ser superior a los 40 °C. En esta fase actúan los microorganismos termófilos quienes transforman el nitrógeno en amoníaco, el pH se eleva y pasa a ser alcalino. Cuando la temperatura alcanza los 60 °C aparecen los actinomicetos y las bacterias esporígenas, los hongos termófilos desaparecen. Se inicia la descomposición de las ceras, proteínas y hemicelulosas, a cargo de estos microorganismos (Infoagro, 2010).

#### **3.4.3 De Enfriamiento**

Se producen pérdidas de calor debido a que la materia orgánica ya fue consumida por parte de los microorganismos. Se vuelve a una fase mesofílica (35°C aproximadamente), se produce una degradación de celulosa y ligninas residuales por parte de las bacterias mesofílicas. El pH del medio desciende (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2002, p. 540).

#### **3.4.4 De Maduración**

La pila se encuentra a temperatura ambiente; se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización, estableciéndose equilibrios químicos y bioquímicos. En esta fase ocurre un descenso de la actividad metabólica por disminución de las necesidades de oxígeno (García, 1984, p.3).



### 3.5 POSIBLES PROBLEMAS Y SOLUCIONES DURANTE EL COMPOSTAJE

A continuación se detallan algunas soluciones a problemas que pueden presentarse durante el proceso de compostaje:

Tabla 6. Posibles problemas y soluciones durante el compostaje.

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Olor desagradable	Demasiada humedad	Agregar material seco para absorber la humedad. Mezclar
Olor a amoníaco	Falta de aire debido a la compactación excesiva	Reducir las dimensiones del lecho; añadir pedazos de tamaños diferentes (ramitas, etc.) para crear espacios de aire en el lecho. Mezclar
Temperatura baja	Gran cantidad de residuos verdes (nitrógeno)	Agregar residuos cafés
	Lechos muy pequeños	Agrandar el tamaño del lecho; tapar o aislar la pila.
	Baja humedad	Agregar agua durante el mezclado; cubrir el lecho para evitar que se pierda la humedad
	Insuficiente aeración	Añadir pedazos de material de diferentes tamaños; voltear
	Pocos desechos verdes	Agregar desechos verdes
	Tiempo frío	Aumentar el tamaño del lecho; cubrirla con plástico perforado para guardar el calor
Temperatura muy alta	Lecho muy grande	Reducir el tamaño del lecho
Presencia de vectores (hormigas, moscas, roedores)	Composta de desechos grasos, carne	Retirar desechos de origen animal, cubrir el lecho con hojas/tierra; usar una compostadora diseñada para tratar estos residuos
	Pila seca	Agregar desechos húmedos o agua
	Demasiada humedad	Agregar residuos cafés (hojas, ramas, etc.)

Adaptado de: (Diputación Provincial de Barcelona, 2010, pp. 25-26)

## 4 CAPÍTULO IV: DISEÑO EXPERIMENTAL

### 4.1 METODOLOGÍA

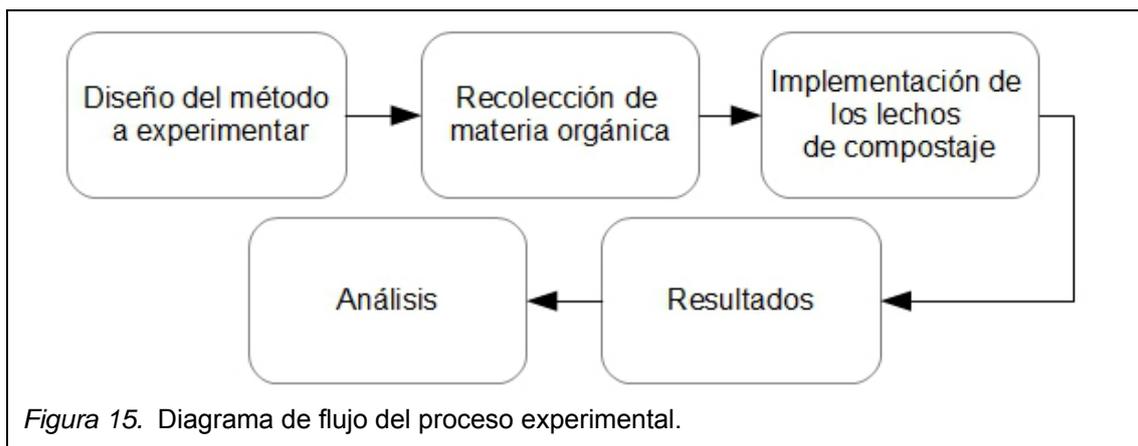
En el presente trabajo de investigación se desarrollaron dos procesos de compostaje. Se diseñó un sistema de compostaje por pilas adecuado para San Gabriel del Baba, ya que tienen un alto porcentaje de generación de residuos orgánicos, debido a la actividad comercial de la zona, y a la dieta alimentaria de sus habitantes. Para la producción del compost se utilizó desechos orgánicos de cocina, recolectados de los hogares de la localidad.

Uno de los procesos que se llevó a cabo es el compostaje con el uso de EMAs (microorganismos eficientes autóctonos). Los EMAs son una combinación de microorganismos beneficiosos (bacterias productoras de ácido láctico, bacterias fotosintéticas, actinomicetos, levaduras y hongos de fermentación) que al entrar en contacto con la materia orgánica, producen sustancias beneficiosas como; sustancias antioxidantes, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales quelatados; acelerando la degradación de la materia orgánica y aumentando el contenido de humus. Los EMAs son capaces de coexistir dentro de un medio líquido (Wenzl, 2006, pp. 38–43). La técnica de obtención de EMAs usada en este trabajo de investigación ha sido desarrollada por el personal que trabaja en el Instituto Tecnológico Superior “Calazacón” (ITSC).

El segundo proceso desarrollado es el compostaje con el uso de un “acelerador casero” a base de levadura, bebida gaseosa y agua; éste es agregado a la pila de compostaje para apresurar el proceso de descomposición de la materia orgánica. La levadura es necesaria debido a su capacidad para descomponer mediante fermentación la materia orgánica, y el azúcar de la bebida gaseosa proporcionará a los microorganismos una fuente disponible de carbono, disminuyendo así el tiempo de obtención de compost.

El proceso experimental inició con el diseño de los tratamientos a analizar; a continuación se estableció y ejecutó un plan de recolección de la materia

orgánica en San Gabriel del Baba. Una vez concluida la etapa de recolección de los residuos orgánicos, se construyó los lechos de compostaje; los cuales fueron analizados periódicamente. Al final de todo el proceso se obtuvieron resultados de los parámetros controlados, mismos que fueron analizados para la formulación de conclusiones. En la Figura 15 se describe el diagrama de flujo del diseño experimental.



#### 4.1.1 Diseño experimental de los sistemas de compostaje

Se analizaron los 2 métodos de compostaje descritos en la introducción a este capítulo de acuerdo a su efectividad en la degradación de frutas y verduras, por separado. Para esto se construyeron 4 lechos de compostaje principales, y una réplica de cada uno. En cada lecho se analizó la evolución del proceso, mediante un control de los factores involucrados como:

- Temperatura
- pH
- Humedad
- Densidad aparente
- Relación C/N

Al término de 7 semanas se evaluaron los dos métodos de compostaje de acuerdo al tiempo de obtención del compost maduro y la calidad del producto final. A continuación se describe el diseño factorial del experimento.

**Tabla 7. Factores y sus niveles para el proceso de experimentación del compostaje. Diseño Factorial Complejo Aleatorio  $2^2 = 4$ .**

Factores (Variables)	Niveles de Factores	
	-	+
F1	Frutas (-1)	Vegetales (+1)
F2	Levadura + bebida gaseosa (-1)	EMAs (+1)

Nota: F1= Tipo de residuos, F2= Tipo de bioacelerador a agregar al proceso de compostaje.

Se busca determinar el método de compostaje apropiado, de acuerdo al tipo de activador biológico usado (levadura más bebida gaseosa, ó la solución con EMAs), para su posterior implementación en San Gabriel del Baba como una propuesta al manejo de residuos orgánicos.

La matriz de diseño experimental con sus variables, niveles y factores respuesta, se detalla a continuación:

**Tabla 8. Matriz de diseño experimental.**

Tratamiento	Lecho	F1	F2	Factores Respuesta				
				Temperatura	pH	Composición Química	Humedad	Densidad
1	A y A'	-1	-1	R <sub>A1</sub>	R <sub>A2</sub>	R <sub>A3</sub>	R <sub>A4</sub>	R <sub>A5</sub>
2	B y B'	-1	+1	R <sub>B1</sub>	R <sub>B2</sub>	R <sub>B3</sub>	R <sub>B4</sub>	R <sub>B5</sub>
3	C y C'	+1	-1	R <sub>C1</sub>	R <sub>C2</sub>	R <sub>C3</sub>	R <sub>C4</sub>	R <sub>C5</sub>
4	D y D'	+1	+1	R <sub>D1</sub>	R <sub>D2</sub>	R <sub>D3</sub>	R <sub>D4</sub>	R <sub>D5</sub>

Siendo así:

- Lecho A y A': Frutas + levadura y bebida gaseosa
- Lecho B y B': Frutas + EMAs
- Lecho C y C': Vegetales + levadura y bebida gaseosa
- Lecho D y D': Vegetales + EMAs

De cada lecho se obtuvo un dato semanal por parámetro evaluado ( $R_1$ = promedios de temperatura en los diferentes tratamientos;  $R_2$ = promedios de pH en los diferentes tratamientos;  $R_3$ = promedios de elementos químicos presentes al inicio y al final del proceso;  $R_4$  = promedios de humedad en los diferentes tratamientos y  $R_5$  = promedios de densidad en los diferentes tratamientos). Al final se realizó un análisis y una comparación de las respuestas obtenidas, para determinar el método óptimo a implementar. De esta manera se pueden interactuar los factores para obtener mejores efectos.

#### 4.1.2 Determinación del Tamaño de la Muestra

El presente proyecto está dirigido a todas las familias de San Gabriel del Baba, que estén dispuestas a dar una revalorización de los desechos orgánicos que se producen en sus hogares. Como se mencionó anteriormente, San Gabriel del Baba cuenta con una población de 3 232 habitantes; a partir de este dato se calculó el número de hogares que proporcionarían los desechos orgánicos para posteriormente realizar el compostaje.

La fórmula empleada se detalla a continuación:

$$n = \frac{k^2 \times N \times p \times q}{(e^2 \times (N - 1)) + (k^2 \times p \times q)}$$

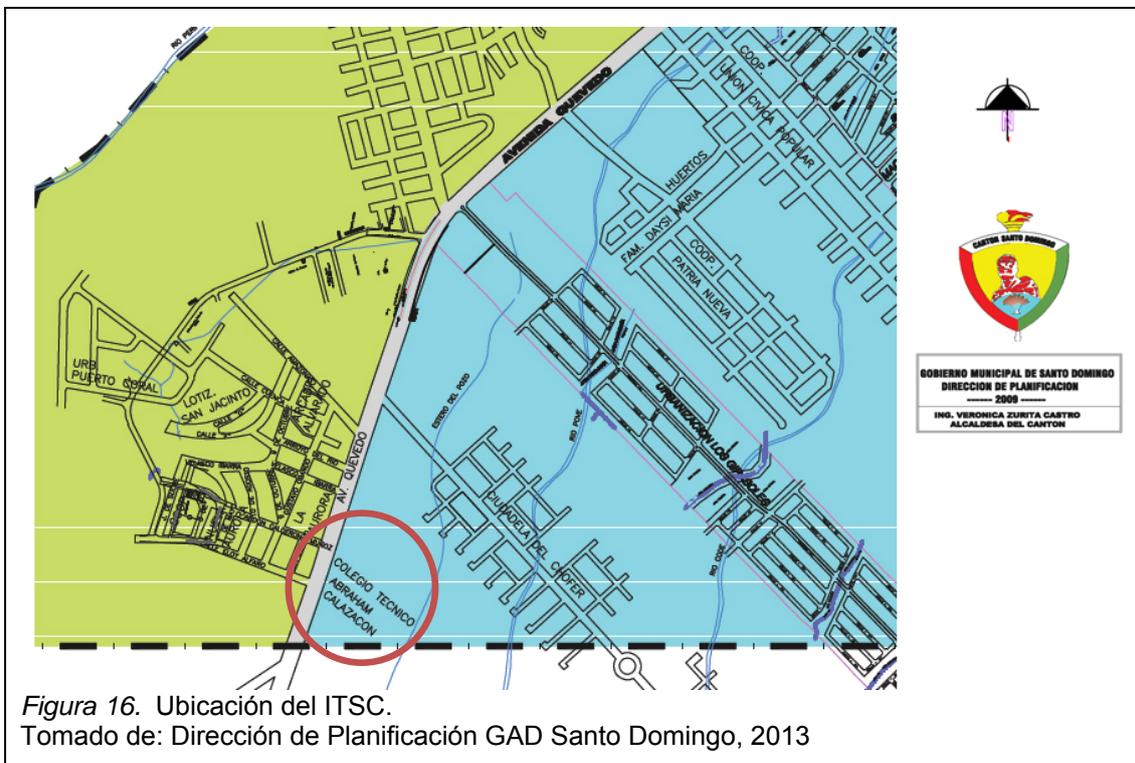
Adaptado de: (Galindo, 2006, p. 172)

Mediante la aplicación de la fórmula de Galindo se determinó que el tamaño de muestra serían 86 viviendas. Los cálculos de obtención del tamaño de muestra se detallan en el Capítulo Resultados.

#### 4.1.3 Ubicación de Lechos de Compostaje

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior “Calazacón”, ubicado en la Vía Quevedo Km 6 y medio,

margen derecho, sector La Aurora. Se proporcionó el espacio físico y los instrumentos necesarios para el control de parámetros in situ. (Ver Anexo 1 SOLICITUD)



#### 4.1.4 Construcción de Lechos de Compostaje

Se adecuó el terreno para la construcción y colocación de los lechos de compostaje. Las dimensiones del terreno son 5,50 m de ancho por 9,30 m de largo. En la Figura 17 se puede observar la ubicación de los lechos de compostaje en el terreno.



Figura 17. Distribución de los lechos de compostaje en el terreno

Una vez limpio el lugar, el siguiente paso fue la construcción de los lechos con los materiales enlistados a continuación:

- 30 Cañas guaduas
- 16 tablas (0.5 m x 1 m)
- 48 palos de madera (8 cm x 8 cm)
- 150 clavos
- Plástico transparente (7 m x 11 m)

Se construyeron 8 lechos de compostaje cuyas dimensiones fueron: 0,5 m de ancho, 1 m de largo y 1 m de alto. Cada lecho tiene 6 soportes de madera, uno por cada esquina (como vigas), y uno en la mitad de 2 de las 4 paredes. Cada lecho cuenta con una pared hecha de madera, la cual es móvil para facilitar el proceso de volteo, y 3 paredes fijas hechas de caña guadua. En la Figura 18 se puede observar las dimensiones del lecho de compostaje y los materiales con que se construyó.

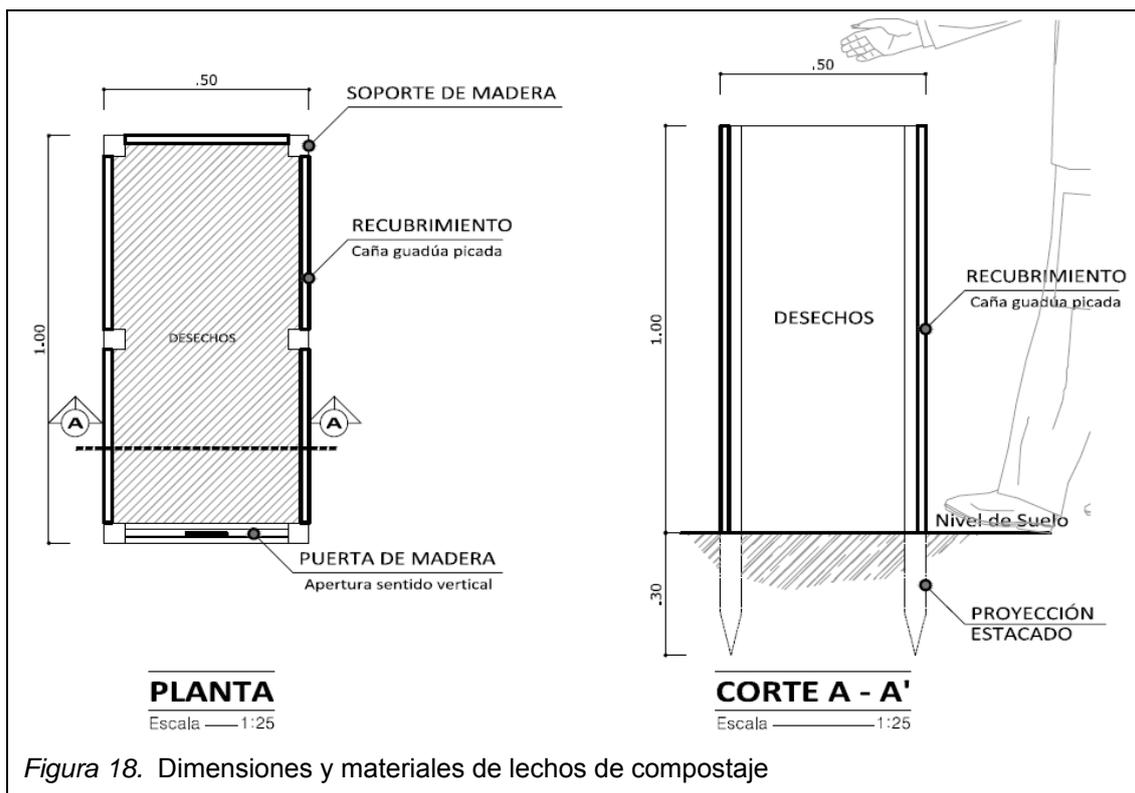
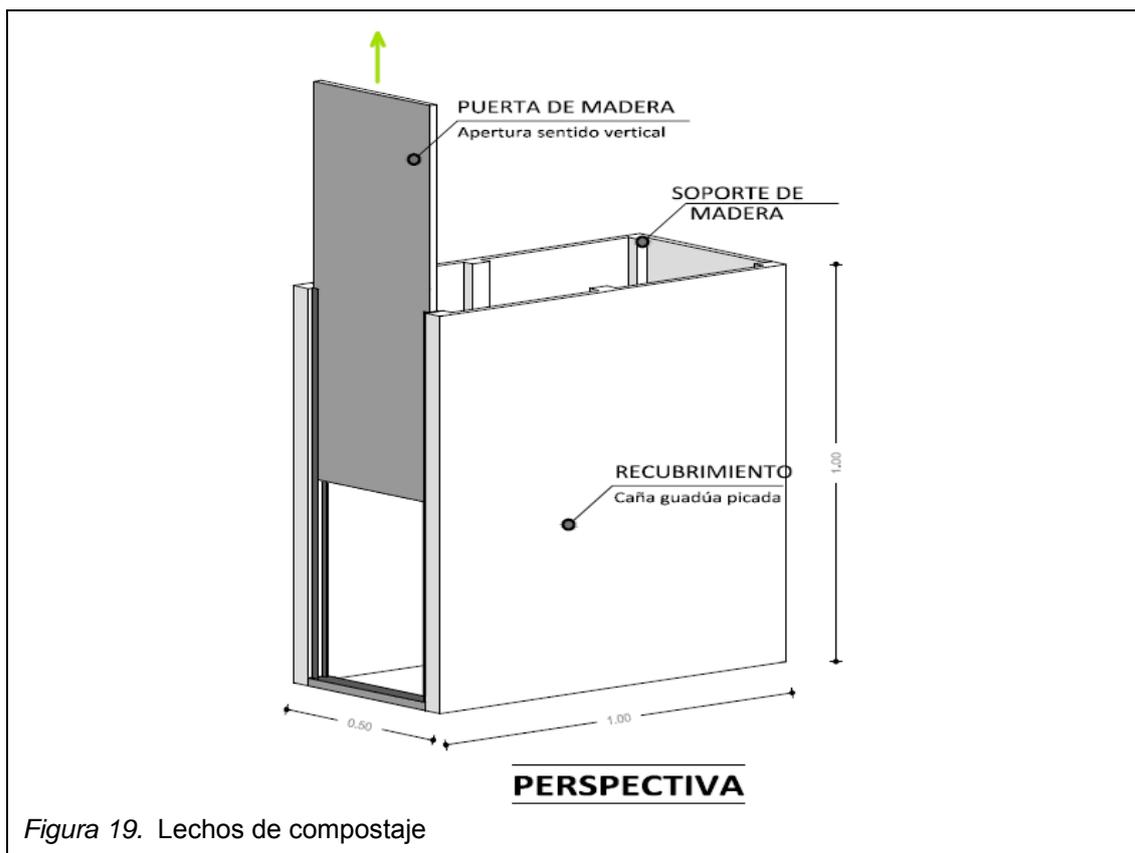


Figura 18. Dimensiones y materiales de lechos de compostaje

Las dimensiones del lecho fueron establecidas debido a que ocupan un espacio mínimo, y pueden ser construidas en los patios traseros de las viviendas de la localidad sin ningún inconveniente por el espacio a ocupar. Se sabe, por experiencias llevadas a cabo en ITSC, que en lechos de éstas dimensiones se puede realizar un proceso de compostaje adecuado.

Al momento de determinar el tamaño de los lecho/pilas de compostaje, se debe tener en cuenta que éste está relacionado con la transferencia de temperatura dentro de las pilas/lechos. En pilas demasiado grandes o pequeñas el problema más común son las temperaturas por debajo del rango óptimo (Díaz, 2002, p. 15)

En la Figura 19 se detalla la estructura de los lechos, hechos con caña guadua y madera. La pared frontal de cada lecho es la pared móvil.



#### 4.1.5 Aceleradores Biológicos (Bioactivadores)

El objetivo del uso de bioactivadores, es el de suministrar una fuente de nutrición adicional a la pila de compostaje; se busca así estimular la reproducción de microorganismos, y por consiguiente, la degradación de la materia. Principalmente se utilizan cuando se quiere compostar materiales con alto contenido de carbono. Adicionalmente, se pretende proveer un mejor balance nutricional o ambiental a los microorganismos presentes. (Navarro, p. 7)

##### 4.1.5.1 EMAs

El aislamiento de los microorganismos eficientes autóctonos se llevó a cabo dentro de las 5 hectáreas de selva virgen ubicada dentro de los predios del Instituto Tecnológico Superior “Calazacón”.

Los materiales que se necesitaron para realizar el aislamiento se enlistan a continuación:

- 8 tarrinas de plástico
- Tela nylon
- 8 Ligas plásticas
- 1 libra de arroz cocinado sin sal
- Melaza
- Caldo de carne o pescado
- Agua pura

Se colocó una porción de arroz cocinado sin sal dentro de cada tarrina plástica, mezclado con caldo de carne o pescado. A continuación se tapó la boca de la tarrina con un recorte de tela nylon y se aseguró con una liga plástica. Por último, se enterró la tarrina junto a un talud húmedo, quedando la boca de la tarrina a ras del piso y se la cubrió con hojarasca.

En la Figura 20, se ilustra la ubicación final de los elementos para el aislamiento de EMAs.

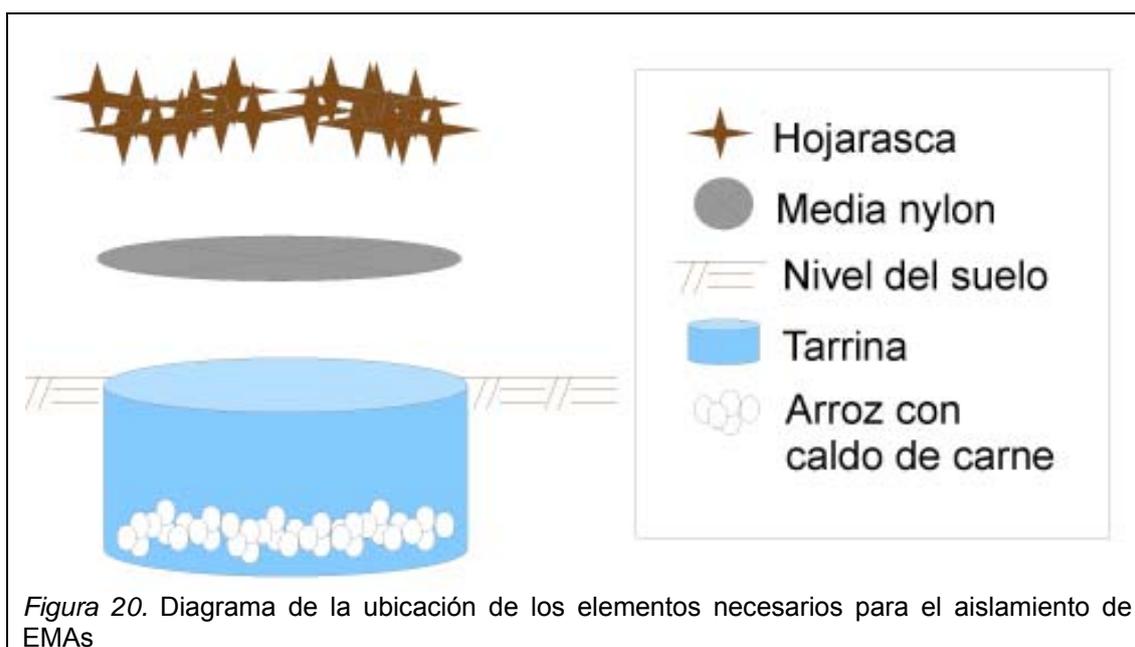




Figura 21. Captura de EMAs en la selva virgen

Durante las siguientes dos semanas se controló que no ingresen animales a la tarrina, o que las mismas no se encuentren inundadas debido a la lluvia. Al cabo de las dos semanas se desenterró la tarrina y se obtuvo arroz impregnado con diferentes tipos de microorganismos descomponedores (por ejemplo: bacterias lácticas, levaduras, bacterias fotosintéticas, actinomicetos, etc.).



Figura 22. EMAs cosechados.

Se confirma la existencia de EMAs listos para la cosecha; cuando el arroz presenta una coloración verde, blanca o naranja, acompañado de un leve olor a fermento. El análisis de los tipos de microorganismos y cepas presentes en los EMAs puede dar inicio otro trabajo de investigación.

Para obtener la solución madre una vez cosechados los EMAs, se mezcló en un envase de 5 L; arroz con los microorganismos, más 0,75 L de melaza y también 2 L de agua pura. Se mezcló hasta la homogeneización.



*Figura 23.* Mezcla de EMAs, agua y melaza.

Se cernió esta solución madre y se la depositó en un recipiente cerrado herméticamente durante 15 días para su fermentación.

La dosis recomendada para la aplicación de la solución madre en los lechos de compostaje es 0,2 L de EMAs + 0,2 L de melaza diluidos en 20 L de agua, por cada metro cúbico de desechos.

#### **4.1.5.2 Elaboración del Acelerador a base de levadura**

Se mezcló 7 gr de levadura con 0,5L de bebida gaseosa y 20L de agua pura. Esta solución se vierte directamente sobre la pila a compostar, por cada metro cúbico de desechos aproximadamente.

## 4.1.6 Materiales para Compostaje

### 4.1.6.1 Plan de Recolección de Desechos Orgánicos

Se realizó una recolección diaria de los residuos orgánicos generados por 86 familias de San Gabriel del Baba. Se entregó a 12 casas por día durante una semana; 2 tachos plásticos con 2 fundas, una de color negro para las frutas, y una de color verde para los vegetales. Los últimos dos días de la semana se trabajó con 13 hogares.



Los tachos fueron entregados a cada familia en la mañana y retirados en la mañana del siguiente día. Se realizó un registro del peso diario de las fundas (Ver Anexo 2 REGISTROS DE PESO DE MATERIA ORGÁNICA RECOLECTADA). Los promedios de generación obtenidos se detallan en el Capítulo Resultados.

#### 4.1.7 Armado de las Pilas de Compostaje

Para la conformación de las pilas de compostaje se siguieron los siguientes pasos:

##### 4.1.7.1 Triturado de Desechos Orgánicos

Una vez recolectados los desechos, estos fueron triturados en baldes de plástico con el uso de tijeras de podar, debido a que no se contaba con la máquina especializada en esta tarea. Esta actividad puede ser muy laboriosa, pero el tiempo de obtención del abono disminuye considerablemente, cuando los residuos orgánicos a compostar son de menor tamaño.



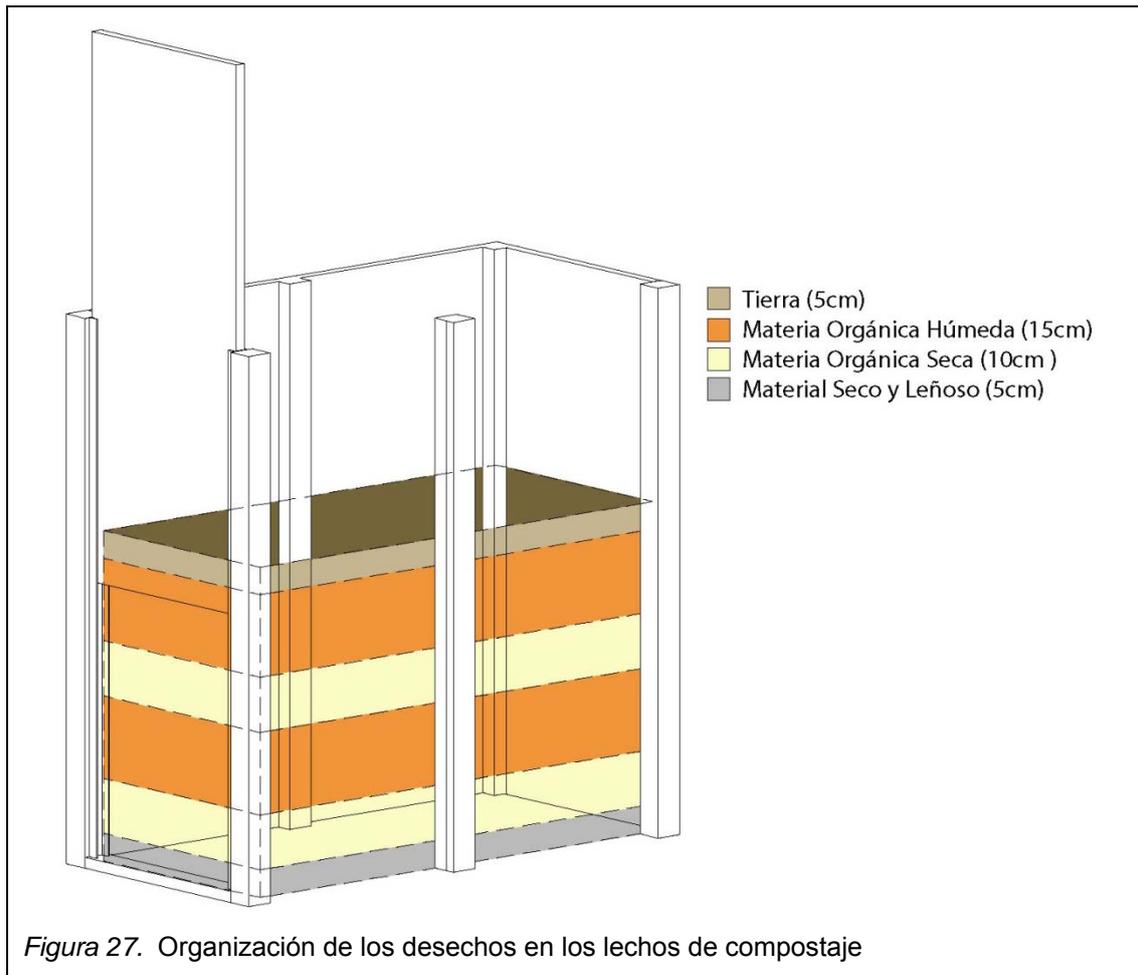
*Figura 25.* Triturado de frutas



*Figura 26.* Triturado de vegetales

#### **4.1.7.2 Conformación de la Pila de Compostaje**

Para armar la pila de compostaje se utilizó una relación 3:2:1 de materia orgánica húmeda, materia orgánica seca y tierra respectivamente. En el fondo de cada lecho se construyó una base con materiales leñosos para facilitar la aireación del montón y evitar la acumulación de lixiviados. La distribución de los desechos dentro de los lechos de compostaje se describe a continuación:



Cada capa de materia orgánica colocada dentro de los lechos fue humedecida con su solución aceleradora respectiva. Adicionalmente; se esparció ceniza para neutralizar la acidez que se produce en el montón, debido a la descomposición de la materia orgánica, porque cuando el pH baja demasiado el proceso se ralentiza. La ubicación y detalle de cada lecho construido se explica en la siguiente figura:

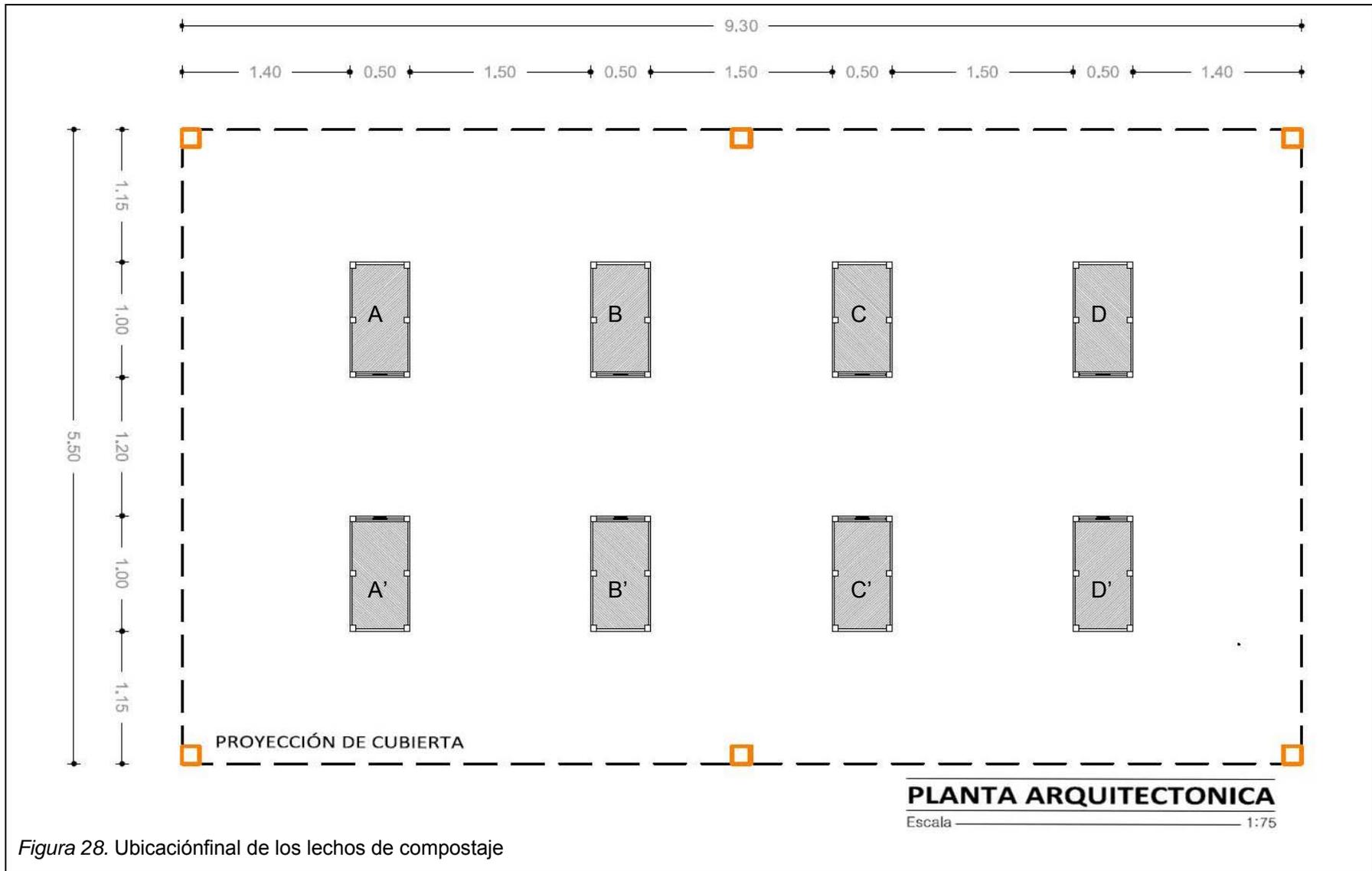
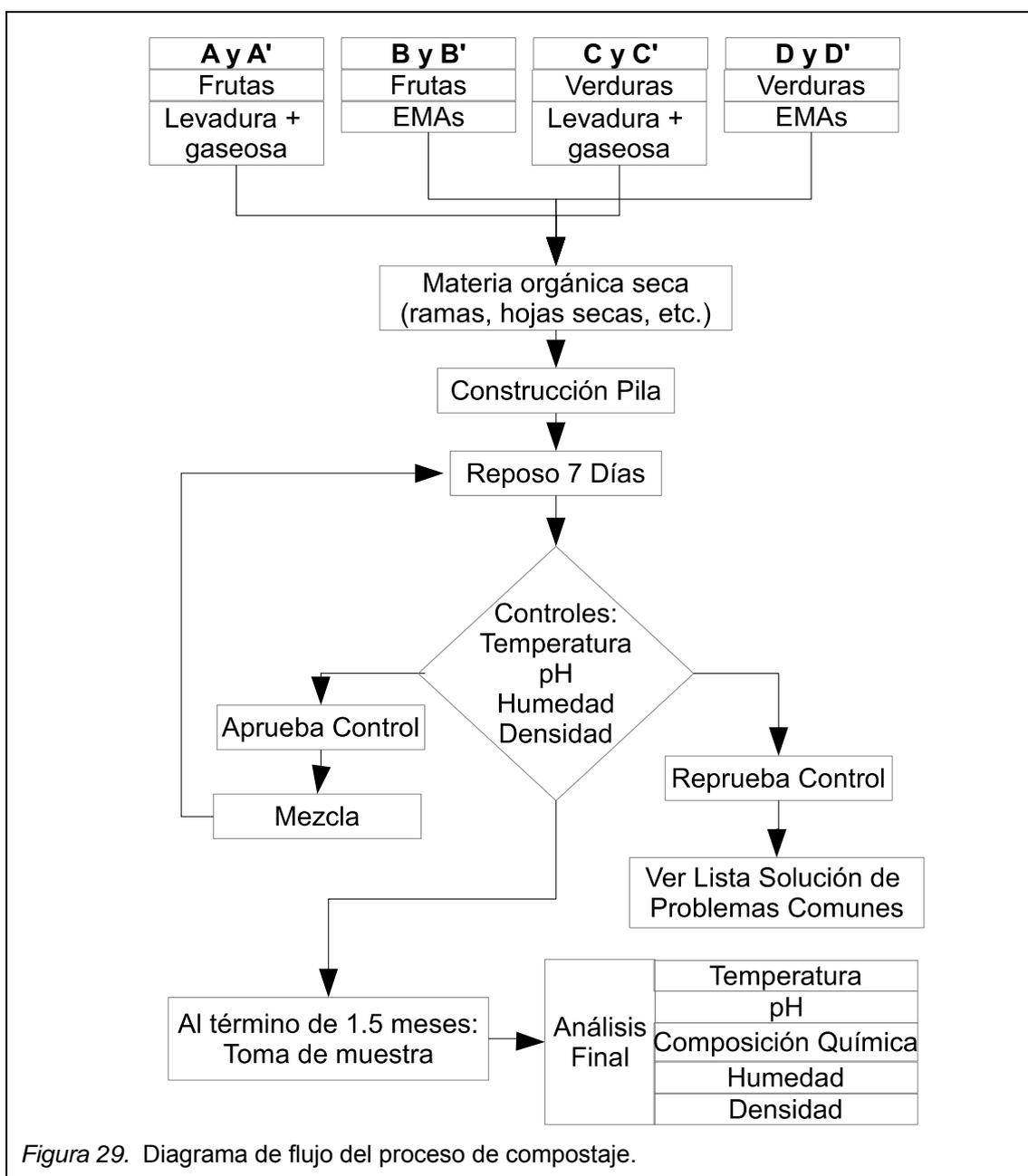


Figura 28. Ubicación final de los lechos de compostaje

A los 15 días de estar armados los lechos de compostaje se realizó el primer volteo, no se realizó un proceso de aireamiento durante este tiempo para que los lechos puedan alcanzar temperaturas altas. A partir de la semana 2 se realizó un volteo semanal.

El resumen del proceso de compostaje, desde la recolección de los desechos orgánicos hasta la obtención del compost, se describe en la siguiente figura:



#### **4.1.8 Control de Factores en el Proceso**

A continuación se explica la metodología de control de cada parámetro involucrado en el proceso:

##### **4.1.8.1 Temperatura**

La temperatura se midió a través de un termómetro de suelos. Ésta fue una medición in situ. Durante los primeros 15 días se realizaron 3 mediciones diarias por cada lecho; para luego continuar con 3 mediciones al finalizar cada semana, durante 7 semanas. Se calculó un promedio de los valores obtenidos.

Para registrar la temperatura se introdujo el termómetro a 20 cm de profundidad aproximadamente; en línea recta, y en la mitad de cada lecho.

##### **4.1.8.2 pH**

Para la valoración de este parámetro se utilizó un pH-metro marca FieldScout, la medición se la realizó in situ. Se realizaron 3 mediciones por cada pila una vez por semana, por un tiempo de 7 semanas.

Para calcular el pH se colocó 10 g de suelo en un vaso de precipitados de 50 mL; se añadió 25 mL de agua destilada y a continuación se agitó con una varilla de vidrio durante 5 min; luego se dejó reposar por 30 min. Con el pH-metro previamente calibrado se midió el pH.

##### **4.1.8.3 Humedad**

Las muestras se analizaron en el laboratorio de la Universidad de Las Américas debido a que era necesario el uso de cajas Petri, balanza y el horno de secado. A partir de la semana 2 se calculó la humedad de una muestra por cada pila de compostaje, siendo 8 en total de muestras analizadas. En la última semana se

analizaron 3 muestras por cada pila de compostaje, obteniéndose 24 valores de humedad los cuales fueron promediados.

Para realizar este cálculo, primero se determinó el peso de la caja Petri limpia y vacía, incluida la tapa ( $M_c$ ). Se colocó 10 g de suelo y se volvió a pesar la caja Petri, incluida la tapa ( $M_{cms}$ ). A continuación se ingresó la caja Petri con los 10 g de suelo pero sin la tapa, dentro del horno de secado a 105 °C por 24 horas. Una vez concluidas las 24 horas se retiró la caja Petri del horno de secado; se dejó enfriar a temperatura ambiente, y se registró el peso de la caja Petri incluida la tapa y el suelo luego del proceso de secado ( $M_{c ds}$ ).

Para obtener el valor correspondiente a la humedad se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$M_s \text{ (masa del suelo)} = M_{c ds} - M_c$$

$$M_w \text{ (masa del agua)} = M_{cms} - M_{c ds}$$

$$w \text{ (humedad)} = \left( \frac{M_w}{M_s} \right) \times 100$$

#### 4.1.8.4 Densidad Aparente

El cálculo de este factor se lo realizó en el laboratorio de la Universidad de Las Américas con el uso de una probeta de 100mL y la balanza. Se realizaron 3 mediciones por cada muestra de pila, una vez por semana a partir de la segunda semana.

Para determinar la densidad aparente primero se pesó la probeta vacía; luego se llenó la probeta con el suelo de cada pila, hasta la marca de 100 mL y se pesó. Al peso de la probeta llena se le restó el peso de la probeta vacía y se tuvo el peso de la masa de suelo. El valor obtenido se dividió para el volumen (100 mL), determinando así la densidad aparente del suelo.

#### **4.1.8.5 Relación C/N**

Esta medición se la realizó dos veces. Se analizó la composición inicial del suelo, antes del proceso de compostaje, y una vez concluidas las 7 semanas. Las muestras fueron analizadas en un laboratorio de suelos especializado, se utilizaron los métodos: Absorción Atómica, Colorimétrica y Kjeldahl.

## 5 CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 5.1 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Para realizar éste cálculo se utilizó la siguiente fórmula de Galindo:

$$n = \frac{k^2 \times N \times p \times q}{(e^2 \times (N - 1)) + (k^2 \times p \times q)}$$

Adaptado de: (Galindo, 2006, p. 172)

Dónde:

n = Tamaño de la muestra

N = Universo

k = Valor definido mediante niveles de confianza con el que se va a realizar las estimaciones, es un valor constante que si se lo toma en relación al 95 por ciento es equivalente a 1,96.

p = Parte conocida.

q = Parte desconocida.

(N-1) = Es una corrección que se usa para muestras grandes mayores a treinta.

e = Error

Remplazando nos da:

N = 3 232

k = 1,96

p = 0,5

q = 0,5

e = 0,05

Desarrollo de la fórmula:

$$n = \frac{1,96^2 \times 3\,232 \times 0,5 \times 0,5}{(0,05^2 \times (3.232 - 1)) + (1,96^2 \times 0,5 \times 0,5)}$$

$$n = 343 \text{ habitantes}$$

En San Gabriel se tiene un promedio de 3.9 habitantes por vivienda, por lo tanto; para determinar el número de casas a investigar, se divide el número de la muestra obtenida para el promedio de habitantes por vivienda:

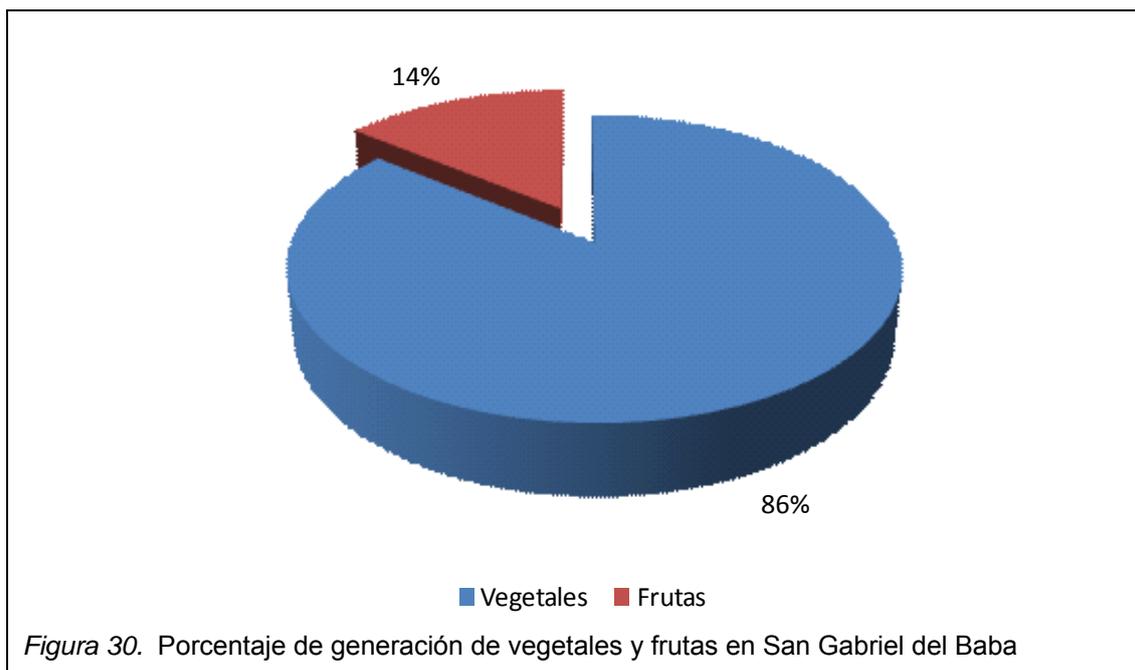
$$n = \frac{343}{4}$$

$$n = 85.75$$

De esta manera se determina que son 86 el número de viviendas a las que se les debe recoger los desechos orgánicos generados para realizar el compostaje.

## **5.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN SAN GABRIEL DEL BABA**

Se pesó los residuos orgánicos recolectados diariamente de las casas de San Gabriel del Baba (Ver Anexo 2 REGISTROS DE PESO DE MATERIA ORGÁNICA RECOLECTADA), obteniendo los siguientes porcentajes de generación:



En base a los datos obtenidos sobre la generación de residuos orgánicos de cocina, se determinó que en San Gabriel del Baba, el 86% de estos residuos corresponden a los vegetales y el 14% a las frutas. Los promedios de generación de residuos sólidos orgánicos se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Promedio de generación diaria de residuos orgánicos en San Gabriel del Baba

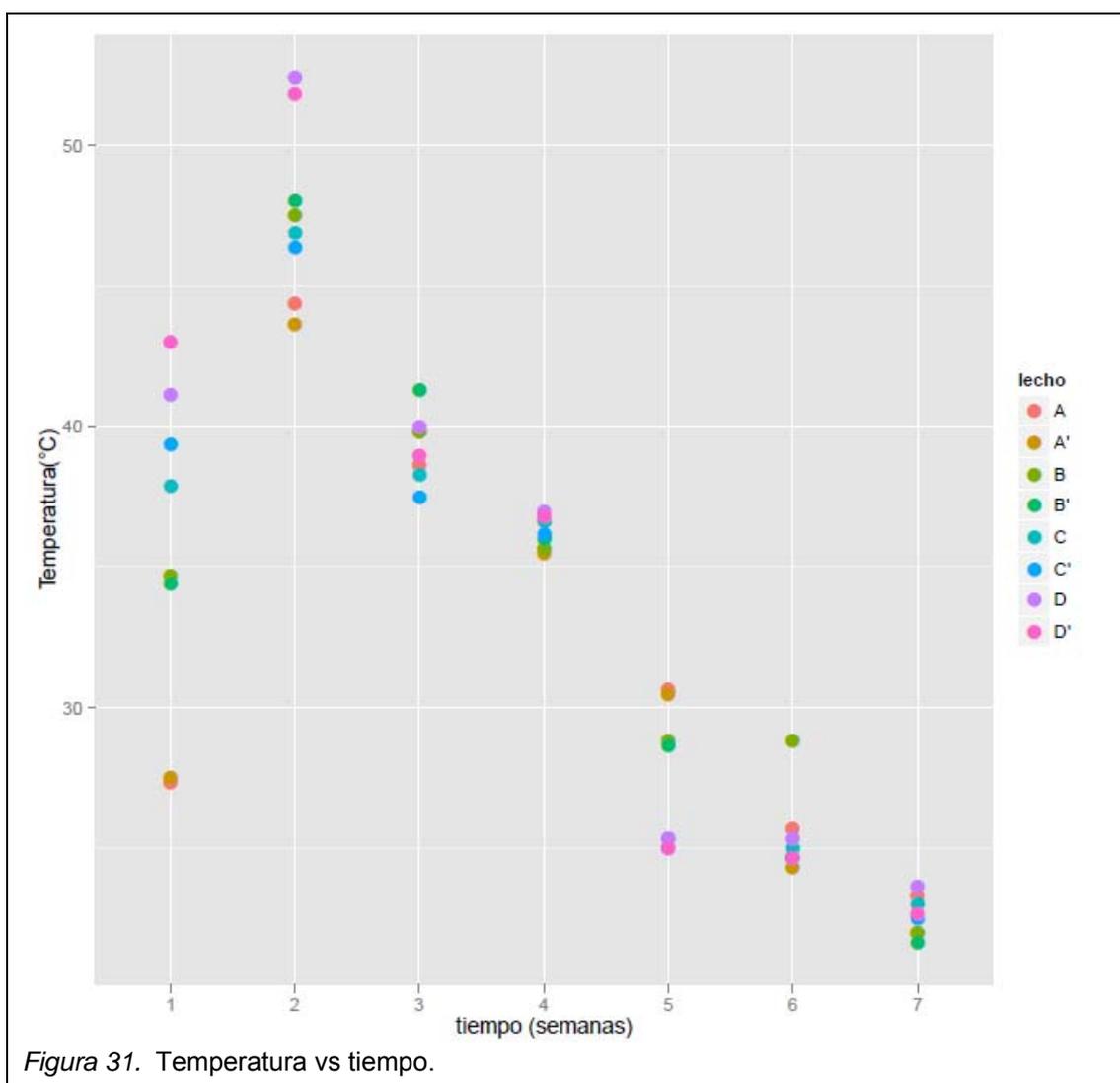
Tipo de Residuo Orgánico	Generación diaria por hogar (libras)	Porcentaje (%)
Vegetales	4,19	86%
Frutas	0,70	14%
<b>TOTAL</b>	<b>4,89</b>	<b>100%</b>

### 5.3 VARIABLES DE RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COMPOSTAJE

Durante la investigación realizada por 7 semanas, se controló los factores determinantes en los 8 lechos de compostaje (Ver Anexo 4 PROMEDIOS DE PARÁMETROS ANALIZADOS). Los datos obtenidos en el control de cada modelo experimental se discuten a continuación:

### 5.3.1 Temperatura del Compost en función del tiempo de operación

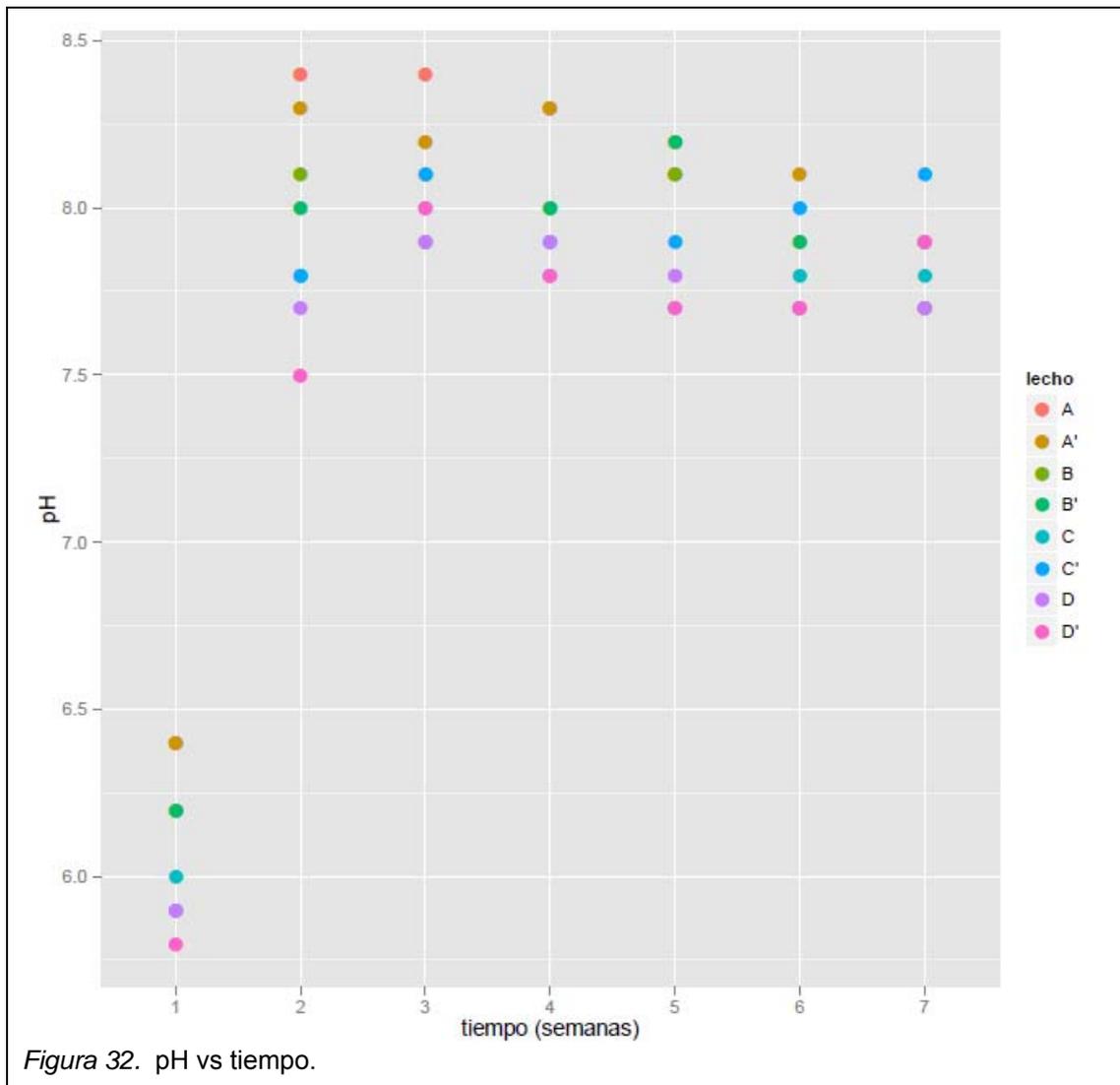
En los procesos de compostaje, la temperatura es el parámetro más importante a controlar. Los promedios semanales de temperatura en cada lecho se detallan en la Figura 31.



Durante la primera semana se tuvo temperaturas entre 27 °C – 43 °C. En la segunda semana la temperatura se encontraba entre 43 °C – 52 °C, las camas D y D' superaron los 50 °C. A partir de la tercera semana la temperatura empezó a descender desde los 41 °C hasta llegar a los 21 °C en la semana 7, y alcanzar su estabilización.

### 5.3.2 pH del Compost en función del tiempo de operación

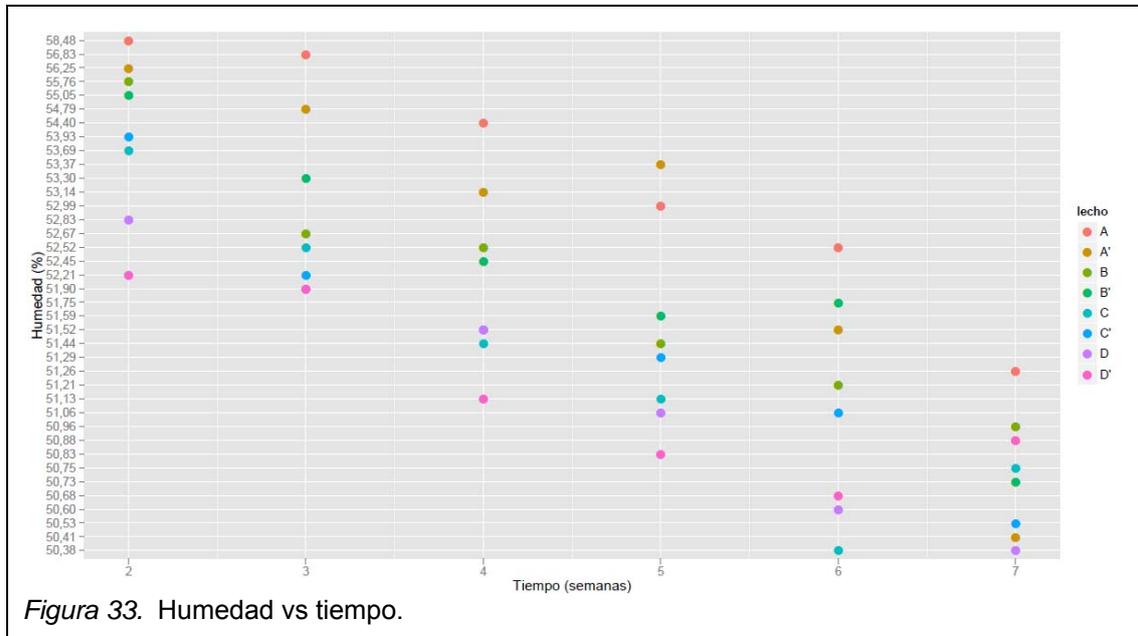
Se determinó los promedios semanales de pH en los 8 lechos, los resultados se grafican en la Figura 32.



Dentro de la primera semana el pH se encontró entre 5,8 – 6,4, a partir de la segunda semana el pH se ubicó entre el rango 7,5 – 8,4. Al finalizar la semana 7 el pH se estabilizó entre 7,7 - 8,1.

### 5.3.3 Humedad del Compost en función del tiempo de operación

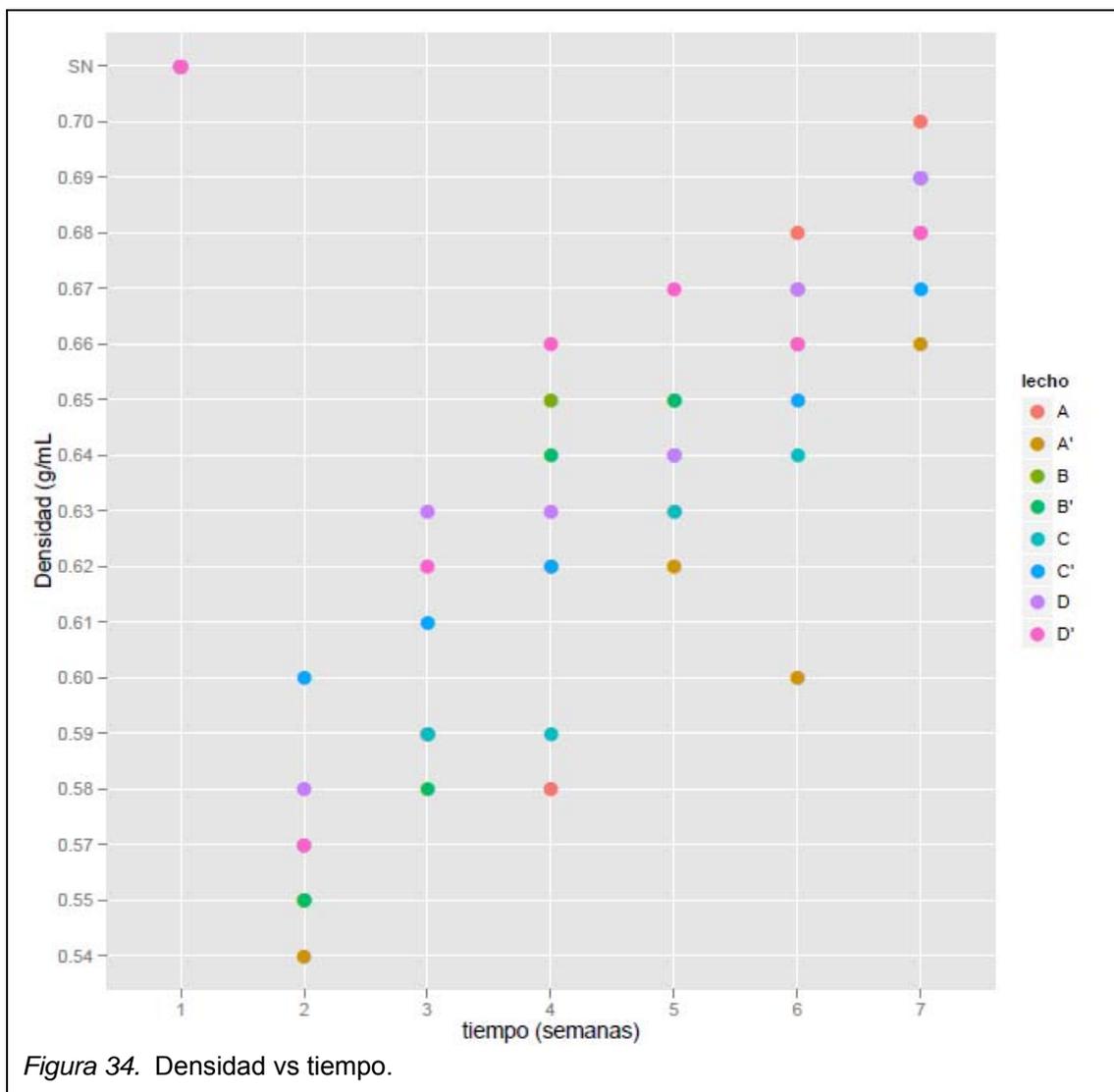
En la Figura 33 se detalla la evolución de la humedad en cada lecho, durante las 7 semanas.



Como se puede observar la humedad se mantuvo en el rango 50,38 % - 58,48%, durante las 7 semanas.

### 5.3.4 Densidad del Compost en función del tiempo de operación

Los promedios semanales de densidad de cada lecho, se detallan a continuación:



Al inicio del proceso la densidad se encontraba entre el rango 0,54 g/mL – 0,60 g/mL. Al final del proceso la densidad aumento situándose entre 0,66 g/mL – 0,70 g/mL.

### 5.3.5 Análisis Químico del Compost en función del tiempo de operación

Se realizaron dos análisis de los compuestos químicos presentes en el suelo; uno al principio, y otro al final del proceso; para determinar si los compuestos han cambiado una vez obtenido el abono (Ver Anexo 3 Análisis Químico).

En la siguiente tabla se detalla los resultados obtenidos:

**Tabla 10. Resultados de análisis químico**

<b>Elemento Analizado</b>	<b>A (Muestra 4)</b>	<b>B (Muestra 2)</b>	<b>C (Muestra 3)</b>	<b>D (Muestra 1)</b>	<b>inicial (Muestra 5)</b>
<b>N (%)</b>	0,65	0,83	0,80	0,96	0,24
<b>NO3 (ppm)</b>	143,30	125,00	12,00	13,30	12,00
<b>P2O5 (%)</b>	0,46	0,46	0,46	0,46	0,23
<b>K2O (%)</b>	0,15	0,15	0,30	0,30	0,01
<b>CaO (%)</b>	1,23	1,23	2,45	1,40	0,35
<b>MgO (%)</b>	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
<b>Na (%)</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>S (ppm)</b>	63,81	49,71	27,76	96,18	5,33
<b>Zn (ppm)</b>	66,00	96,00	101,00	106,00	25,00
<b>Cu (ppm)</b>	19,000	24,000	21,000	26,000	20,000
<b>Fe (ppm)</b>	11935,00	10865,00	10225,00	10200,00	11230,00
<b>Mn (ppm)</b>	183,00	191,00	178,00	201,00	187,00
<b>B (ppm)</b>	2,41	1,56	0,16	0,26	0,10
<b>M.O. (%)</b>	8,50	10,40	13,03	17,48	2,37
<b>C (%)</b>	4,93	6,03	7,55	10,13	1,37
<b>Humedad (%)</b>	48,74	47,14	47,49	49,59	8,63
<b>C.E. (mmho)</b>	2,60	2,48	1,94	2,41	0,12
<b>C/N</b>	7,58	7,26	9,44	10,56	5,72
<b>pH</b>	7,80	7,60	8,00	7,70	7,20

## 6 CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 ANÁLISIS TECNOLÓGICO

El proceso de compostaje es llevado a cabo por una variada población de microorganismos, en su mayoría aeróbicos, que descomponen la materia orgánica con el fin de crecer y reproducirse. La actividad de estos microorganismos es promovida por la existencia de condiciones óptimas en el lecho de compostaje (una relación carbono/nitrógeno adecuada, suministro de oxígeno, contenido de humedad dentro de los rangos óptimos y niveles de temperatura y pH ideales). Un manejo correcto del proceso de compostaje tiene como resultado un aumento de la tasa de descomposición de la materia orgánica, y la generación de suficiente calor para destruir semillas de malas hierbas, agentes patógenos, y las larvas de mosca (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-2).

El proceso de compostaje se puede dividir en dos períodos:

- **Período de compostaje activo.-** Es el período de mayor actividad microbiana. En esta fase se descompone la materia orgánica fácilmente degradable, así como algunas de las materias más resistentes a la descomposición, como celulosa (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-2).
- **Período de curado.-** Una vez concluida la fase de compostaje activo inicia éste período. Se caracteriza por un descenso de la actividad microbiana y la descomposición adicional de los productos de la etapa de compostaje activo. Cuando el curado ha llegado a su etapa final, el compost se dice que está estabilizado (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-2).

### 6.1.1 Variables de Respuesta en función del tiempo de compostaje y tipo de tratamiento

En esta sección se describen los resultados obtenidos en cada parámetro evaluado, de acuerdo al tipo de tratamiento empleado, en cada lecho de compostaje.

#### 6.1.1.1 Temperatura del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento

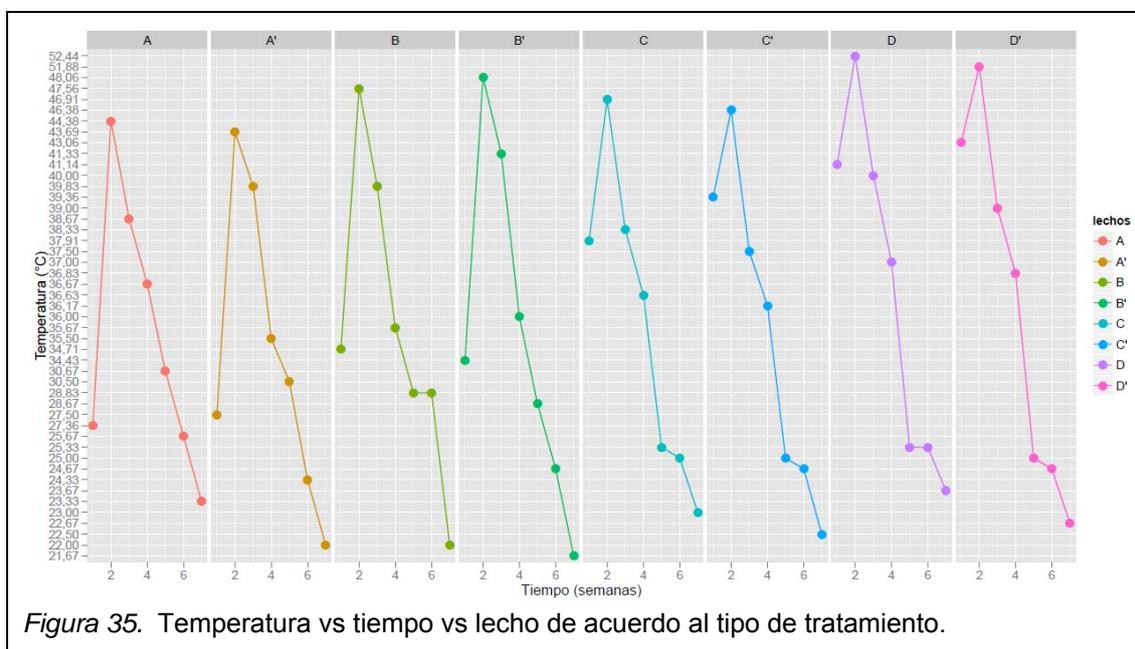


Figura 35. Temperatura vs tiempo vs lecho de acuerdo al tipo de tratamiento.

Como se puede evidenciar en la Figura 35, los 8 lechos cumplieron con las fases necesarias para una correcta evolución de la técnica de compostaje:

- Fase mesofílica (hasta 40 °C)
- Fase termófila (40 °C - 60 °C)
- Fase mesofílica (descenso de la temperatura hasta los 30 °C aproximadamente)

A continuación se describe el desarrollo de la temperatura de cada lecho:

- **Lechos A y A' (frutas + levadura y bebida gaseosa):** En este lecho se registraron los promedios más bajos de temperatura durante la primera semana, con un promedio de 27,43 °C. En la segunda semana se obtuvo el pico máximo con un promedio de 44,03 °C; y en la última semana se obtuvo un promedio de 22,66 °C. No se registraron temperaturas superiores a los 50 °C durante más de 2 días.
- **Lechos B y B' (frutas + EMAs):** En este tratamiento se obtuvieron temperaturas altas, específicamente durante la segunda semana con 47,81 °C en promedio; sin embargo, no se alcanzaron los rangos óptimos para un correcto desarrollo del proceso. Se registraron temperaturas superiores a los 50 °C durante un solo día. En la séptima semana la temperatura descendió a los 21,83 °C.
- **Lechos C y C' (Vegetales + levadura y bebida gaseosa):** En el transcurso de las primeras dos semanas incrementó la temperatura, obteniéndose el valor más alto durante todo el proceso con un promedio de 46,45 °C. De igual manera, se registraron temperaturas superiores a los 50 °C por más de 2 días. A partir de la segunda semana la temperatura descendió, hasta llegar a los 22,75 °C en la séptima semana.
- **Lechos D y D' (Vegetales + EMAs):** Durante la primera semana se registró temperaturas promedio superiores en comparación al resto de los lechos, alcanzando su punto máximo en la segunda semana con 52,44 °C. En este lecho también se registraron temperaturas superiores a los 50 °C por más de 2 días. Al término de la séptima semana la temperatura se estabilizó en 23 °C aproximadamente.

Se puede evidenciar que los lechos de compostaje pasan a través de una amplia gama de las temperaturas durante el período de compostaje activo. A

medida que la temperatura cambia, las condiciones se vuelven inadecuadas para algunos microorganismos, mientras que al mismo tiempo se convierten en ideales para otros, experimentando picos de tasas de crecimiento y de eficiencia; es decir, durante la fase termófila pueden existir microorganismos mesofílicos, pero no dominarán la población microbiana porque no están funcionando a niveles óptimos (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2002, p. 541).

Entre los microorganismos presentes en los procesos de descomposición se encuentran:

- **Bacterias.-** Son responsables de gran parte de la descomposición inicial e incluyen una amplia gama de organismos que puede sobrevivir en diferentes condiciones ambientales. A pesar de que son pequeños en relación a los hongos y actinomicetos, están presentes en grupos significativamente mayores. Son descomponedores rápidos, estabilizan nutrientes como los azúcares simples, y digieren los productos de la descomposición llevada a cabo por hongos. Algunas bacterias pueden degradar la celulosa. Las bacterias funcionan de manera óptima dentro de un rango de pH de 6 a 7.5 y son menos tolerantes a las condiciones de baja humedad que otros tipos de microorganismos (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-4).
- **Hongos.-** Los hongos tienden a estar presentes en las etapas tardías del compostaje, debido a la naturaleza de los materiales que descomponen. La mayoría de los hongos descomponen sustancias leñosas y otros materiales resistentes a la degradación, tales como: ceras, proteínas, hemicelulosas, lignina y pectina. Los hongos son menos sensibles a los ambientes con baja humedad y pH que las bacterias, pero la mayoría de los hongos son aerobios obligados, por lo tanto tienen una menor tolerancia para ambientes con poco oxígeno que las bacterias (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-5).

- **Actinomicetos.-** Son técnicamente bacterias debido a su estructura y tamaño, pero son similares a los hongos en que pueden formar filamentos y son capaces de utilizar una variedad de sustratos. Pueden degradar los ácidos orgánicos, azúcares, almidones, celulosas, hemicelulosas, proteínas, polipéptidos, aminoácidos, e incluso ligninas. También producir proteasas extracelulares y puede lisar (desintegrar o disolver) otras bacterias. Los actinomicetos son más frecuentes en las últimas etapas de compostaje (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-6).

Los microorganismos degradan la materia orgánica al mover los componentes solubles a través de las paredes de su cuerpo, como se hace para los compuestos simples; o mediante el uso de enzimas extracelulares, para romper el material antes de que ingrese en el cuerpo de la célula (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2002, p. 541). Cuando la temperatura es demasiado alta, las enzimas responsables de destruir el material se desnaturalizan y dejan de funcionar, provocando la muerte de los microorganismos al no obtener la nutrición que necesitan para sobrevivir. Otros microorganismos forman esporas para protegerse de las condiciones adversas a la supervivencia, tales como el calor y la falta de humedad. Estas esporas germinan una vez que regresan las condiciones favorables para su desarrollo (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-3).

Los microorganismos involucrados en el proceso de compostaje degradan una amplia gama de compuestos, desde aminoácidos y azúcares simples a proteínas e hidratos de carbono complejos. Esto se traduce en una degradación completa del material usado en el proceso, caracterizado por un bajo peso molecular, una estructura química simple, además de ser soluble en agua, lo que permite su paso a través de la pared celular de los organismos. Debido a estas características la materia orgánica puede ser metabolizada por una amplia gama de organismos no especializados. A medida que se consume el material fácilmente degradable y el suministro disminuye, el material más complejo y menos degradable comienza a ser descompuesto. Este material es

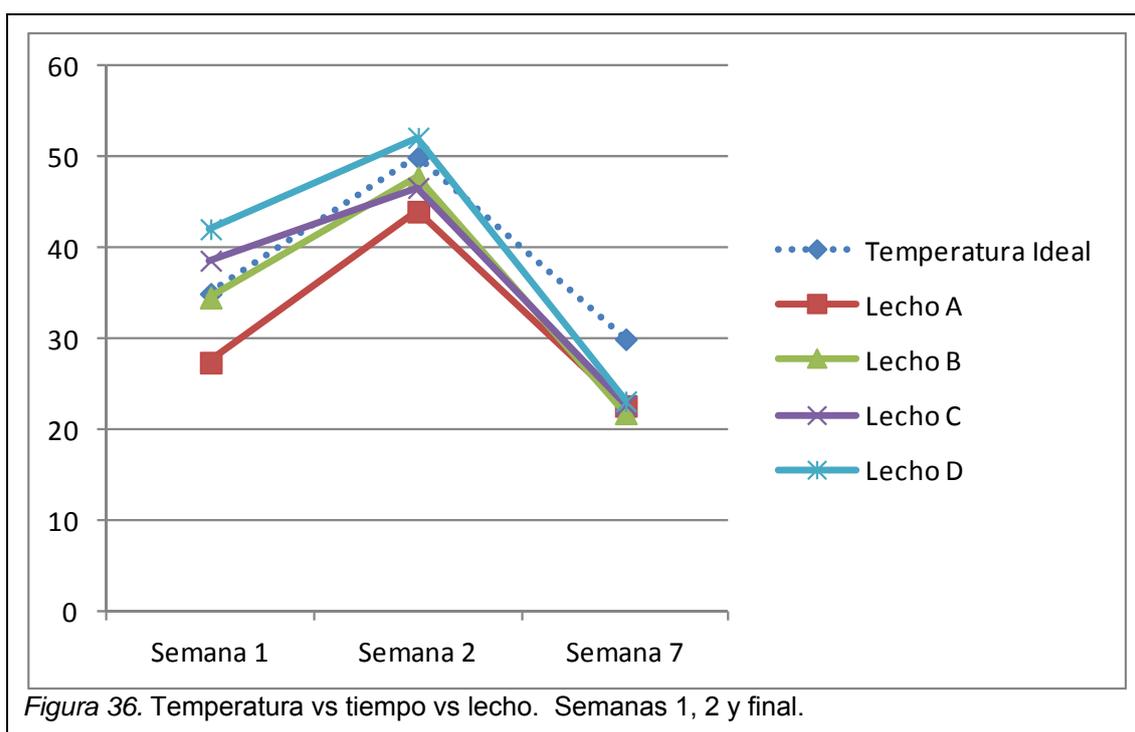
caracterizado por un alto peso molecular, polimérico (de cadena larga), estructura química que no puede pasar directamente en las células. El material debe ser roto en componentes más pequeños a través de la acción de las enzimas extracelulares. No todos los microorganismos presentes en la pila de compost pueden producir estas enzimas, como es el caso de las bacterias, organismos particularmente simples. Tal descomposición requiere organismos más especializados, tales como los hongos. Después de que el material polimérico es hidrolizado en componentes más pequeños por los organismos especializados, los fragmentos resultantes pueden entonces ser degradados por los organismos no especializados. Los microorganismos que habitan en una pila de compost están en tres categorías: bacterias, hongos y actinomicetos, una forma superior de bacterias (United States Department of Agriculture, 2000, pp. 2-3 – 2-4).

El protoplasma celular de los microorganismos involucrados en el proceso contiene nutrientes, como: K, P, N, S, Ca, Mg, Na, Fe. Muchos de ellos se encuentran en pequeñas cantidades (trazas), y son importantes para el desarrollo de la síntesis biológica. Por lo general, la materia orgánica procedente de residuos sólidos urbanos, contiene todos los nutrientes requeridos para el adecuado crecimiento de las células (Ambientum, 2010).

El tratamiento D (D') obtuvo los rangos de temperatura ideales durante todo el proceso, esto se debe a que existieron las condiciones perfectas para que los microorganismos descompongan el material más fácilmente degradable y se produzca un aumento de su población. El calor generado por la actividad microbiana fue atrapado por el material auto-aislante del lecho, y a medida que el calor se acumuló dentro de la pila, la temperatura empezó a subir provocando un aumento y diversificación de la población microbiana. La diversidad de la población microbiana permitió la descomposición de una amplia gama de materiales (simples y complejos). En este lecho se obtuvo promedios superiores a los 50 °C, lo que asegura que existió una intensa actividad microbiana y una eliminación de agentes patógenos, larvas y semillas

de malas hiervas. A partir de la segunda semana la temperatura descendió, debido a una reducción de las actividades metabólicas de los microorganismos, por el agotamiento del material fácilmente degradable y al oxígeno. Cuando la temperatura disminuye se produce una estabilización de los productos resultantes del período activo, esta fase incluye la descomposición adicional de los ácidos orgánicos y la formación de compuestos húmicos. De acuerdo a los datos obtenidos se puede evidenciar que el tratamiento D (D') fue el más óptimo en términos de temperatura.

En la Figura 36 se puede evidenciar la diferencia de promedios de temperatura, en la semana 1, 2 y final, entre cada lecho. Además, se incluyó en la gráfica las temperaturas ideales durante el proceso para un desarrollo eficaz del mismo.



Cómo se puede observar en la gráfica el tratamiento A (A') fue el menos eficaz, en términos de temperatura. Esto se debió principalmente a los altos porcentajes de humedad obtenidos, lo que provocó una disminución de los niveles de oxígeno presentes en comparación con el resto de lechos y una baja

actividad metabólica que impidió alcanzar los rangos de temperatura deseados. En este lecho se degradó frutas, y se sabe que las frutas tienen un gran contenido de agua en su composición.

En los lechos B (B') y C (C') se cumplió con las condiciones de temperatura necesarias, pero no se alcanzaron los niveles óptimos, debido a no se mantuvieron las condiciones necesarias de humedad, pH, etc.

Se debe tomar en cuenta que este trabajo de investigación se realizó al aire libre y no en un medio controlado. Los tipos de ácidos orgánicos que se generan durante los procesos de compostaje aerobios, pueden ser tema de análisis para otro trabajo de investigación.

#### 6.1.1.2 pH del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento

Los promedios de pH de cada lecho, durante las 7 semanas, se describen en la siguiente figura:

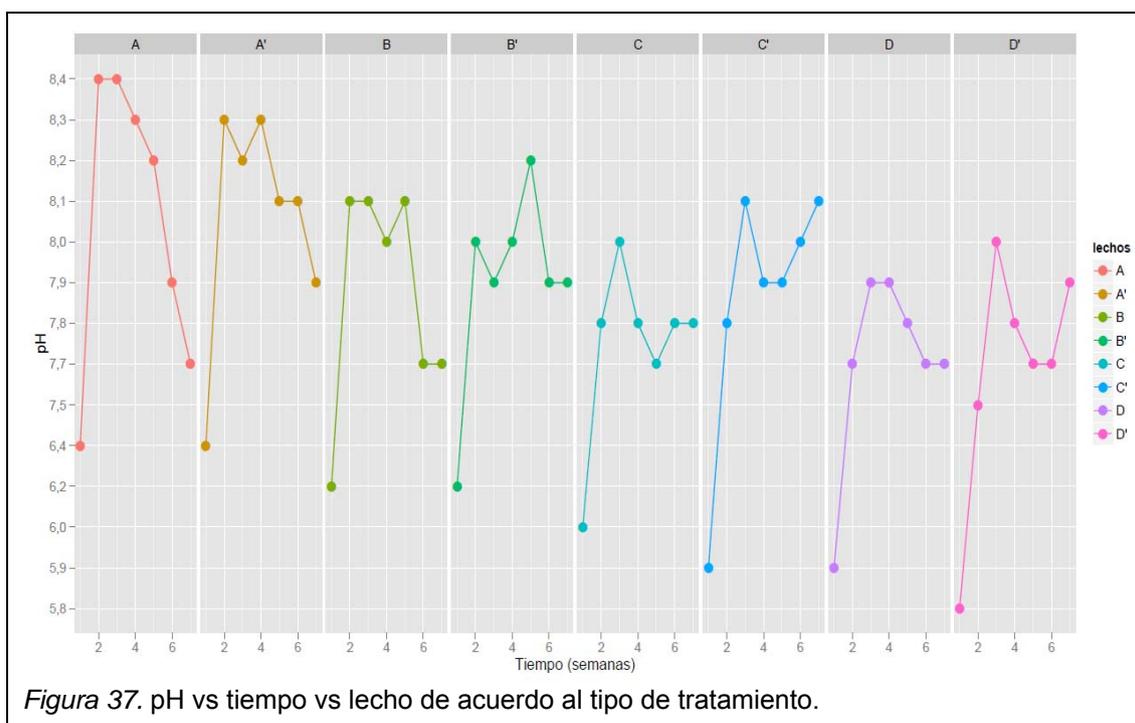


Figura 37. pH vs tiempo vs lecho de acuerdo al tipo de tratamiento.

Durante todo el proceso el pH debe mantenerse en un rango entre 6 – 8. Un pH básico (>8,5) promueve la conversión de compuestos nitrogenados a amoníaco, lo cual sirve para aumentar aún más la alcalinidad y no sólo retrasar el proceso de compostaje, sino también promover la pérdida de nitrógeno a través de la volatilización de amoníaco. De igual manera, cuando el pH es menor a 5, la actividad microbiana disminuye (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-10).

- **Lechos A y A' (frutas + levadura y bebida gaseosa):** El pH durante la primera semana se registró en 6,4. A partir de la semana 2, hasta el final del proceso, el pH descendió de 8,4 a 7,8 en promedio.
- **Lechos B y B' (frutas + EMAs):** Este tratamiento inició con un pH de 6,2. En el caso del lecho B el punto máximo lo alcanzó en la segunda semana con un registro de 8,1; el lecho B' alcanzó su pico en la 5 semana con un pH de 8,2. Al terminar el proceso el pH fue de 7,8 en promedio.
- **Lechos C y C' (Vegetales + levadura y bebida gaseosa):** En el transcurso de las primeras tres semanas el pH varió de 6 a 8. Al final del proceso el pH se registró en 7,9.
- **Lechos D y D' (Vegetales + EMAs):** Estos lechos presentan el pH más bajo registrado durante la primera semana (5,9). En la tercera semana alcanzaron el valor máximo registrado durante todo el proceso con un pH de 8. Al término de la séptima semana el pH se estabilizó en 7,8 en promedio.

Durante la primera semana existió un descenso de los niveles de pH en todos los lechos, debido principalmente a la aceleración de la actividad microbiana (la transformación de compuestos carbonados fácilmente degradables en ácidos orgánicos y otros productos intermedios), y a las condiciones anaerobias que se registraron durante los primeros 15 días, debido a que no se realizó ningún

tipo de mezcla. Posteriormente se registró un aumento de los niveles de pH en el proceso, se creó un ambiente alcalino, debido a la formación de amonio al degradarse las proteínas y los aminoácidos. Adicionalmente, el aumento de los niveles de pH también se debió a que al finalizar la primera semana se utilizó cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y ceniza para reducir los malos olores producidos debido a la concentración de los ácidos orgánicos generados en un ambiente anaerobio. Finalmente, en la fase final del proceso el pH descendió a valores ligeramente alcalinos, debido a las propiedades naturales de efecto tampón de la materia orgánica.

Un inconveniente de utilizar un aditivo para ajustar el pH es que las pérdidas de nitrógeno y los olores a través de la volatilización de amoniaco aumentan, debido a que el pH es alcalino por un período de tiempo más largo (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-10).

Los lechos que trataron la descomposición de los vegetales fueron los que más se acercaron a las condiciones de pH óptimas para un correcto compostaje. Durante la primera semana tuvieron un descenso considerable de los niveles de pH, debido a la formación de ácidos orgánicos producto de la descomposición acelerada de la materia orgánica, procesos que se pueden comprobar con los rangos de temperatura máximos alcanzados en estos lechos. Al finalizar el proceso, de acuerdo a los resultados del análisis de suelos, se evidenció que el pH se encontraba cercano a la neutralidad, lo que confirma su estabilidad.

#### **6.1.1.3 Humedad del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento**

Dentro del proceso de compostaje el agua es un componente esencial para la supervivencia de los microorganismos, los cuales requieren de un entorno acuoso para poder mover y transportar nutrientes. Adicionalmente, es necesaria para actuar como el medio de las reacciones químicas de la vida (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-9)

Los promedios de humedad registrados durante las 7 semanas, en los 8 lechos de compostaje se describen en la Figura 38.

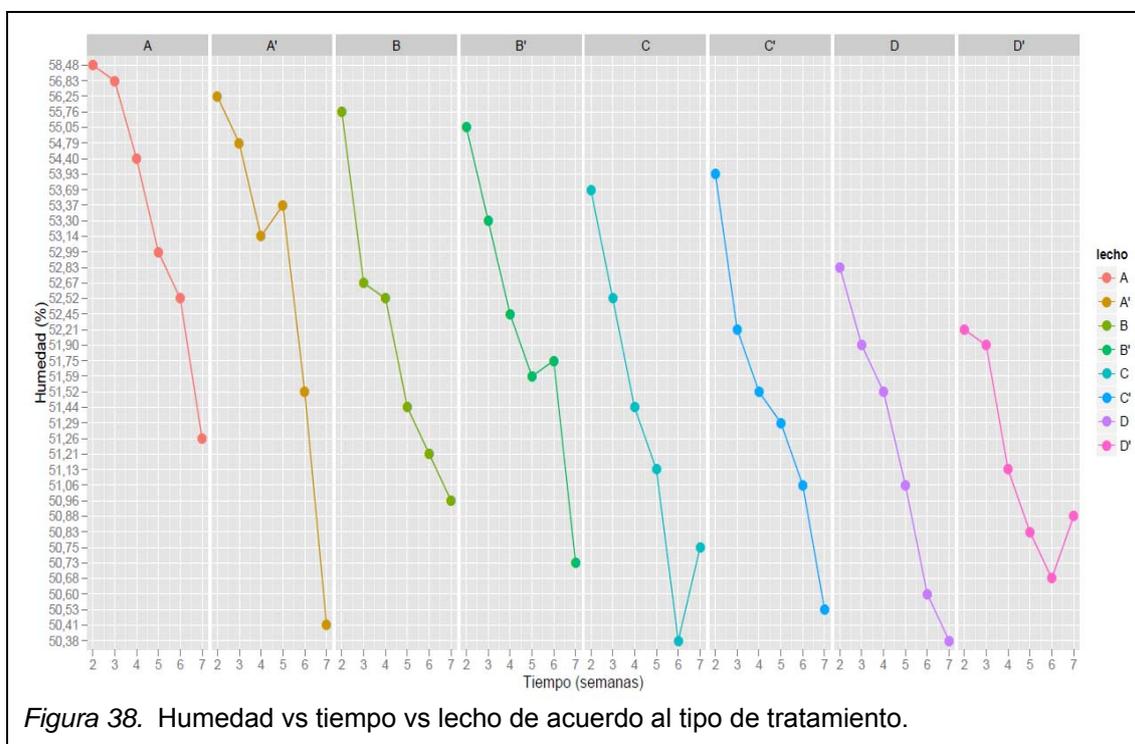


Figura 38. Humedad vs tiempo vs lecho de acuerdo al tipo de tratamiento.

El contenido de humedad requerida para los procesos de compostaje debe ser el ideal entre: la humedad necesaria para la supervivencia de los microorganismos y el adecuado para que el oxígeno fluya y poder mantener las condiciones aerobias. La humedad recomendada generalmente debe estar en el intervalo de 40% a 65%. Por debajo del 15% de humedad, la actividad microbiana cesa por completo (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-9).

- **Lechos A y A' (frutas + levadura y bebida gaseosa):** La humedad durante la segunda semana se registró en un promedio de 57,36%. Al final de proceso se registró un promedio de 50,84% de humedad.
- **Lechos B y B' (frutas + EMAs):** Inició con un promedio de 55,40%, al finalizar el proceso se registró un promedio de 50,85%.

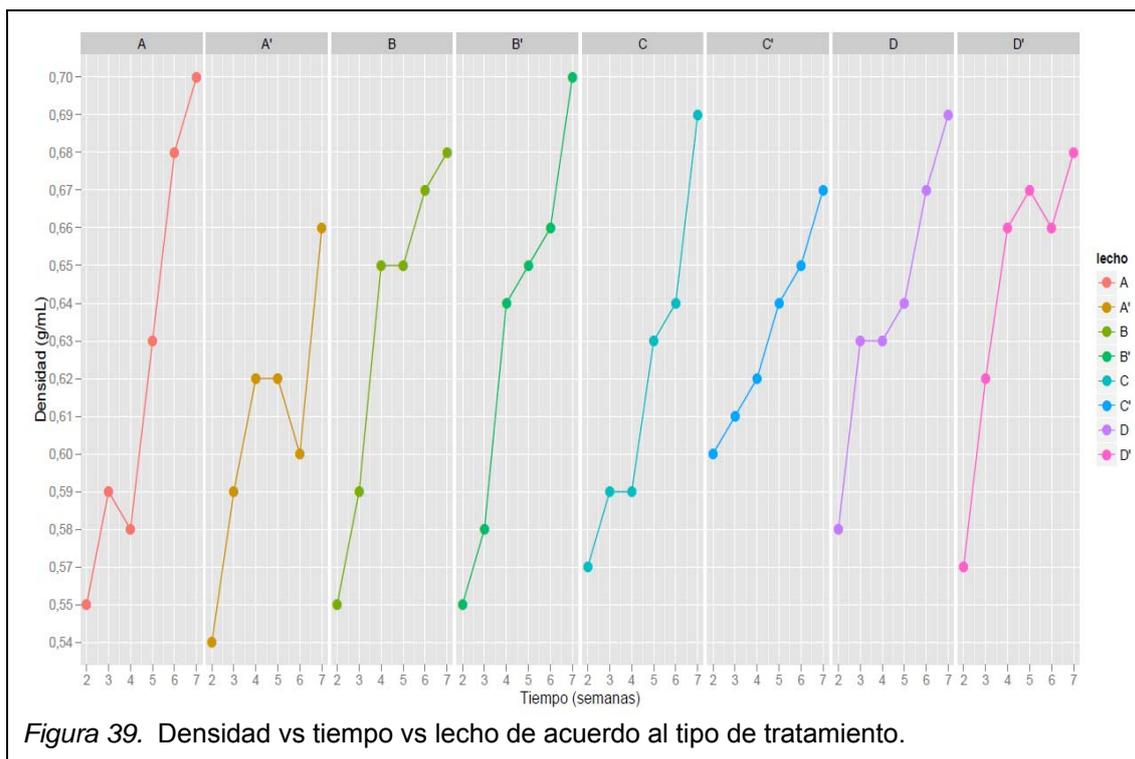
- **Lechos C y C' (Vegetales + levadura y bebida gaseosa):** En la segunda semana se calculó un promedio de 53,81% de humedad, al término de las 7 semanas se registró un promedio de 50,64%.
- **Lechos D y D' (Vegetales + EMAs):** Durante la primera semana se obtuvo un promedio de 52,52% de humedad. El porcentaje de humedad descendió hasta ubicarse en un promedio de 50,63% en la última semana.

Al mantenerse las condiciones óptimas de compostaje, los microorganismos tienen el medio necesario para realizar su trabajo. La actividad metabólica de estos provoca un aumento de la temperatura, y por consiguiente, una disminución del porcentaje de humedad, debido a la evaporación. Al finalizar los procesos de compostaje en los 8 lechos, los niveles de humedad disminuyeron, en relación a los valores de humedad obtenidos en la primera semana.

Todos los lechos se encontraron dentro de los rangos aceptables para un correcto desarrollo del compostaje, durante las 7 semanas. De acuerdo a la información recolectada se puede concluir que los tratamientos D y D' tuvieron una mejor evolución en términos de humedad; se debe recordar que estos lechos registraron los rangos óptimos de temperatura, superando los 50 °C durante la segunda semana. Los tratamientos A, A', B y B' registraron los porcentajes más altos de humedad durante las primeras semanas, debido a que en estos lechos se trabajó con frutas; se sabe que más del 80% de la composición de una fruta es agua.

#### **6.1.1.4 Densidad del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento**

Como se puede evidenciar en la Figura 39, la densidad en los 8 lechos aumentó conforme el paso del tiempo.



De acuerdo a Gordillo y Chávez, la densidad aparente debe encontrarse entre 0,4 y 0,7 g/mL para que se lleve a cabo un proceso de descomposición adecuado, debido a su relación con el porcentaje de humedad existente en el lecho de compostaje (Gordillo y Chávez, 2010, pp. 3-4). Cuanto la humedad es demasiado alta, el espacio de aire libre disminuye y el proceso de descomposición se realiza en ausencia del oxígeno.

- **Lechos A y A' (frutas + levadura y bebida gaseosa):** Durante la segunda semana se calculó un promedio de 0,54 g/mL de densidad, al final del proceso se registró una densidad promedio de 0,68 g/mL.
- **Lechos B y B' (frutas + EMAs):** Inició con un promedio de 0,55 g/mL, al término de la séptima semana se registró un promedio de 0,69 g/mL.
- **Lechos C y C' (Vegetales + levadura y bebida gaseosa):** La densidad inició con un promedio de 0,58 g/mL, en la última semana se registró un promedio de 0,70 g/mL.

- **Lechos D y D' (Vegetales + EMAs):** Durante la segunda semana se calculó 0,58 g/mL, y en la última semana 0,69 g/mL.

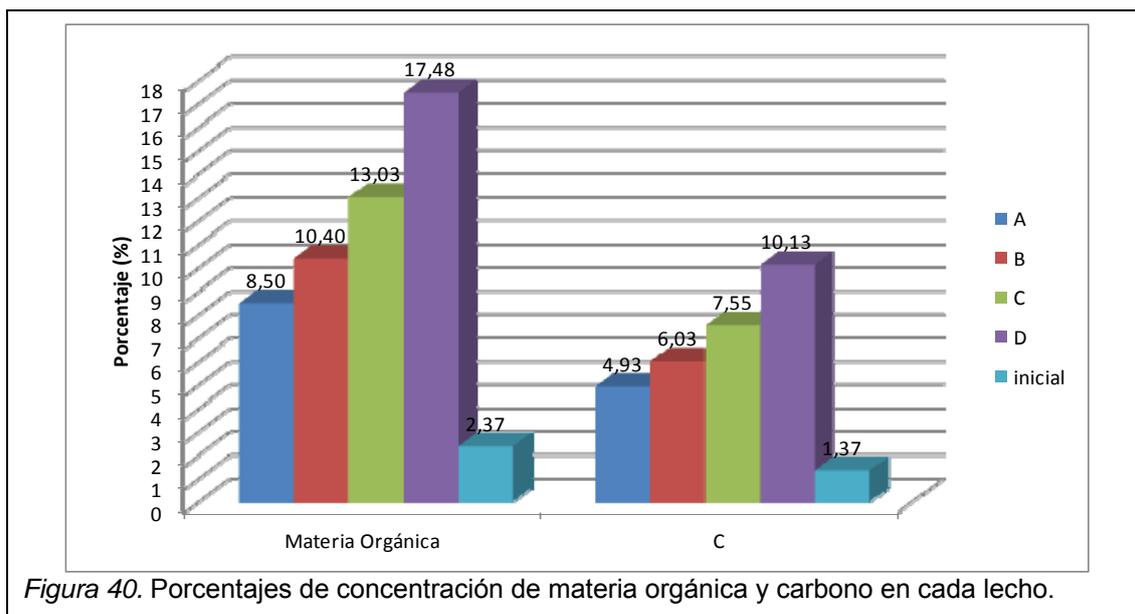
Como se puede evidenciar, la densidad aumenta conforme pasa el tiempo de compostaje, como consecuencia de una mayor descomposición y reducción del tamaño de las partículas. Al finalizar los procesos de compostaje en los 8 lechos, los promedios de densidad no presentaron mucha variación entre ellos.

Durante las primeras semanas, los lechos A, A', B, y B', registraron promedios menores de densidad debido a los altos porcentajes de humedad obtenidos. Cuando los niveles de humedad son altos, el espacio de aire libre disminuye y el producto se compacta. En los lechos C, C', D y D', se calcularon los niveles de densidad más altos al principio del proceso, debido a que el porcentaje de humedad presente era inferior por las altas temperaturas registradas durante los primeros días, y por lo tanto, los espacios intersticiales estaban ocupados por aire.

#### **6.1.1.5 Análisis Químico del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento**

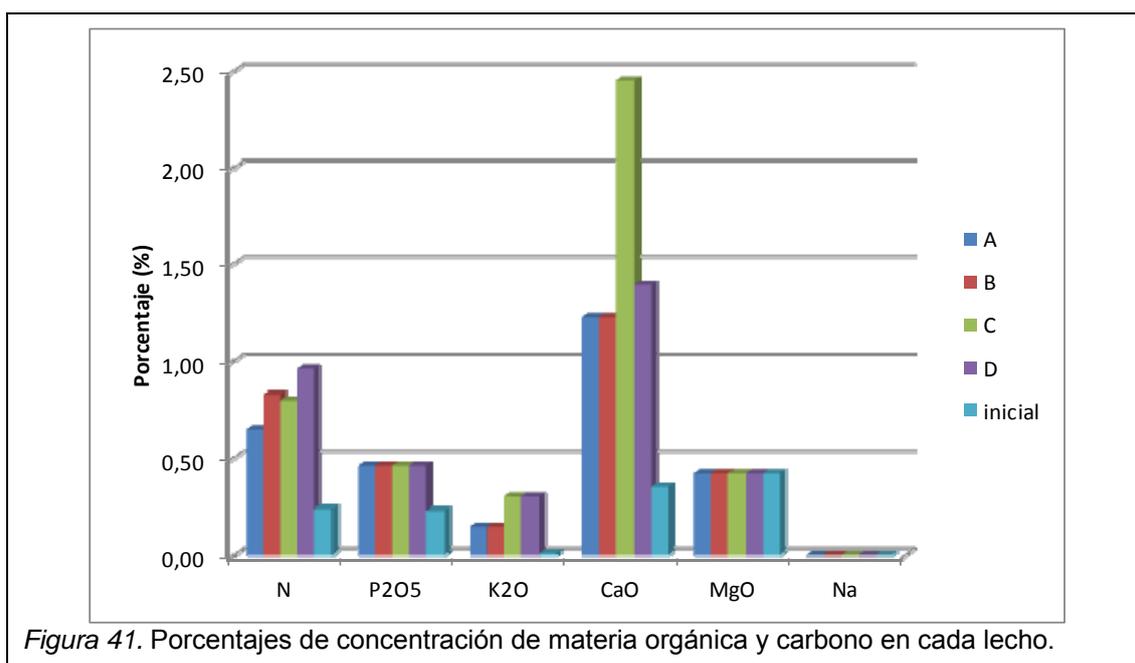
De acuerdo a los resultados del análisis de suelos se evidenció diferencias en las concentraciones de cada elemento, al inicio y al final del proceso, en cada lecho. En esta sección se detallaran los resultados más significativos.

El porcentaje de materia orgánica en el suelo inicial fue 2,37%, al cabo de las 7 semanas el porcentaje aumentó a un rango entre 8,50% - 17,48%. El mayor incremento se registró en el lecho D con un porcentaje final de 17,48%.

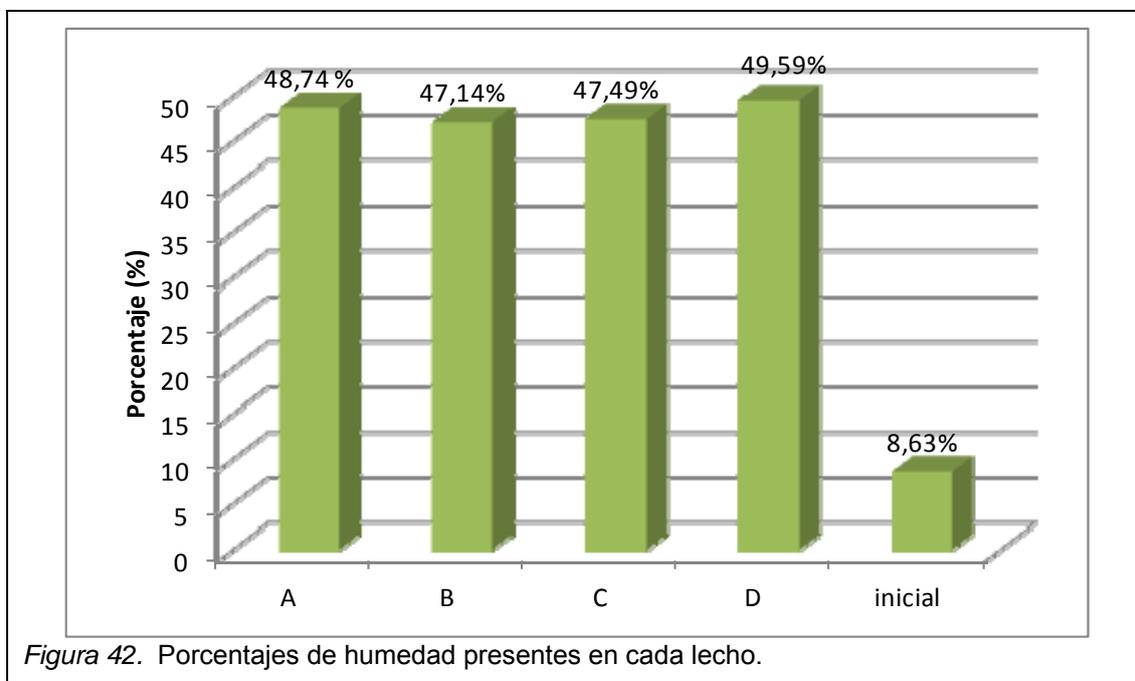


El carbono inicial fue 1,37%, al finalizar el proceso el porcentaje aumento a un rango entre 4,93% - 10,13%. De igual manera, el mayor incremento se registró en el lecho D con un porcentaje final de 10,13%.

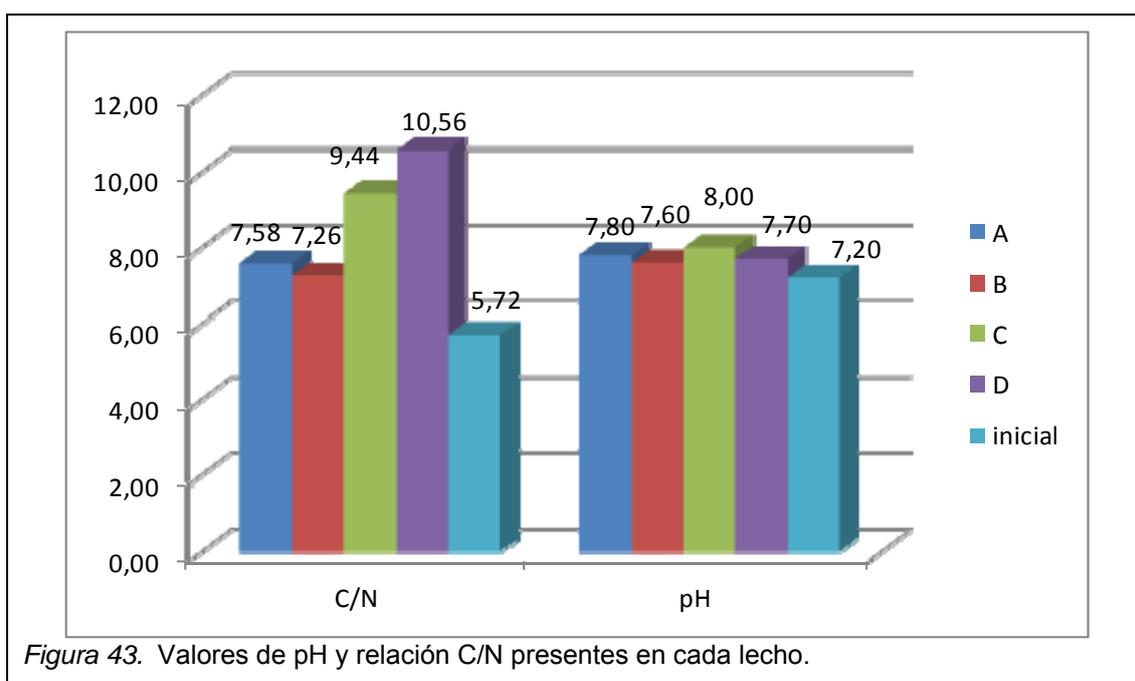
El porcentaje de nitrógeno inicial fue 0,24%; en el análisis final se evidencio un leve aumento ubicándose en un rango entre 0,65% - 0,96%. El mayor aumento se produjo en el lecho D con un porcentaje final de 0,96%.



El porcentaje de humedad tuvo un incremento significativo, de 8,63% a 46% aproximadamente. El abono obtenido de los 4 lechos presentó los porcentajes de humedad óptimos (40% - 60%).



El pH no tuvo ninguna variación significativa, se mantuvo en un promedio de 7.



La relación C/N inicial fue 5,72%; al cabo de las 7 semanas se evidenció un aumento ubicándose en un rango entre 7,26% - 10,56%. El mayor incremento se produjo en el lecho D con un porcentaje final de 10,56%. La relación C/N óptima para un abono totalmente maduro es cercana a 10, similar a la del humus. Generalmente cuando la relación C/N es menor a 20, se considera que es un compost que se encuentra estable o maduro (Moreno y Moral, 2011, p. 102). Se puede evidenciar que los valores obtenidos de relación C/N, al finalizar el proceso, son cercanos a 10.

No se encontró información bibliográfica sobre las concentraciones mínimas de componentes como S, Zn, B, Cu, entre otros, para comprobar la calidad del compost.

#### **6.1.1.6 Olor del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento**

En la respiración anaeróbica, los microorganismos utilizan aceptores de electrones distintos de  $O_2$ , como los nitratos ( $NO_3^-$ ), sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ), y carbonatos ( $CO_3^{2-}$ ) para obtener energía. El uso de estos aceptores de electrones alternativos en el metabolismo produce compuestos olorosos o no deseables, tales como sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) y metano ( $CH_4$ ). La respiración anaeróbica también conduce a la formación de ácidos orgánicos intermedios que tienden a acumularse y son perjudiciales para los microorganismos aeróbicos. La respiración aeróbica también forma ácidos orgánicos intermedios, pero estos productos intermedios se consumen fácilmente por reacciones posteriores, de modo que no son significativos para una potencial generación de olores, como en la respiración anaerobia (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-6).

Un pH 8 también ayuda a controlar los olores mediante la prevención de la formación de ácidos orgánicos intermedios que son responsables de la mayoría de los compuestos olorosos generados en los sitios de compostaje. (United States Department of Agriculture, 2000, p. 2-10)

Durante los primeros 15 días se pudo percibir un leve olor a fermento proveniente de todas las pilas, pero era más evidente en las pilas de frutas; esto se debe a que durante ese tiempo no se realizó ningún volteo, produciéndose una acumulación de ácidos orgánicos intermedios y una descomposición anaerobia, además de los altos porcentajes de humedad registrados. A partir de la semana 2 los olores fueron desapareciendo.

#### **6.1.1.7 Análisis de Color del Compost en función del tiempo de operación y tipo de tratamiento**

El suelo inicial que fue agregado a la pila de compostaje se caracterizaba por un color amarillento. Al terminar el proceso, el suelo obtenido era color marrón a marrón muy oscuro. El abono obtenido de los lechos D y D' fue el más oscuro en comparación con el resto de lechos. En la Figura 44 se puede evidenciar el cambio de color de la semana 1 a la semana 7.

Lechos	Semana 1	Semana 7
A		
A'		
B		
B'		
C		
C'		
D		
D'		

Figura 44. Cambio de color en el suelo compostado.

## 6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el trabajo de investigación realizado se quiso estudiar el efecto del residuo orgánico utilizado (Factor 1) y del tipo de bioacelerador (Factor 2) sobre los niveles de temperatura alcanzados en la fase termófila (respuesta), mediante

un análisis de la varianza. Adicionalmente, se utilizó una prueba estadística para determinar la correlación de los parámetros monitoreados en el proceso.

### 6.2.1 Prueba de Hipótesis para la Temperatura (Fase Termófila)

El objetivo del análisis de la varianza es investigar cuales de los tres efectos están activos o son significativos. Las pruebas de hipótesis a probar son:

$$H_0: \text{Efecto de } A = 0$$

$$H_0: \text{Efecto de } B = 0$$

$$H_0: \text{Efecto de } AB = 0$$

$$H_A: \text{Efecto de } A \neq 0$$

$$H_B: \text{Efecto de } B \neq 0$$

$$H_{AB}: \text{Efecto de } AB \neq 0$$

Si se acepta  $H_0$  se confirma que los efectos sobre la respuesta de los 4 tratamientos son estadísticamente nulos (iguales a cero), y en caso de rechazar se estaría concluyendo que al menos un efecto es diferente de cero.

Para analizar el efecto de los factores sobre la respuesta, se decidió realizar un diseño factorial  $2^2$  con 8 mediciones, lo que da un total de  $8 \times 2^2 = 32$  corridas del proceso, al tener una réplica se tienen 64 corridas en total. Los tipos de residuos orgánicos utilizados fueron frutas y verduras, y los tipos de bioaceleradores fueron EMAs y levadura más bebida gaseosa, según se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 11. Factores y sus niveles para el proceso de experimentación del compostaje**

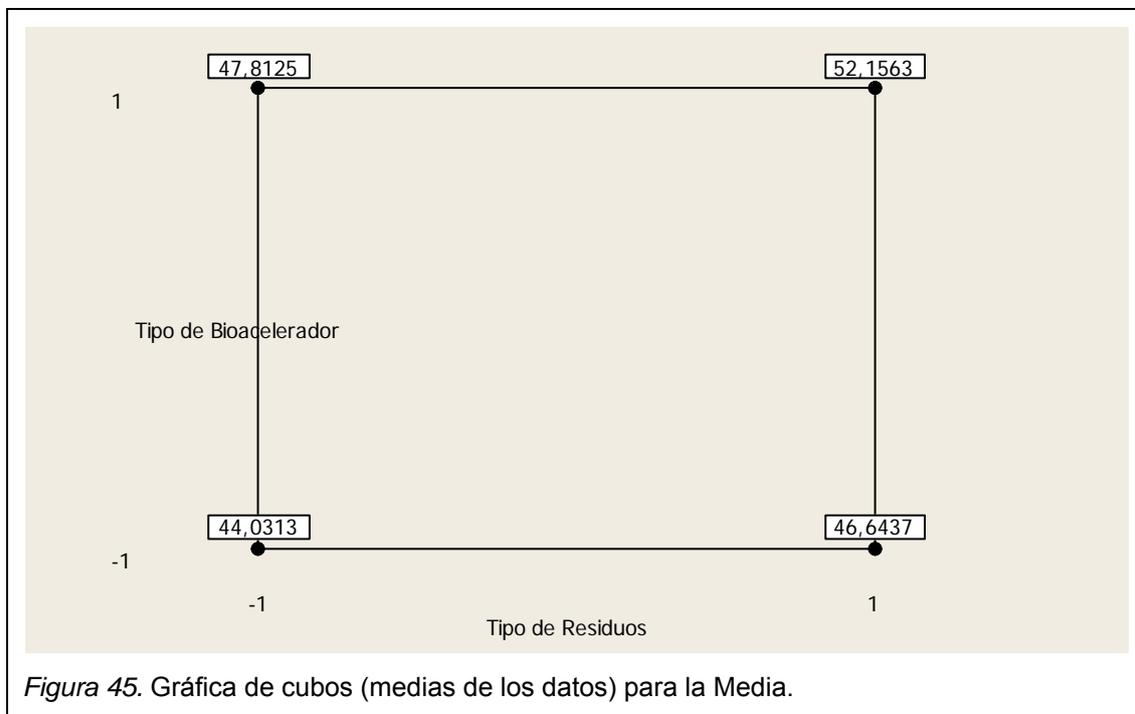
Factores (Variables)	Niveles de Factores	
	-	+
F1: Tipo de residuo	Frutas (-1)	Vegetales (+1)
F2: Tipo de bioacelardor	Levadura + bebida gaseosa (-1)	EMAs (+1)

En la Tabla 12 se muestra el diseño factorial utilizado en sus unidades originales, que fueron necesarias al momento de hacer las pruebas o corridas del proceso. También se muestra los datos obtenidos en las 32 pruebas. Los cálculos se realizaron con el software estadístico Minitab (Versión 16, año 2010).

**Tabla 12. Diseño y datos para temperatura**

<b>F1: Residuo</b>	<b>F2: Bioacelerador</b>	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>R6</b>	<b>R7</b>	<b>R8</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Frutas	Levadura + bebida gaseosa	-1	-1	36,5	39,0	42,0	47,0	51,0	49,0	46,0	44,5	44,37	4,94
Vegetales	Levadura + bebida gaseosa	1	-1	45,9	48,5	50,9	52,0	48,5	45,5	42,0	42,0	46,91	3,74
Frutas	EMAs	-1	1	42,0	45,5	48,5	49,5	53,0	49,5	46,5	46,0	47,56	3,31
Vegetales	EMAs	1	1	52,5	56,0	56,5	56,0	53,5	51,5	48,5	45,0	52,43	4,04
Frutas	Levadura + bebida gaseosa	-1	-1	34,0	38,5	40,0	45,5	50,5	48,5	47,0	45,5	43,68	5,62
Vegetales	Levadura + bebida gaseosa	1	-1	47,0	50,5	50,0	50,0	47,0	43,5	42,0	41,0	46,37	3,78
Frutas	EMAs	-1	1	42,0	47,0	48,0	50,0	53,5	50,0	48,0	46,0	48,06	3,36
Vegetales	EMAs	1	1	55,5	57,0	56,0	55,5	52,0	49,5	46,5	43,0	51,87	5,11

La representación geométrica de las medias de los datos del experimento se muestra en la Figura 45.



En base a la Figura 45 se puede deducir las medias de temperatura para cada tratamiento. Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Diseño y datos para temperatura

F1: Residuo	F2: Bioacelerador	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Media de Temperatura
Frutas	Levadura + bebida gaseosa	-1	-1	43,03
Vegetales	Levadura + bebida gaseosa	1	-1	46,64
Frutas	EMAs	-1	1	47,81
Vegetales	EMAs	1	1	52,15

### 6.2.1.1 Análisis de la Varianza

El análisis de la varianza realizado en el software estadístico Minitab se muestra en la tabla 14

Tabla 14. Diseño y datos para temperatura

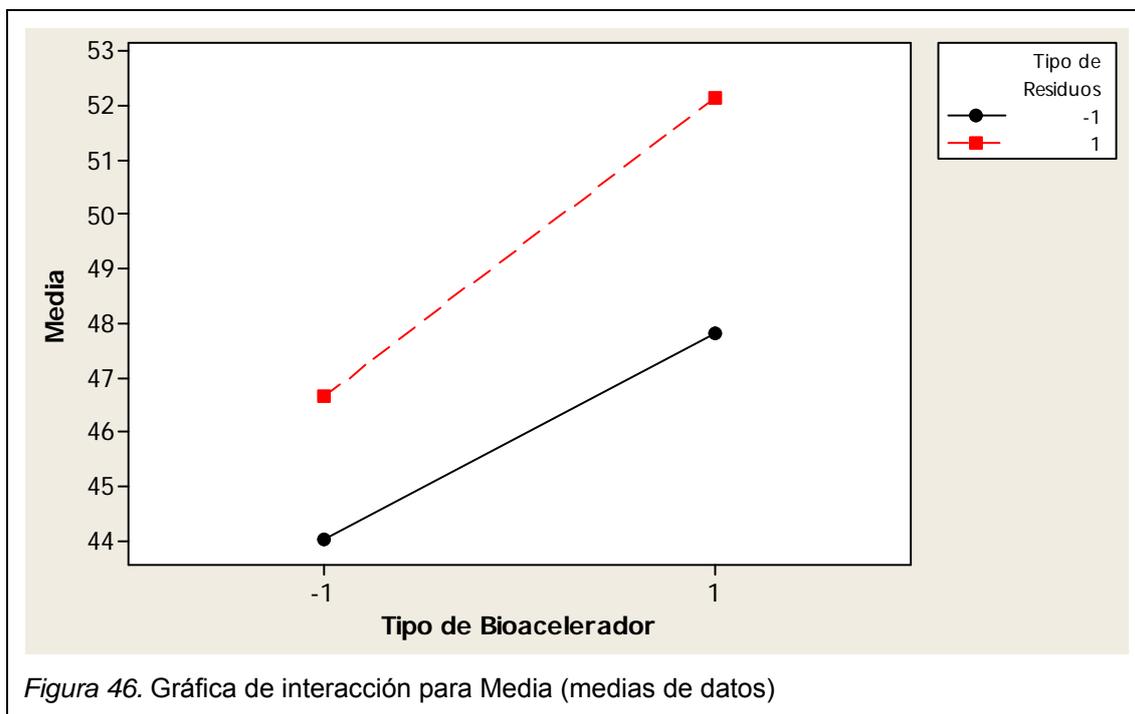
Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F <sub>o</sub>	Valor-p
A: Tipo de Residuos	1	24,1947	24,1947	24,1947	145,75	0,000
B: Tipo de Acelerador	1	43,1869	43,1869	43,1869	260,17	0,000
AB: Tipo de Residuos *Tipo de Acelerado	1	1,4986	1,4986	1,4986	9,03	0,040
Error	4	0,664	0,664	0,166		
Total	7	69,5442				

De acuerdo con la columna para el valor-p, cuyas entradas son menores que 0,05, se rechazan las tres hipótesis nulas  $H_0$ : efecto A = 0,  $H_0$ : efecto B = 0, y  $H_0$ : efecto AB = 0, y se concluye que  $H_A$ : efecto A  $\neq$  0,  $H_B$ : efecto B  $\neq$  0 y  $H_{AB}$ : efecto AB  $\neq$  0, respectivamente, con  $\alpha = 0,05$ . Se acepta que sí hay efecto de A, B, AB, es decir, los tres efectos están activos o significativos. El valor-p de magnitud tan pequeña para los tres efectos nos muestra que la conclusión es contundente y que prácticamente no se corre ningún riesgo de rechazar en falso. Del valor  $F_o$  se aprecia que el efecto más importante es el del factor 2.

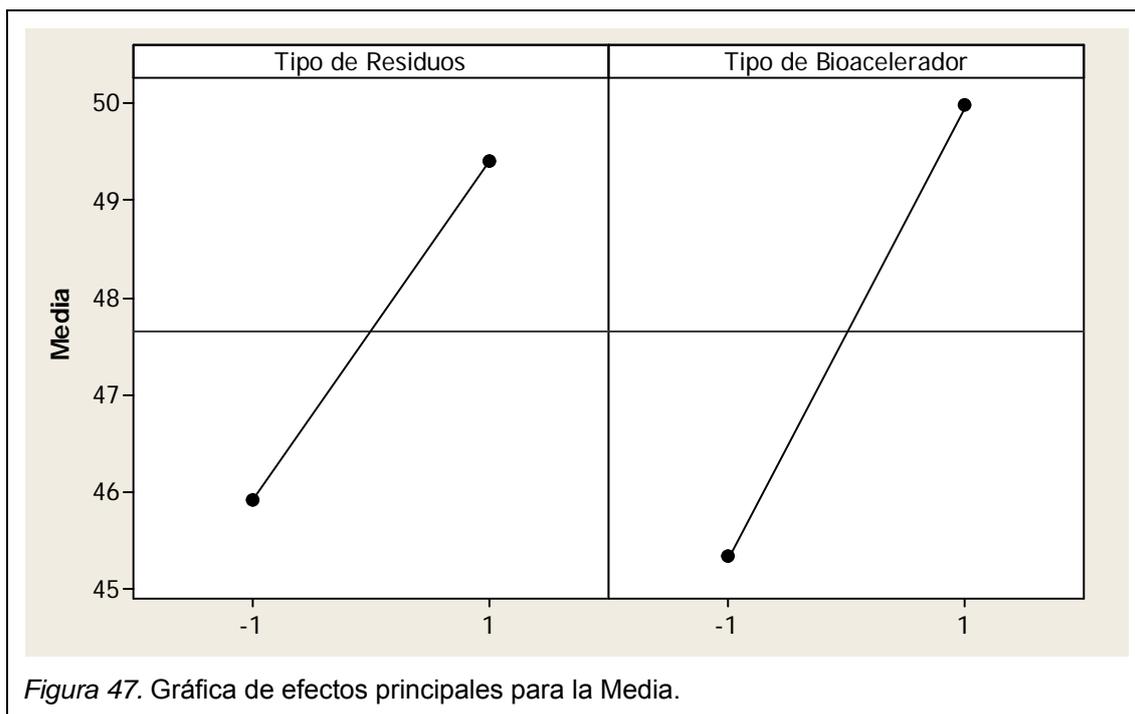
### 6.2.1.2 Interpretación y conclusiones

El objetivo es alcanzar rangos superiores a los 50 °C de temperatura. En este caso, los dos efectos principales (tipo de residuos orgánicos y tipo de bioacelerador) como el efecto de la interacción (tipo de residuos orgánicos x tipo de bioacelerador) tienen un efecto significativo sobre la temperatura del lecho de compostaje.

Toda la información relevante del experimento se encuentra en la Figura 46.



Se puede afirmar que cuando el tipo de bioacelerador se encuentra en su nivel más alto, el tipo de residuo tiene un efecto considerable sobre la temperatura. En otras palabras, al estar el tipo de bioacelerador en su nivel bajo, las temperaturas no alcanzarán los niveles óptimos sin importar el tipo de residuo utilizado en el proceso de compostaje. Si lo que se quiere es conseguir temperaturas superiores a los 50 °C, entonces se puede utilizar el tratamiento ( $A^{+1}$ ,  $B^{+1}$ ), ya que en este método se obtienen los resultados deseados. El tratamiento ( $A^{-1}$ ,  $B^{+1}$ ) se acerca a las temperaturas necesarias para el óptimo desarrollo del proceso de compostaje. Los resultados obtenidos en el análisis estadístico concuerdan con los resultados experimentales, y con la teoría investigada.



Con la interpretación de la gráfica de interacción se tiene mucho más conocimiento sobre el proceso, cosa que no se hubiese logrado sólo con la interpretación de la Figura 47. De ésta gráfica se concluye que si se quiere alcanzar rangos de temperatura altos forzosamente se debe utilizar la combinación ( $A^{+1}$ ,  $B^{+1}$ ).

### 6.2.2 Análisis de Correlación

La prueba de correlación permite identificar la asociación lineal entre grupos de datos ordenados por rangos. El coeficiente puede asumir valores desde -1 hasta +1, obteniendo +1 cuando se tiene una relación perfecta entre los rangos.

En el presente trabajo de investigación se analizó la correlación entre temperatura-ph, temperatura-humedad, temperatura-densidad en cada tratamiento empleado. Como parámetro principal se analizó la temperatura, debido a que es el factor más importante para que el proceso de compostaje se realice de una manera adecuada.

Todos los cálculos realizados se encuentran detallados en Anexos.

En la Tabla 15 se pueden apreciar los resultados de la relación entre la temperatura y la humedad en los 8 lechos de compostaje.

**Tabla 15. Resultados de Correlación.**

Lecho	Coeficiente $r_s$		
	Temperatura - humedad	Temperatura - pH	Temperatura - densidad
A	1,00	0,97	-0,94
A'	0,94	0,97	-0,79
B	0,93	0,95	-0,76
B'	0,94	0,90	-1,00
C	0,94	0,91	-0,96
C'	1,00	0,73	-1,00
D	1,00	0,83	-0,96
D'	1,00	0,72	-0,87

### 6.2.2.1 Correlación Temperatura – Humedad

De acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 15, se puede concluir que la relación más estrecha se da entre estos factores, debido a que el coeficiente de correlación de rangos de Spearman es muy cercano a +1. Por lo tanto, en base a esta prueba se puede deducir que la humedad es el parámetro más importante a controlar si se quiere obtener los niveles de temperatura necesarios para un proceso de compostaje idóneo. Los promedios analizados para el cálculo de este coeficiente fueron los obtenidos a partir de la segunda semana; es a partir de esta semana donde los lechos inician la segunda fase mesofílica del proceso.

### 6.2.2.2 Correlación Temperatura – pH

Esta correlación tiende a ser lineal, aunque en los lechos C', D y D' el coeficiente de correlación no es tan cercano al +1, como en el resto de lechos.

Los datos analizados fueron los obtenidos durante las 7 semanas que duró el proceso de compostaje. Según la información analizada se puede concluir que el pH existente en el medio no tiene una influencia directa sobre la temperatura.

### **6.2.2.3 Correlación Temperatura – Densidad**

La relación temperatura-densidad tiende al -1, lo que supondría que, a menor temperatura durante el proceso, mayor densidad alcanzará el producto final. Se debe considerar que para el cálculo de este coeficiente se analizaron los datos obtenidos a partir de la segunda semana, donde inicia el descenso de temperatura una vez concluida la fase termófila; por lo tanto, no se puede asegurar la confiabilidad del coeficiente de correlación obtenido.

## **6.3 ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO**

### **6.3.1 Evaluación del proyecto de compostaje de residuos orgánicos en San Gabriel del Baba**

En esta sección se pretende identificar, cuantificar, valorar y calificar los costos y beneficios sociales, ambientales y económicos del proyecto.

#### **6.3.1.1 Costos de Inversión y Reinversión**

La inversión inicial para la construcción de los lechos de compostaje es mínima, debido a que no se necesita de equipos o maquinaria especializada para la obtención del compost. Para este trabajo de investigación se construyeron 8 lechos de compostaje, la inversión inicial por lecho de compostaje se detalla en la Tabla 16.

**Tabla 16. Costo de inversión para la construcción del lecho de compostaje.**

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Cañas guaduas	2	2,00	4,00
Clavos	20	0,05	1,00
Plástico transparente	1 (2 m x 2 m)	4,00	4,00
Solución bioaceleradora	2	7,50	15,00
<b>TOTAL</b>			<b>24,00</b>

El costo de inversión por cada lecho es de \$24,00. Para realizar el proceso de compostaje no es necesario el uso de cajas, ya que la descomposición de los residuos orgánicos puede realizarse sobre la tierra, sin ningún tipo de contenedor, sólo es necesaria una cubierta plástica para proteger la pila de la lluvia y vectores indeseables. Debido a esto el costo de inversión puede ser menor, dependiendo del tipo de sistema que se quiera implementar.

### **6.3.1.2 Costo de Operación y Mantenimiento**

Debido a la sencillez del proceso de degradación de la materia orgánica, no se requieren costos adicionales a los iniciales, los gastos en operación y mantenimiento se consideran nulos debido a que el tiempo de dedicación es inferior a 4 horas a la semana.

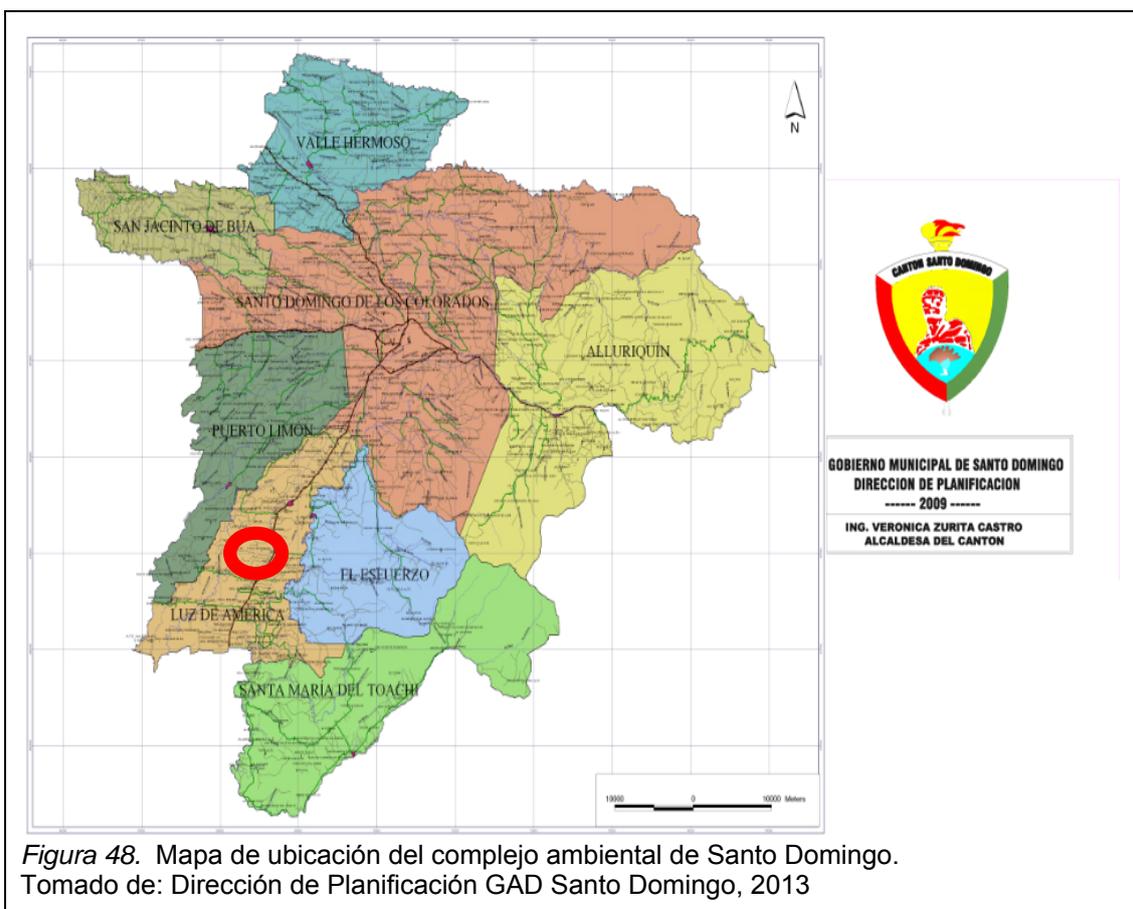
### **6.3.2 Identificación, Cuantificación y Valoración de los Beneficios**

#### **6.3.2.1 Producción Agrícola**

La producción agrícola de la zona se beneficiaría por un mejoramiento de la calidad de los suelos con el uso del compost, debido a la reducción de la compactación el suelo, un mejoramiento de su estructura y capacidad de movilización de nutrientes. El uso de un abono orgánico supondría una reducción en el uso de fertilizantes. Además, se protege a las plantas de enfermedades, se incrementan las poblaciones de microorganismos y de lombrices, que causan un beneficio persistente al suelo y a las plantas.

### 6.3.2.2 Extensión de la Vida Útil del relleno sanitario de Santo Domingo

El destino final de los residuos orgánicos generados en San Gabriel del Baba, ya no sería el botadero a cielo abierto ubicado en el km 19 de la vía a La Concordia, ni el complejo ambiental ubicado en el km 32 de la vía a Quevedo, lo que sin duda alguna generará una disminución del volumen de residuos depositados en el lugar, extendiendo la vida útil de los mismos.



Al momento ya se encuentra operando el módulo uno del complejo ambiental, que funciona solo como relleno sanitario. En la figura 49 se puede observar un esquema detallado del proyecto.

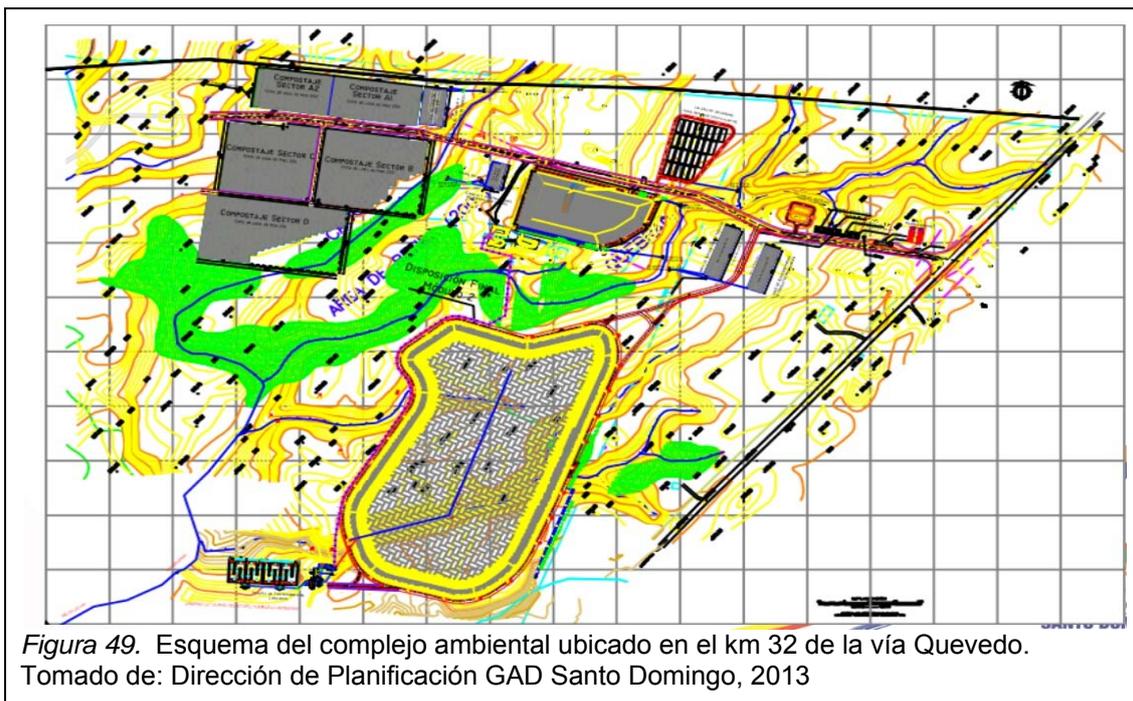


Figura 49. Esquema del complejo ambiental ubicado en el km 32 de la vía Quevedo. Tomado de: Dirección de Planificación GAD Santo Domingo, 2013

### 6.3.2.3 Reducción de la Formación de gases de efecto invernadero

Los residuos orgánicos serían compostados en las viviendas de San Gabriel del Baba. Al ser un proceso controlado en presencia de oxígeno, no se generarían gases de efecto invernadero, teniendo impactos positivos para el ambiente.

### 6.3.2.4 Contaminación de los Recursos Hídricos

La descomposición de los residuos orgánicos en botaderos no controlados genera lixiviados, los cuales terminan en fuentes de agua causando su contaminación. El tratamiento de los residuos orgánicos en el lugar de origen evitará dicha contaminación, impidiendo la acumulación de líquidos nocivos para el ecosistema.

### 6.3.2.5 Impacto sobre las Actividades Económicas

San Gabriel del Baba se caracteriza por ser una zona turística del Cantón Santo Domingo, debido a los ecosistemas existentes, principalmente los ríos

que cruzan por la zona. Si se evita la contaminación y degradación de estos ecosistemas, con el tratamiento adecuado de los residuos orgánicos generados, se puede promover más afluencia turística a la zona con impactos económicos positivos para sus habitantes.

### **6.3.2.6 Mejoramiento de la gestión de los residuos orgánicos y ahorro económico en el presupuesto municipal**

El costo promedio del manejo de los residuos sólidos por tonelada en el sector es de \$83,72. La implementación de un programa de compostaje, llevado a cabo en las viviendas de San Gabriel del Baba, generaría un ahorro en el tratamiento de estos residuos por parte del GAD Municipal, permitiendo mayor inversión en servicios a la ciudadanía.

Para calcular el ahorro que tendría el GAD Municipal, al no tratar los residuos orgánicos generados en San Gabriel del Baba, se proyectó la población a 5 años con una tasa de crecimiento poblacional anual de 2,76%. Esta tasa de crecimiento fue determinada en el estudio del Complejo Ambiental contratado por el GAD Municipal, cuyo Consultor es CONSULTPIEDRA en el año 2011, obteniendo el siguiente resultado:

**Tabla 17. Proyección de la población de San Gabriel del Baba.**

<b>Año</b>	<b>Población inicial (habitantes)</b>	<b>Tasa de crecimiento (%)</b>	<b>Proyección de habitantes</b>
1	3 232	2,76	3 232
2	3 232	2,76	3 413
3	3 232	2,76	3 507
4	3 232	2,76	3 604
5	3 232	2,76	3 703

Nota: Los cálculos de aplicación de las formulas se pueden ver en el Anexo 6: CÁLCULO DE LA PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE SAN GABRIEL DEL BABA.

Con esta información y los datos investigados sobre el porcentaje de generación de residuos orgánicos en San Gabriel del Baba, se proyectó el total de residuos orgánicos generados anualmente.

**Tabla 18. Generación de residuos orgánicos. Proyección de la población de San Gabriel del Baba.**

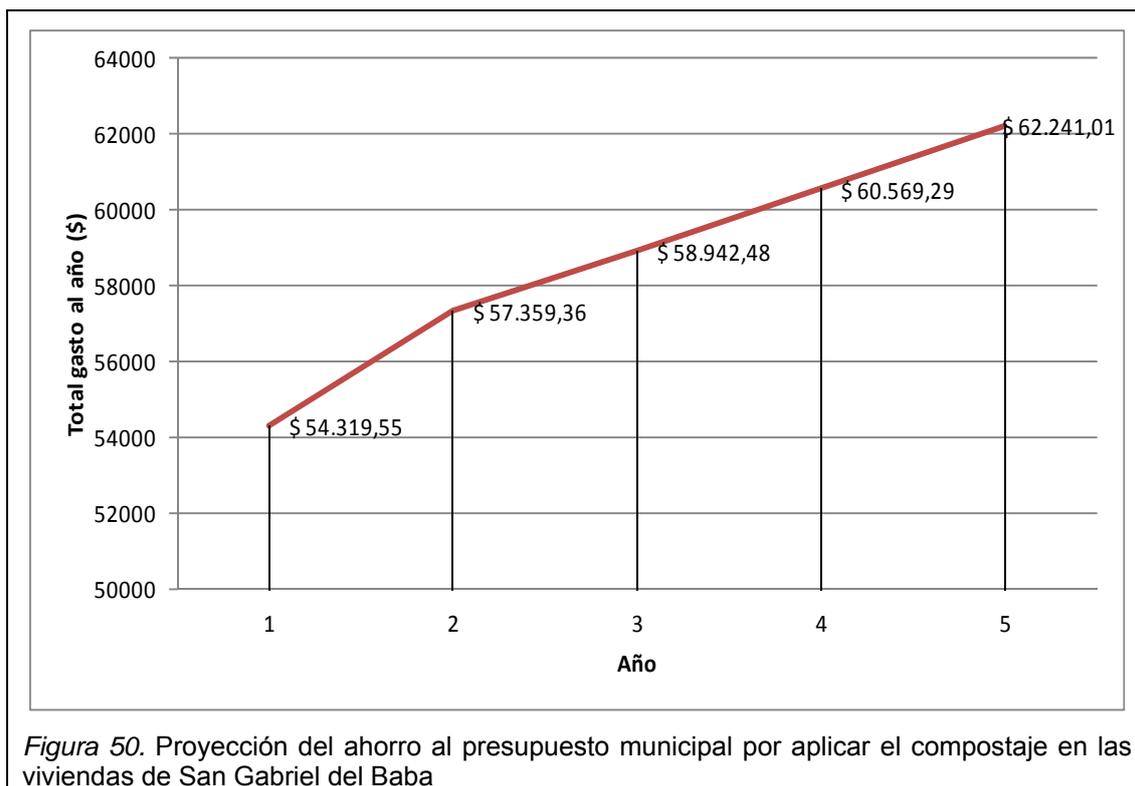
Año	Residuos sólidos per cápita (hab/día /kg)	Residuos sólidos generados en un año (hab/kg)	Habitantes	Total residuos sólidos año (kg)
1	0,55	200,75	3 232	648 824,00
2	0,55	200,75	3 413	685 133,33
3	0,55	200,75	3 507	704 043,01
4	0,55	200,75	3 604	723 474,60
5	0,55	200,75	3 703	743 442,50

Como se detallo en el Capítulo 2, el costo del tratamiento de residuos sólidos en San Gabriel del Baba es de \$83,72 por tonelada, con esta información se calculó lo que costaría el manejo de los residuos generados en 5 años.

**Tabla 19. Costo manejo residuos sólidos orgánicos generados en San Gabriel del Baba.**

Año (n)	Gasto tratamiento por ton (\$)	Residuos sólidos orgánicos (kg/año)	Residuos orgánicos (Tn/año)	Total gasto año (\$)
1	83,72	648 824,00	648,82	54 319,55
2	83,72	685 133,33	685,13	57 359,36
3	83,72	704 043,01	704,04	58 942,48
4	83,72	723 474,60	723,47	60 569,29
5	83,72	743 442,50	743,44	62 241,01

Es así como al año 5 se calculó un ahorro al presupuesto municipal de 62 241,01 dólares. En la Figura 50 se representa gráficamente la información obtenida.



*Figura 50.* Proyección del ahorro al presupuesto municipal por aplicar el compostaje en las viviendas de San Gabriel del Baba

### • Análisis Financiero

El GADM de Santo Domingo tiene previsto un proyecto de capacitación a la población del cantón sobre la técnica de compostaje desarrollada en este trabajo de investigación. El plan piloto se llevará a cabo en la parroquia San Gabriel del Baba, las capacitaciones tendrán una duración de 7 semanas, en las cuales los habitantes de la zona recibirán una charla instructiva semanal; se tiene previsto realizar un total de 8 capacitaciones al año. Al culminar el año se tiene como meta el haber capacitado a 172 ciudadanos.

Para determinar si el proyecto de capacitación a la población de San Gabriel del Baba sobre compostaje es factible para el GADM de Santo Domingo, se calcula el TIR y VAN. Primero se detallan los costos fijos y variables anuales que involucran al proyecto.

**Tabla 20. Costos fijos y variables anuales del proyecto de capacitación a la población de San Gabriel del Baba.**

<b>COSTOS FIJOS</b>			
<b>Detalle</b>	<b>USD (por persona)</b>	<b>Número de Capacitadores</b>	<b>USD</b>
Sueldos Capacitadores	3 816	1	3 816
Sueldos Logística	1 800	2	3 600
<b>TOTAL</b>			<b>7 416</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>			
<b>Detalle</b>	<b>USD (por persona)</b>	<b>Asistentes por capacitación al año</b>	<b>USD</b>
Movilización	-	-	720
Alimentación de los asistentes a las charlas	8	172	1 376
<b>TOTAL</b>			<b>2 096</b>

La tasa de crecimiento que se fijó para los costos fijos y variables es del 5%, debido a que se debe tomar en cuenta la inflación del país que actualmente se sitúa entre el 2% – 3%. Se determinó como ingreso al ahorro que se obtendrá de la ejecución de proyecto de compostaje en los hogares de San Gabriel del Baba (Tabla 19), debido a que los residuos orgánicos generados ya no serán tratados en el complejo ambiental del GADM de Santo Domingo.

Con los datos obtenidos se procedió al cálculo del TIR y VAN detallado en la siguiente tabla:

**Tabla 21. Cálculo del TIR y VAN para el proyecto de capacitación sobre la técnica de compostaje en San Gabriel del Baba.**

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Inversión</b>	10 000					
<b>Ingresos</b>		54 319,55	57 359,36	58 942,48	60 569,29	62 241,01
<b>Costos fijos</b>		7 416,00	7 786,80	8 176,14	8 584,95	9 014,19
<b>Costos variables</b>		2 096,00	2 200,80	2 310,84	2 426,38	2 547,70
<b>Costo Marketing</b>		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Utilidad bruta</b>	-10 000	44 707,55	47 271,76	48 355,50	49 457,96	50 579,11

<b>VAN</b>	\$ 162 152,08
<b>TIR</b>	452%

Se obtuvo un VAN mayor a cero y un TIR superior a la tasa de descuento; por lo tanto, es un negocio rentable y se debe invertir en este proyecto. En estos cálculos normalmente se debe tener un TIR entre en 30% y el 50%, en este proyecto se tiene un TIR superior debido a que la inversión es mínima y, adicionalmente, el GADM de Santo Domingo es el primero que va a desarrollar un proyecto de este tipo en la zona, por lo tanto no tiene competencia.

- **Análisis Costo/Beneficio**

Desde la posición de un habitante de San Gabriel del Baba, si decide construir dos camas para el desarrollo de la técnica de compostaje su inversión es:

**Tabla 22. Inversión en la construcción de dos camas de compostaje**

<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
Cama de compostaje	9	2	18
Solución aceleradora	15	1	15
<b>TOTAL</b>			<b>33</b>

El precio de venta del abono en el mercado varía entre 5 y 8 dólares los 40 kg, de acuerdo a las visitas realizadas a comercializadoras de la zona. En el experimento llevado a cabo, de cada cama de compostaje se obtuvo entre 50 kg y 60 kg. La comparación entre el precio de venta del abono en el mercado y el costo del abono hecho en casa se detalla a continuación:

**Tabla 23. Comparación del precio del abono entre el mercado local y la producción en el hogar.**

<b>Costo Abono Competencia</b>	<b>Precio 40 kg (USD)</b>	<b>Precio 1 kg (USD)</b>
	\$ 8,00	<b>\$ 0,20</b>
<b>Costo Abono Compostaje</b>	<b>Precio 120 kg (USD)</b>	<b>Precio 1 kg (USD)</b>
	\$ 33,00	<b>\$ 0,28</b>

Como se puede evidenciar el costo de 1 kg del abono hecho en casa es superior en 0,08 centavos de dólar; pero a partir de la 7ma semana, es decir, el segundo proceso de compostaje que se lleve a cabo, el ahorro será del 100% debido a que ya no se tendrá que hacer la inversión en la construcción de las camas y la elaboración de la solución aceleradora.

Adicionalmente, si se fomenta el cultivo para el consumo en la zona, se produciría un ahorro en el presupuesto familiar. Actualmente \$42,15 de la canasta básica están destinados a la compra de verduras, tubérculos, frutas, etc. valor que puede disminuir, ya que al cultivar los productos en casa no sería necesaria su compra en tiendas o mercados.

## 7 CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- Este experimento llevado a cabo a pequeña escala ha permitido demostrar que es factible el obtener compost a partir de los residuos orgánicos domiciliarios, principalmente de cocina. Se cumple así con el objetivo de diseñar un sistema de compostaje, para su posterior implementación en San Gabriel del Baba, en base a sus promedios de generación de desechos orgánicos.
- Todos los tratamientos cumplieron con los rangos necesarios durante el proceso, pero solo en 2 tipos de tratamiento se alcanzaron los niveles óptimos.
- Con el uso de EMAs como bioacelerador, se tuvo mejores resultados en la evaluación de los parámetros durante el compostaje, en comparación con los otros lechos. Esto se debió a la variedad de microorganismos descomponedores que forman parte del bioacelerador, lo que acelera el proceso de obtención del abono.
- Se determinó que el tratamiento más eficaz de acuerdo a los parámetros registrados fue con el uso de vegetales como tipo de residuo, y EMAs como bioacelerador. En este tratamiento se cumplieron con todos los rangos necesarios para obtener un compost de calidad. Esta conclusión concuerda con el análisis estadístico, que demostró que con el uso de vegetales y EMAs se obtuvieron los mejores promedios de temperatura durante todo el proceso.
- Con el uso de frutas como materia prima a compostar, y levadura más gaseosa como bioacelerador, se registraron los peores rangos durante la evaluación del compostaje, en comparación con el resto de lechos. Esto

se debió principalmente a los altos niveles de humedad registrados, ya que las frutas en su composición cuentan con más porcentaje de agua en comparación con los vegetales.

- El tiempo de obtención del abono se redujo a la mitad con el uso de las soluciones bioaceleradoras, ya que de acuerdo a la información investigada se sabe que se tarda entre 3 a 6 meses para la obtención del compost (Díaz, 2002, p. 12).
- La etapa que presentó más dificultad durante todo el proceso fue el armado de los lechos, principalmente por la construcción del contenedor y la fragmentación de los desechos en restos de tamaño más pequeño, para acelerar el proceso de descomposición. La fragmentación de los residuos es un obstáculo que se puede superar si se cuenta con el equipo necesario, como un triturador de desechos. Adicionalmente, la fuerza manual que se requiere para el volteo de la pila podría ser un impedimento, por tal motivo es importante analizar el tamaño de la pila donde se trataran los desechos.
- Es importante mantener una adecuada relación C/N, la relación 3:2:1 (3 materia orgánica húmeda, 2 materia orgánica seca y 1 tierra) usada en este trabajo de investigación, no presentó ningún problema durante el compostaje. Se alcanzaron los niveles deseados de temperatura, indicador básico para saber que el proceso se ha realizado adecuadamente.
- La humedad es otro factor determinante en la obtención de compost de calidad, son importantes los tipos de materias primas empleadas. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que en lechos donde el tratamiento sea híbrido, una mezcla de frutas y vegetales con el uso de EMAs, se obtendrían resultados satisfactorios. Al utilizar un tratamiento

híbrido los niveles de humedad disminuirían, al no tratar exclusivamente frutas.

- Los resultados obtenidos reflejan satisfactoriamente los planteamientos y requerimientos necesarios para ejecutar un proyecto de estas características en San Gabriel del Baba. La realización de este proyecto implica un beneficio al ambiente, al evitar la formación de gases de efecto invernadero y lixiviados que se crean cuando los desechos tienen como destino final un relleno sanitario no controlado; un beneficio a la comunidad de San Gabriel del Baba, al mejorar los ecosistemas de la zona y potenciar el turismo; y al GAD Municipal de Santo Domingo, debido al ahorro económico que supondrá el no tener que tratar los residuos orgánicos generados en San Gabriel del Baba.
- El abono obtenido cumple con las características necesarias para ser usado en los suelos de la zona, mejorando la calidad del sustrato y reduciendo el uso de fertilizantes químicos en los cultivos.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Es primordial llevar un control constante de los niveles de temperatura para un buen desarrollo del proceso de compostaje, y por lo tanto, la obtención de un compost de calidad.
- Se recomienda realizar más estudios sobre la generación de residuos orgánicos y su utilización en el país y en la localidad, para poder contar con información actualizada del tema y desarrollar mejores técnicas de utilización de los desechos generados.
- La población de San Gabriel del Baba mostró total apertura y colaboración durante la investigación y desarrollo del proceso experimental. Con las visitas de campo, específicamente a las casas de

la zona, se pudo evidenciar que en algunas viviendas se realizan procesos de compostaje; pero al no contar con la información necesaria para el correcto desarrollo del proceso, cometen errores como el uso de plásticos, aluminio en los lechos. Se recomienda generar capacitación sobre estos temas por parte del GAD Municipal, considerando que la implementación de este tipo de proyecto representaría un ahorro de recursos al no tener que tratar los residuos orgánicos generados en San Gabriel del Baba, teniendo como un valor agregado adicional el beneficio para la población a través de la creación de micro empresas comercializadoras de compost.

- El GAD Municipal de Santo Domingo a partir de este documento podría replicar el experimento en otros centros poblados rurales del cantón, a fin de brindar la posibilidad de que otros sectores sean partícipes de todos los beneficios que genera la producción de compost en los lugares de origen de los desechos orgánicos, incentivando con el ello al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.
- El MAGAP y todos sus estamentos técnicos podrían implementar un sistema de producción de compost a nivel de todo el cantón y la provincia; así como, de consumo del producto a través de programas de incentivos a los pequeños y grandes productores agrícolas y ganaderos.

## REFERENCIAS

- Alonso, J. (2011). *Cómo hacer compost. Guía para amantes de la jardinería y el medio ambiente*. España: Mundi-Prensa.
- Ambientum. (2009). *Mecanismos de la fermentación aerobia*. Recuperado de página de Ambientum el 2 de agosto de 2013. [http://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/suelos/mecanismos\\_fermentacion\\_aerobia.asp](http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/mecanismos_fermentacion_aerobia.asp)
- Andrade, E. (2008). *Reciclaje: Utilización de desechos orgánicos para obtener abono orgánico*. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
- Clínica Ambiental. (2011). *Retos urgentes para un mundo sin basura*. (5ta. Ed.). Quito: Alerta Naranja.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. (19 de octubre 2010). *Registro Oficial 303*. Quito, Ecuador.
- CONSULTPIEDRA Cía. Ltda. (Octubre, 2011). *Complejo ambiental para la disposición final de los residuos sólidos del Cantón Santo Domingo – Estudio Socio-Económico*. Quito, Ecuador.
- CONSULTPIEDRA Cía. Ltda. (Octubre, 2011). *Estudio de mercado para la valorización de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos (compost, plástico, papel, cartón, vidrio y metales) de nuevo complejo ambiental para la disposición final de residuos sólidos del Cantón Santo Domingo*. Quito – Ecuador.
- Díaz, E. (2002). *Lombricultura una alternativa de producción*. España: La Rioja.
- Diputación Provincial de Barcelona. (2010). *Guía del Usuario. El compostaje casero*. Barcelona, España.
- Fundación Hogares Juveniles Campesinos. (2002). *Manual Agropecuario*. Bogotá, Colombia: Tecnologías Orgánicas de la Granja Integral Autosuficiente.
- Galindo, E. (2006). *Estadística Métodos y Aplicaciones*. Quito: ProCiencia.
- García, C. (1984). *Abonos Orgánicos - IV. Compost*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Gordillo, F. y Chávez, E. (2010). *Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros*. Guayaquil, Ecuador.

- Infoagro. (2009). *El compostaje*. Recuperado de página de Infoagro el 2 de junio de 2013. <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Quito, Ecuador. <http://www.inec.gob.ec>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Hábitos ambientales de los hogares ecuatorianos*. Quito, Ecuador. <http://www.inec.gob.ec>
- Martínez, M., Castro, D., Gutiérrez, V., Carrascal, A., Matiz, A., Serna, R., Montoya, J., Caro, J. y Zambrano, C. (2009). *Importancia de la materia orgánica en la agricultura*. España.
- Moreno, J. y Moral, R. (2011). *Compostaje*. Barcelona, España: Mundi-Prensa.
- Navarro, R. (2006). *Manual para hacer composta aerobica*. El Salvador.
- Organización Panamericana de la Salud. (2002). *Análisis Sectorial de los Residuos Sólidos en el Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Rodríguez, M. y Córdova, A. (2006). *Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos*. (1a. ed.). México.
- Rosales, R., Tapia, B. y Torres, V. (1999). *Monografía del Cantón Santo Domingo*. Santo Domingo de los Colorados, Ecuador.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2009). *Plan Nacional Para El Buen Vivir 2009 – 2013*. Quito, Ecuador: Senplades.
- Solíz, M. (2011). *Metabolismo del desecho en la determinación socio-ambiental de la salud*. Quito, Ecuador.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1997). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Volumen 1. Madrid, España: McGraw Hill.
- Torres, V. y Torres, V. (2009). *Santo Domingo Cantón – Provincia*. Santo Domingo de los Colorados, Ecuador.
- United States Department of Agriculture. (2000). *Environmental Engineering National Engineering Handbook*. United States of America.
- Wenzl, I. (2006). *La Revolución de los "Microbios Efectivos"*. Integral: Vive mejor en un mundo mejor. España: RBA Revistas. 38 - 43

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### SOLICITUD DIRIGIDA AL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR "CALAZACÓN"



Quito, 4 de febrero del 2013

Señor Doctor  
Wilson Ramírez  
Rector  
Colegio Calazacón.  
Presente.-

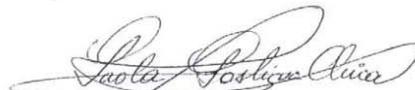
Me permito saludarle cordialmente deseándole éxitos en su gestión. A su vez, me dirijo a Usted a nombre de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad de las Américas (UDLA) con sede en Quito, institución en la que me desempeño como Coordinadora de la Carrera de Ingeniería Ambiental.

Como Usted seguramente concordará, en la formación profesional y especialmente en la Ciencias Ambientales, el sólo enunciado teórico en las aulas, no basta para la adecuada formación de los estudiantes, siendo necesaria y hasta obligatoria la complementación pragmática mediante pasantías y observaciones, estudios de casos, prácticas de campo, análisis de entorno, entre otros. En nuestras disciplinas gran parte de esos conocimientos vividos los puede encontrar el futuro profesional solamente en los establecimientos en los que se hace y se fomenta la preservación ambiental mediante la gestión integral de todos sus recursos.

Es en virtud de lo indicado anteriormente que me permito solicitar su colaboración para que la estudiante Srta. Estefanía Larreátegui, egresada de la carrera Ingeniería Ambiental, perteneciente a esta Facultad de la UDLA, pueda realizar su tesis de grado en la fase del diseño experimental en el colegio que usted acertadamente dirige.

Esperando encontrar una respuesta favorable a la presente solicitud, expreso mi sincero agradecimiento de consideración y estima personal, anticipándole nuestra colaboración interinstitucional.

Atentamente,

  
Ing. Paola Posligua Chica, MSc.  
Coordinador Ingeniería Ambiental  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias  
Tel: 023981000-023970000 ext. 277

*17/02/2013*  
*W. RAMÍREZ*  
  
RECTORADO

## ANEXO 2

### REGISTRO DE PESO DE MATERIA ORGÁNICA RECOLECTADA



### FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

*ESTUDIO COMPARATIVO EN LA PRODUCCIÓN DE DOS TIPOS DE  
COMPOST CON RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA PRE-PARROQUIA SAN  
GABRIEL DEL BABA, CANTÓN SANTO DOMINGO*

#### RECOLECCIÓN DE VEGETALES (Libras)

Casa	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	PROMEDIO (Libras)
1	3,0	3,9	2,5	2,9	3,5	2,9	3,0	3,1
2	4,5	3,5	4,0	4,9	4,1	5,0	3,9	4,3
3	4,5	4,0	4,2	4,5	4,2	4,7	5,0	4,4
4	2,5	5,9	3,6	3,8	4,0	3,3	4,7	4,0
5	3,5	4,6	3,9	2,4	3,2	3,6	4,9	3,7
6	5,1	4,3	4,7	5,8	3,8	3,9	4,1	4,5
7	4,5	3,9	4,5	5,8	4,9	4,7	3,6	4,6
8	6,2	5,3	4,5	4,6	4,2	4,1	2,1	4,4
9	5,4	4,8	3,7	5,2	5,3	4,0	5,4	4,8
10	3,8	3,7	5,4	3,5	5,7	3,7	3,2	4,1
11	3,6	4,8	4,7	4,6	4,5	2,6	2,9	4,0
12	4,7	3,2	3,9	5,0	4,0	4,8	5,1	4,4
13						3,6	4,6	4,1
<b>PROMEDIO TOTAL</b>								4,19



## FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

*ESTUDIO COMPARATIVO EN LA PRODUCCIÓN DE DOS TIPOS DE COMPOST CON RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA PRE-PARROQUIA SAN GABRIEL DEL BABA, CANTÓN SANTO DOMINGO*

### RECOLECCIÓN DE FRUTAS (Libras)

Casa	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	PROMEDIO (Libras)
1	0,5	1,1	0,3	0,6	1,0	0,4	0,9	0,7
2	0,8	1,2	0,5	0,3	0,7	1,2	1,8	0,9
3	0,6	0,3	0,6	0,9	1,2	0,7	0,7	0,7
4	0,3	1,2	0,6	0,6	0,7	1,0	1,0	0,8
5	1,3	0,4	0,3	0,5	0,6	0,9	0,6	0,7
6	0,2	0,9	0,9	0,8	0,9	0,5	0,9	0,7
7	0,4	0,6	0,1	0,8	0,8	0,6	0,9	0,6
8	0,8	1,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,7
9	0,5	0,6	0,8	0,2	0,5	1,0	0,5	0,6
10	1,1	0,3	0,9	0,7	0,7	0,6	0,2	0,6
11	0,6	0,2	1,0	0,9	0,7	0,4	0,8	0,7
12	0,4	0,8	0,5	1,2	0,6	0,8	0,5	0,7
13						0,2	0,5	0,4
<b>PROMEDIO TOTAL</b>								<b>0,70</b>

## ANEXO 3

### ANÁLISIS QUÍMICO

	<b>AGROBIOLAB - GRUPO CLINICA AGRICOLA</b> <b>Informe de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y E.C.P.</b>
	Gonzalo Zaldumbide N49-204 y César Frank Urb. Dammer 2 (El Inca) Telfs: (593-2) 241-2383 / 241-2385 Fax: (593-2) 241-3312 Quito - Ecuador Página Web: www.clinica-agricola.com E-mail: agrobiolab@clinica-agricola.com

**COMPOST**

Datos del Cliente	Referencia
Cliente : LARREATEGUI STEFANIA Propiedad: LARREATEGUI STEFANIA Cultivo : COMPOST Ingreso : 17/05/2013      Ensayo: 20/05/2013 No. Lab : Desde: 2616      Hasta : 2620	No. Doc: <b>46464</b> Emisión: 23/05/2013 Impreso: 23/05/2013 Página: 1 de 1

Nombre: MUESTRA 1

No. Lab.: 2,616

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.96	13.30	0.46	0.30	1.40	0.42	0.00	96.18	106.00	26.000	10200.00	201.00
B ppm	M. O. %	C %	Humedad %	C. E. mmho	C/N	pH					
0.26	17.48	10.13	49.59	2.41	10.56	7.70					

Nombre: MUESTRA 2

No. Lab.: 2,617

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.83	125.00	0.46	0.15	1.23	0.42	0.00	49.71	96.00	24.000	10865.00	191.00
B ppm	M. O. %	C %	Humedad %	C. E. mmho	C/N	pH					
1.56	10.40	6.03	47.14	2.48	7.26	7.60					

Nombre: MUESTRA 3

No. Lab.: 2,618

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.80	12.00	0.46	0.30	2.45	0.42	0.00	27.76	101.00	21.000	10225.00	178.00
B ppm	M. O. %	C %	Humedad %	C. E. mmho	C/N	pH					
0.16	13.03	7.55	47.49	1.94	9.44	8.00					

Nombre: MUESTRA 4

No. Lab.: 2,619

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.65	143.30	0.46	0.15	1.23	0.42	0.00	63.81	66.00	19.000	11935.00	183.00
B ppm	M. O. %	C %	Humedad %	C. E. mmho	C/N	pH					
2.41	8.50	4.93	48.74	2.60	7.58	7.80					

Nombre: MUESTRA 5

No. Lab.: 2,620

N %	NO3 ppm	P2O5 %	K2O %	CaO %	MgO %	Na %	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm
0.24	12.00	0.23	0.01	0.35	0.42	0.00	5.33	25.00	20.000	11230.00	187.00
B ppm	M. O. %	C %	Humedad %	C. E. mmho	C/N	pH					
0.10	2.37	1.37	8.63	0.12	5.72	7.20					

Símbolo decimal = (.)

Métodos: Absorción Atómica, Colorimétrica y Kjeldhal.

P (PEE/ABL/35), K (PEE/ABL/36)

Resultados corresponden a muestras analizadas, si se va a fotocopiar hacer del documento total.

**¡SU ÉXITO ES NUESTRO!**

  
 Dr. Washington A. Padilla G. Ph.D.  
 Director del Laboratorio

## ANEXO 4

### PROMEDIOS DE PARÁMETROS ANALIZADOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

#### PROMEDIOS DE TEMPERATURA (°C)

Semana #1

Lecho	Temperatura °C Día 1	Temperatura °C Día 2	Temperatura °C Día 3	Temperatura °C Día 4	Temperatura °C Día 5	Temperatura °C Día 6	Temperatura °C Día 7	PROMEDIO
A	23,5	25,0	25,0	26,5	29,0	29,5	33,0	27,4
A'	24,0	25,0	26,5	27,0	29,5	30,0	30,5	27,5
B	27,0	30,5	33,0	35,5	38,0	38,5	40,5	34,7
B'	26,0	31,0	31,0	34,0	38,5	39,5	41,0	34,4
C	36,0	36,0	36,9	37,0	38,0	39,5	42,0	37,9
C'	36,5	37,5	38,5	39,0	39,5	41	43,5	39,4
D	38,0	38,5	38	38,5	41,5	45,0	48,5	41,1
D'	37,9	38,5	38,5	39,0	45,0	49,5	53,0	43,1

Semana #2

Lecho	Temperatur a °C Día 8	Temperatur a °C Día 9	Temperatur a °C Día 10	Temperatur a °C Día 11	Temperatur a °C Día 12	Temperatur a °C Día 13	Temperatur a °C Día 14	Temperatur a °C Día 15	PROMEDI O
A	36,5	39,0	42,0	47,0	51,0	49,0	46,0	44,5	44,4
A'	34,0	38,5	40,0	45,5	50,5	48,5	47,0	45,5	43,7
B	42,0	45,5	48,5	49,5	53,0	49,5	46,5	46,0	47,6
B'	42,0	47,0	48,0	50,0	53,5	50,0	48,0	46,0	48,1
C	45,9	48,5	50,9	52,0	48,5	45,5	42,0	42,0	46,9
C'	47	50,5	50,0	50,0	47,0	43,5	42,0	41,0	46,4
D	52,5	56,0	56,5	56,0	53,5	51,5	48,5	45,0	52,4
D'	55,5	57,0	56,0	55,5	52,0	49,5	46,5	43,0	51,9

Resumen de promedios durante todo el proceso

<b>Lecho</b>	<b>Semana</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>A</b>	27,4	44,4	38,7	36,7	30,7	25,7	23,3
<b>A'</b>	27,5	43,7	39,8	35,5	30,5	24,3	22,0
<b>B</b>	34,7	47,6	39,8	35,7	28,8	28,8	22,0
<b>B'</b>	34,4	48,1	41,3	36,0	28,7	24,7	21,7
<b>C</b>	37,9	46,9	38,3	36,6	25,3	25,0	23,0
<b>C'</b>	39,4	46,4	37,5	36,2	25,0	24,7	22,5
<b>D</b>	41,1	52,4	40,0	37,0	25,3	25,3	23,7
<b>D'</b>	43,1	51,9	39,0	36,8	25,0	24,7	22,7

### PROMEDIOS DE pH

Lecho	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
A	6,4	8,4	8,4	8,3	8,2	7,9	7,7
A'	6,4	8,3	8,2	8,3	8,1	8,1	7,9
B	6,2	8,1	8,1	8,0	8,1	7,7	7,7
B'	6,2	8,0	7,9	8,0	8,2	7,9	7,9
C	6,0	7,8	8,0	7,8	7,7	7,8	7,8
C'	5,9	7,8	8,1	7,9	7,9	8,0	8,1
D	5,9	7,7	7,9	7,9	7,8	7,7	7,7
D'	5,8	7,5	8,0	7,8	7,7	7,7	7,9

### PROMEDIOS DE HUMEDAD (%)

Lecho	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
A	58,48	56,83	54,40	52,99	52,52	51,26
A'	56,25	54,79	53,14	53,37	51,52	50,41
B	55,76	52,67	52,52	51,44	51,21	50,96
B'	55,05	53,30	52,45	51,59	51,75	50,73
C	53,69	52,52	51,44	51,13	50,38	50,75
C'	53,93	52,21	51,52	51,29	51,06	50,53
D	52,83	51,90	51,52	51,06	50,60	50,38
D'	52,21	51,90	51,13	50,83	50,68	50,88

### PROMEDIOS DE DENSIDAD (g/mL)

Lecho	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
A	0,55	0,59	0,58	0,63	0,68	0,70
A'	0,54	0,59	0,62	0,62	0,60	0,66
B	0,55	0,59	0,65	0,65	0,67	0,68
B'	0,55	0,58	0,64	0,65	0,66	0,70
C	0,57	0,59	0,59	0,63	0,64	0,69
C'	0,60	0,61	0,62	0,64	0,65	0,67
D	0,58	0,63	0,63	0,64	0,67	0,69
D'	0,57	0,62	0,66	0,67	0,66	0,68

## ANEXO 5

### PRUEBA DE CORRELACIÓN

Se utilizó la fórmula del coeficiente de correlación de rangos de Spearman:

$$r_s = 1 - ((6\sum d^2) \div (n(n^2 - 1)))$$

Dónde:

$r_s$  = coeficiente de correlación de rangos de Spearman

$\sum d^2$  = sumatoria de la diferencia de rangos al cuadrado

n = número de pares de observaciones

#### Cálculo del coeficiente de correlación de temperatura – humedad

Para el cálculo de éste coeficiente, n = 6.

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos	Dif. Rangos
			Temperatura	Humedad	d	d <sup>2</sup>
A	44,38	58,48	6	6	0	0
	38,67	56,83	5	5	0	0
	36,67	54,4	4	4	0	0
	30,67	52,99	3	3	0	0
	25,67	52,52	2	2	0	0
	23,33	51,26	1	1	0	0
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 1$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
A'	43,69	56,25	6	6	0	0
	39,83	54,79	5	5	0	0
	35,50	53,14	4	3	1	1
	30,50	53,37	3	4	-1	1
	24,33	51,52	2	2	0	0
	22,00	50,41	1	1	0	0
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 2$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,94$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
B	47,56	55,76	6	6	0	0
	39,83	52,67	5	5	0	0
	35,67	52,52	4	4	0	0
	28,83	51,44	3,5	3	0,5	0,25
	28,83	51,21	3,5	2	1,5	2,25
	22,00	50,96	1	1	0	0
					$\Sigma = 2$	$\Sigma = 2,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,93$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
B'	48,06	55,05	6	6	0	0
	41,33	53,3	5	5	0	0
	36,00	52,45	4	4	0	0
	28,67	51,59	3	2	1	1
	24,67	51,75	2	3	-1	1
	21,67	50,73	1	1	0	0
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 2$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,94$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
C	46,91	53,69	6	6	0	0
	38,33	52,52	5	5	0	0
	36,63	51,44	4	4	0	0
	25,33	51,13	3	3	0	0
	25,00	50,38	2	1	1	1
	23,00	50,75	1	2	-1	1
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 2$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,94$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
C'	46,38	53,93	6	6	0	0
	37,50	52,21	5	5	0	0
	36,17	51,52	4	4	0	0
	25,00	51,29	3	3	0	0
	24,67	51,06	2	2	0	0
	22,50	50,53	1	1	0	0
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 1$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
D	52,44	52,83	6	6	0	0
	40,00	51,9	5	5	0	0
	37,00	51,52	4	4	0	0
	25,33	51,06	3	3	0	0
	25,33	50,6	2	2	0	0
	23,67	50,38	1	1	0	0
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 1$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
D'	51,88	52,21	6	6	0	0
	39,00	51,9	5	5	0	0
	36,83	51,13	4	4	0	0
	25,00	50,83	3	3	0	0
	24,67	50,68	2	2	0	0
	22,67	50,88	1	1	0	0
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 1$ .

## Cálculo del coeficiente de correlación de temperatura – pH

Para el cálculo de éste coeficiente,  $n = 7$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
A	27,36	6,4	3	1	2	4
	44,38	8,4	7	6,5	0,5	0,25
	38,67	8,4	6	6,5	-0,5	0,25
	36,67	8,3	5	5	0	0
	30,67	8,2	4	4	0	0
	25,67	7,9	2	3	-1	1
	23,33	7,7	1	2	-1	1
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 6,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,97$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
A'	27,50	6,4	3	1	2	4
	43,69	8,3	7	6,5	0,5	0,25
	39,83	8,2	6	5	1	1
	35,50	8,3	5	6,5	-1,5	2,25
	30,50	8,1	4	3,5	0,5	0,25
	24,33	8,1	2	3,5	-1,5	2,25
	22,00	7,9	1	2	-1	1
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 11$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,97$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
B	34,71	6,2	4	1	3	9
	47,56	8,1	7	6,5	0,5	0,25
	39,83	8,1	6	6,5	-0,5	0,25
	35,67	8,0	5	4	1	1
	28,83	8,1	3,5	5	-1,5	2,25
	28,83	7,7	3,5	2,5	1	1
	22,00	7,7	1	2,5	-1,5	2,25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 16$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,95$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
B'	34,43	6,2	4	1	3	9
	48,06	8,0	7	5,5	1,5	2,25
	41,33	7,9	6	4	2	4
	36,00	8,0	5	5,5	-0,5	0,25
	28,67	8,2	3	7	-4	16
	24,67	7,9	2	2,5	-0,5	0,25
	21,67	7,9	1	2,5	-1,5	2,25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 34$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,90$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
C	37,91	6,0	5	1	4	16
	46,91	7,8	7	5,5	1,5	2,25
	38,33	8,0	6	7	-1	1
	36,63	7,8	4	5,5	-1,5	2,25
	25,33	7,7	3	2	1	1
	25,00	7,8	2	3,5	-1,5	2,25
	23,00	7,8	1	3,5	-2,5	6,25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 31$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,91$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
C'	39,36	5,9	6	1	5	25
	46,38	7,8	7	2	5	25
	37,50	8,1	5	6,5	-1,5	2,25
	36,17	7,9	4	3,5	0,5	0,25
	25,00	7,9	3	3,5	-0,5	0,25
	24,67	8,0	2	5	-3	9
	22,50	8,1	1	6,5	-5,5	30,25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 92$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,73$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
D	41,14	5,9	6	1	5	25
	52,44	7,7	7	3,5	3,5	12,25
	40,00	7,9	5	6,5	-1,5	2,25
	37,00	7,9	4	6,5	-2,5	6,25
	25,33	7,8	2,5	5	-2,5	6,25
	25,33	7,7	2,5	2	0,5	0,25
	23,67	7,7	1	3,5	-2,5	6,25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 58,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,83$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
D'	43,06	5,8	6		6	36
	51,88	7,5	7	2	5	25
	39,00	8,0	5	7	-2	4
	36,83	7,8	4	5	-1	1
	25,00	7,7	3	3,5	-0,5	0,25
	24,67	7,7	2	3,5	-1,5	2,25
	22,67	7,9	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 93,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = 0,72$ .

## Cálculo del coeficiente de correlación de temperatura – densidad

Para el cálculo de éste coeficiente,  $n = 6$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
A	44,38	0,55	6	1	5	25
	38,67	0,59	5	3	2	4
	36,67	0,58	4	2	2	4
	30,67	0,63	3	4	-1	1
	25,67	0,68	2	5	-3	9
	23,33	0,70	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 68$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = -0,94$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
A'	43,69	0,54	6	1	5	25
	39,83	0,59	5	2	3	9
	35,50	0,62	4	4,5	-0,5	0,25
	30,50	0,62	3	4,5	-1,5	2,25
	24,33	0,60	2	3	-1	1
	22,00	0,66	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 62,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = -0,79$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
B	47,56	0,55	6	1	5	25
	39,83	0,59	5	2	3	9
	35,67	0,65	4	3,5	0,5	0,25
	28,83	0,65	3,5	3,5	0	0
	28,83	0,67	3,5	5	-1,5	2,25
	22,00	0,68	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 61,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = -0,76$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
B'	48,06	0,55	6	1	5	25
	41,33	0,58	5	2	3	9
	36,00	0,64	4	3	1	1
	28,67	0,65	3	4	-1	1
	24,67	0,66	2	5	-3	9
	21,67	0,70	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 70$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = -1$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
C	46,91	0,57	6	1	5	25
	38,33	0,59	5	2,5	2,5	6,25
	36,63	0,59	4	2,5	1,5	2,25
	25,33	0,63	3	4	-1	1
	25,00	0,64	2	5	-3	9
	23,00	0,69	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 68,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = -0,96$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
C'	46,38	0,60	6	1	5	25
	37,50	0,61	5	2	3	9
	36,17	0,62	4	3	1	1
	25,00	0,64	3	4	-1	1
	24,67	0,65	2	5	-3	9
	22,50	0,67	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 70$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = -1$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
D	52,44	0,58	6	1	5	25
	40,00	0,63	5	2,5	2,5	6,25
	37,00	0,63	4	2,5	1,5	2,25
	25,33	0,64	3	4	-1	1
	25,33	0,67	2	5	-3	9
	23,67	0,69	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 68,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = -0,96$ .

Lecho	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Rango		Dif. Rangos d	Dif. Rangos d <sup>2</sup>
			Temperatura	Humedad		
D'	51,88	0,57	6	1	5	25
	39,00	0,62	5	2	3	9
	36,83	0,66	4	3,5	0,5	0,25
	25,00	0,67	3	5	-2	4
	24,67	0,66	2	3,5	-1,5	2,25
	22,67	0,68	1	6	-5	25
					$\Sigma = 0$	$\Sigma = 65,5$

De acuerdo a la fórmula,  $r_s = -0,87$ .

## ANEXO 6

### PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE SAN GABRIEL DEL BABA A 25 AÑOS

La fórmula utilizada para la proyección de la población es la desarrollada por el INEC:

$$P_{i+n} = P_i (1+Tc)^n$$

Donde:

$P_{i+n}$  = Población proyectada en x años

$P_i$  = Población inicial

Tc = Tasa de crecimiento

n = número de años

Mediante la aplicación de la fórmula se obtuvieron los siguientes resultados:

Año (n)	Fórmula	Población inicial	Tc (%)	(1+tc)	(1+tc) <sup>n</sup>	Proyección del número de habitantes
1	$P=P_i(1+tc)^n$	3.232	2,76	1,0276	1,00	3.232
5	$P=P_i(1+tc)^n$	3.232	2,76	1,0276	1,15	3.703
10	$P=P_i(1+tc)^n$	3.232	2,76	1,0276	1,31	4.243
15	$P=P_i(1+tc)^n$	3.232	2,76	1,0276	1,50	4.862
20	$P=P_i(1+tc)^n$	3.232	2,76	1,0276	1,72	5.571
25	$P=P_i(1+tc)^n$	3.232	2,76	1,0276	1,98	6.384