



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA DE REDUCCION Y TRATAMIENTO DE
RESIDUOS SOLIDOS NO PELIGROSOS APLICABLES A LA EDUCACION AMBIENTAL
EN LA UNIDAD EDUCATIVA FISCAL RUMIÑAHUI

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

Profesor Guía
Ing. Martha Pazmiño

Autora
Solange Cevallos Guerrero

Año
2014

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”

Martha Elizabeth Pazmiño Montero

Ingeniera Civil

C.I 1708618036

DECLARACION DE AUTORIA 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.”

Solange Cevallos Guerrero

C.I.: 1716256555

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado unos padres que me permitieron crecer en un hogar lleno de amor y respeto. A mis padres por enseñarme a luchar por mis sueños y ser el pilar fundamental en mi crecimiento profesional así como personal. A mi tutora, Ing. Martha Pazmiño, por su guía en el presente trabajo. Un agradecimiento especial a los docentes que me permitieron llegar a este punto de mi carrera, de manera especial al Ing. Carlos Banchon por su colaboración y entrega hacia el presente trabajo. A la Unidad Educativa Rumiñahui y su directora, Lic. Cristina Barajas, por su interés para el desarrollo del presente programa.

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y esfuerzo a mis padres y hermano, pilares fundamentales de mi vida, a ellos porque gracias a su esfuerzo y apoyo han sido el soporte necesario para todas las etapas que he superado, empujándome siempre hacia el cumplimiento de todos mis objetivos y ayudándome a ser mejor persona día tras día. A todas las personas que con su cariño y atención se han mantenido pendientes de mi avance en el presente proyecto. A toda la comunidad educativa de la escuela Rumiñahui porque gracias a su colaboración y empeño, el presente programa pudo ser realizado.

RESUMEN

El manejo de los residuos sólidos se viene convirtiendo en una tendencia a nivel mundial para minimizar los impactos existentes de la sociedad hacia el ambiente. A nivel nacional, los municipios son los encargados de la gestión de residuos sólidos, existen campañas de concientización hacia la comunidad en general pero no existe una ciudad en la que se hayan probado otros métodos para minimizar la generación de residuos.

El presente estudio implementa un programa de tratamiento de residuos sólidos no peligrosos en una escuela fiscal ubicada en Sangolquí. El desarrollo de esta propuesta se da mediante el tratamiento separado de residuos inorgánicos e orgánicos.

La producción de compost será el destino de los residuos sólidos orgánicos, se experimentará de dos maneras: a pila abierta y en reactores. La finalidad de probar dos diferentes métodos es la forma en la cual los parámetros de control serán medidos; debido a que el programa se realiza en instituciones, muchas de ellas no cuentan con laboratorios especializados en los análisis necesarios. El compostaje en reactores tendrá un diseño experimental completamente aleatorio 2^2 , mientras que el compostaje a pila abierta se lo realizará de manera tradicional.

El tratamiento que se brindará a los residuos sólidos inorgánicos será el de las 3R, reducción, reutilización y reciclaje. Los materiales destinados al reciclaje serán el papel, cartón y plástico. La reutilización se la realizará a través de manualidades que los estudiantes fabricarán dentro de una materia perteneciente al pensum académico.

Además de contribuir a la reducción de residuos sólidos, durante todo el tiempo que el programa sea implementado los estudiantes recibirán capacitaciones y se impartirá educación ambiental a toda la comunidad educativa, con la finalidad de extenderse hacia sus hogares y hacerlos partícipes de este proyecto.

ABSTRACT

Solid Waste Management has become a worldwide practice to minimize the impact of society on the environment.

In our nation, each municipality is in charge of managing solid waste. Campaigns to raise awareness and educate communities about this issue have been put in place, but no other methods have ever been used to actually reduce the creation of solid waste.

This study implements a non-hazardous solid waste treatment program in a Public School in Sangolqui. The proposal will be developed by separating organic and inorganic waste.

Solid organic waste will be transformed into compost by using the following methods: Pit Composting and Holding Units.

The reason for using two different methods is the way in which quality controls will be measured, since the program will be conducted in institutions that lack of the necessary laboratories for the analysis. The Holding Unit Composting method will have a complementary random experimental design called 2^2 , while the Pit Composting method will have a traditional design.

The treatment developed for inorganic solid waste will be the 3-R's Method: Reduce, Reuse, and Recycle. Paper, cardboard, and plastic will be the only materials allowed for recycle. Reuse will be implemented through Manual-Art Workshops that students will participate in.

Besides reducing solid waste while the study lasts, students and staff members will be educated about environmental matters in order to create awareness and spread information and knowledge to their communities.

INDICE

Introducción.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Residuos sólidos	4
1.1.1 Residuos sólidos urbanos	6
1.1.1.1 Propiedades físicas	6
1.1.1.2 Propiedades químicas.....	7
1.1.1.3 Propiedades biológicas	8
1.1.2 Residuos orgánicos	9
1.1.3 Residuos inorgánicos.....	10
1.1.3.1 Papel.....	10
1.1.3.2 Cartón	11
1.1.3.3 Plástico	12
1.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGANICOS	13
1.2.1 Residuos orgánicos como fuente de alimento para animales	13
1.2.2 Compostaje.....	14
1.2.2.1. Compostaje aerobio y anaerobio	14
1.2.2.3 Beneficios del compost	14
1.2.3 Sistemas de compostaje	15
1.2.4 Factores que condicionan el proceso del compostaje	15
1.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS INORGANICOS.....	17
1.4 EDUCACION AMBIENTAL.....	18
1.4.1 Niveles de educación ambiental	19
1.5 MARCO LEGAL Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL	21
2. ZONA DE ESTUDIO	23
2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	23
2.1.1 Ubicación y estructura.....	23
2.1.2 Recursos humanos	25
2.2 INFORMACIÓN PRELIMINAR	26
2.2.1 Almacenamiento de los residuos	26

2.2.2 Método inicial de recolección	27
2.2.3 Campañas de reciclaje	27
2.2.4 Cronograma de actividades	27
3. METODOLOGIA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	28
3.1 IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA	29
3.1.1 Primera fase: Estudios preliminares	30
3.1.2 Segunda fase: Capacitación a comunidad educativa	32
3.1.3 Tercera fase: Formación de equipos de trabajo.....	34
3.1.4 Cuarta fase: Gestión de residuos sólidos.....	36
3.1.5 Quinta fase: Monitoreo.....	36
3.2 REDUCCION DE RESIDUOS ORGÁNICOS	37
3.2.1 Compostaje a pila abierta	37
3.2.1.1 Recolección de materia orgánica y formación de la pila	38
3.2.1.2 Parámetros a analizar	40
3.2.1.3 Volteo del montón.....	41
3.2.2 Compostaje en reactores	42
3.2.2.1 Diseño de lechos de compostaje	43
3.2.2.2 Armado de los lechos de compostaje.....	45
3.2.3 Temperatura del compostaje	47
3.2.4 pH del compostaje	48
3.2.5 Control de la densidad	48
3.2.6 Control de la humedad.....	48
3.2.7 Relación C/N.....	49
3.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS ..	49
3.4 PESAJE FINAL, REDUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE	
RESIDUOS SÓLIDOS	49
4. Resultados	51
4.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS.....	51
4.1.1 Producción diaria y pesaje semanal inicial.....	51
4.1.2 Caracterización de residuos.....	52
4.1.3 Generación per-cápita de residuos	53

4.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	54
4.2.1 Compostaje a pila abierta	54
4.2.2 Compostaje en reactores	56
4.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS ..	61
4.3.1 Reciclaje	61
4.3.2 Reutilización.....	62
4.4 PESAJE FINAL, REDUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS	62
4.4.1 Pesaje final	62
4.4.2 Reducción de residuos orgánicos	63
4.4.3 Aprovechamiento de residuos inorgánicos	64
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
5.1 Análisis de la producción inicial y caracterización de residuos sólidos	64
5.2 Análisis de los procesos de educación ambiental aplicados a los diferentes grados de la escuela	65
5.2.1 Alumnos de primero, segundo y tercer año de educación básica.....	65
5.2.2 Alumnos de cuarto y quinto año de educación básica	66
5.2.3 Alumnos de sexto y séptimo año de educación básica.....	67
5.3 Análisis del tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el compostaje	69
5.3.1 Discusión sobre la experimentación de compostaje a pila abierta realizada en la institución.....	69
5.3.2 Discusión sobre la experimentación de compostaje en reactores	76
5.4 Análisis del tratamiento de residuos sólidos inorgánicos mediante el reciclaje y la reutilización	89
5.5 Análisis de la reducción de residuos sólidos orgánicos al final de la implementación del programa	91
5.5 Análisis del aprovechamiento de residuos sólidos inorgánicos al final de la implementación del programa	94
5.5.1 Esquema final del programa de tratamiento y reducción de residuos sólidos no peligrosos	97

5.6 Análisis costo/beneficio	99
5.6.1 Costos de implementación	99
5.6.2 Beneficios de la implementación	100
6. Conclusiones y recomendaciones	102
6.1 Conclusiones.....	102
6.2 Recomendaciones	104
REFERENCIAS.....	106
ANEXOS	111

Introducción

El manejo de residuos sólidos se ha convertido en un problema de saneamiento ambiental a nivel mundial. La producción y consumo por parte de los seres humanos es la razón para la generación de gran cantidad de residuos que, si no obtienen un tratamiento adecuado, posteriormente se convertirán en basura.

Algunos países del continente Europeo han optado por programas de capacitación a la ciudadanía sobre el manejo de residuos sólidos, así también como implementar sanciones a quienes no son partícipes de los programas de gestión de residuos. A pesar de que existen naciones que aplican los métodos de sanción, en Europa el problema de la producción, falta de tratamiento y disposición final de residuos aqueja a los ciudadanos y causa graves problemas en el ambiente.

A nivel de Latinoamérica el panorama es similar, existe un gran problema en cuanto al tratamiento y disposición final de los residuos. Algunos estudios indican que con políticas públicas y programas educativos se puede lograr conciencia a nivel de los ciudadanos. Actualmente México se encuentran realizando programas para lograr reducción en la fuente, aprovechamiento y valorización, tratamiento y transformación y disposición final adecuada (Medina, 2013).

En cuanto al Ecuador el problema de los residuos sólidos recae sobre los municipios, sin embargo en los últimos años las escuelas han tomado la iniciativa de recaudar botellas plásticas, papel y cartón para entregarlo a gestores y obtener beneficios económicos para usarlos en obras escolares.

La Unidad Educativa Fiscal Rumiñahui se encuentra ubicada en el Cantón que lleva su mismo nombre, al sur de la provincia de Pichincha, específicamente en su cabecera cantonal Sangolquí, cuenta con un área de terreno de 23 117.17 m² y el propietario vigente es el municipio de Rumiñahui.

Actualmente la escuela municipal no cuenta con programas enfocados al correcto aprovechamiento de residuos sólidos no peligrosos, sin embargo

recolecta las botellas plásticas PET para venderlas a un gestor determinado y de esta manera obtener fondos para financiar obras escolares. Poseen espacio verde que es utilizado por un colegio agropecuario de la ciudad, el cual realiza proyectos de cultivo de plantas. Dentro del plan educativo no existe un programa que incluya educación ambiental.

La razón de ejecutar un programa de gestión integral enfocados en la reducción y tratamiento de residuos sólidos no peligrosos en la escuela fiscal, es desarrollar a través del aporte de las autoridades y alumnos el manejo adecuado de los residuos que se producen en la institución.

El trabajo con los niños que asisten a la institución educativa permitirá manejar de forma correcta los residuos sólidos a partir de la realización del programa y de la educación ambiental implementada en la escuela. El programa permitirá que los niños de primer, segundo y tercer año de educación básica identifiquen los recipientes destinados a los diferentes tipos de residuos, los niños de cuarto y quinto año de educación básica realicen clasificación *in situ* y los niños de sexto y séptimo año de educación básica aprovechen los dos tipos de residuos, orgánicos e inorgánicos.

La inexistencia de un programa de gestión de residuos sólidos no permite que los desechos generados en la institución sean gestionados de manera integral, y de esta manera contribuye al aumento de la producción de los mismos.

Al aprovechar los residuos generados en la escuela, se disminuirá la cantidad y tendrán un uso adecuado de acorde a sus propiedades, tanto físicas como químicas.

Debido a que en la escuela municipal aún no existe un programa de manejo de residuos enfocado hacia el aprovechamiento de los mismos ni tampoco de educación ambiental, este proyecto se enfocará para poder realizarlo como pionero en el Cantón Rumiñahui.

Gracias al gobierno actual, las diferentes instituciones educativas deben cumplir con ciertos planes de desarrollo dentro de su pensum académico para

poder ser “Escuelas del Buen Vivir”. Entre los diferentes proyectos que se proponen a ser desarrollados durante el año lectivo, aquellos en los que intervenga la conservación del medio ambiente o en su defecto, que disminuyan el impacto ambiental, son considerados excelentes para ser implementados y para que la comunidad educativa forme parte activa de los mismos.

Objetivo general

Implementar un programa de reducción y aprovechamiento de residuos sólidos no peligrosos que sean aplicables a la educación ambiental en la Escuela Fiscal Rumiñahui.

Objetivos específicos

1. Ejecutar el programa de reducción y tratamiento mediante tres procesos aplicados a diferentes grados de la escuela.
2. Reducir en un 30% la cantidad de residuos orgánicos producidos mediante la elaboración de compost.
3. Aprovechar a través del reciclaje el 40% de residuos inorgánicos producidos en la institución.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Residuos sólidos

Se llama residuos sólidos a los restos que provienen de actividades humanas y animales; la principal característica de éstos es que muchas veces son considerados sin valor (Tchobanoglous, Theisen y Vigil, 1994, p.16). Los residuos sólidos son material restante de diferentes procesos productivos, de transformación o consumo. Existen diferentes procesos y tratamientos que permitirán a los residuos sólidos, ya considerados como basura, darles un fin distinto.

Existen diferentes clases de residuos sólidos, entre las principales clases se encuentran:

Tabla1. Tipos de residuos sólidos

Tipo de residuo	Características	Referencia
Doméstico y comercial	Residuos producidos en zonas residenciales y en establecimientos comerciales. A este tipo de residuos también se los conoce como Residuos Sólidos Urbanos	Colomer y Gallardo, 2010, pp. 9
Institucionales	Proviene de centros gubernamentales, escuelas, cárceles, e instituciones que impliquen un mayor número de personas.	Colomer y Gallardo, 2010, pp. 9

Tipo de residuo	Características	Referencia
Construcción y demolición	Estos residuos tienen como característica principal la gran cantidad de material que generan, son el resultado de la creación o el derrocamiento de una obra de ingeniería.	Colomer y Gallardo, 2010, pp. 9
Agrícolas	Producidos en el entorno natural, es decir en el ambiente, por lo general están compuestos por plantas, residuos de animales, entre otros	Cuadros, 2008, p.8
Industriales	Residuos generados específicamente en este sector, son el resultado de la producción.	TULAS Libro VI Anexo 6, 2008, p.433
Peligrosos	Tipo de residuo que posee características corrosivas, tóxicas, reactivas, inflamables, entre otras, que representan un problema y una amenaza para la salud y ambiente, así como también para el equilibrio ecológico	TULAS Libro VI Anexo 6, 2008, p.433

1.1.1 Residuos sólidos urbanos

Gaggero E. y Ordoñez M. definen a los residuos sólidos urbanos como:

“desechos generados en la comunidad urbana, provenientes de los procesos de consumo y desarrollo de las actividades humanas, y que normalmente son sólidos a temperatura ambiente. Además de los producidos por los usos residenciales, comerciales e institucionales, y por el aseo del espacio público, los RSU también incluyen los residuos originados en las industrias y establecimientos de salud, siempre que no tengan características tóxicas ni peligrosas, en cuyo caso constituyen corrientes de residuos de otro tipo que deben ser manejadas según lo establecen las normas específicas” (Gaggero y Ordoñez, 2002, p.11). Los residuos sólidos urbanos se dividen en dos grandes grupos, orgánicos e inorgánicos. Las propiedades de los residuos sólidos urbanos no difieren de los residuos sólidos en general, sin embargo existen propiedades físicas, químicas y biológicas que caracterizan a éstos residuos, tales como:

1.1.1.1 Propiedades físicas

Se refiere a características físicas tales como: peso específico, contenido de humedad, tamaño de partícula, capacidad de campo y porosidad de los residuos compactados.

Tabla 2. Propiedades físicas de los residuos sólidos y sus características

Propiedad física	Características
Peso específico	Se puede definir como el peso de un material por unidad de volumen, se lo mide en kg/m^3 .
Contenido de humedad	Puede ser expresado de dos maneras: método de medición peso-húmedo y peso-seco, la diferencia radica en que en el primero la humedad se muestra como porcentaje, en el segundo el peso seco del material es expresado como porcentaje.
Tamaño de partícula	Se toma en cuenta este tipo de propiedad para la recuperación de los materiales y el tipo de tratamiento que se los debe brindar.
Capacidad de campo	Cantidad total de humedad a ser retenida por una muestra de los residuos por el efecto de la gravedad.
Permeabilidad	Conductividad hidrológica de los residuos compactados, se refiere al movimiento de líquidos y gases dentro del botadero.

Adaptado de Tchobanoglous et al., 1994, pp. 81-100.

1.1.1.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los residuos sólidos urbanos son características que permitirán evaluar las diferentes opciones de tratamiento y recuperación que se podrá dar a los mismos. Entre las principales están:

Tabla 3. Propiedades químicas de los residuos sólidos

Propiedad química	Características
Análisis físico	Para realizarlo se necesita conocer la humedad, la materia volátil combustible, el carbono fijo y la ceniza presentes en los residuos.
Punto de fusión de la ceniza	Es la temperatura en la que la ceniza, resultante de la incineración de los residuos, puede ser transformada en sólido debido a la fusión y a la aglomeración
Análisis elemental de los componentes	Se refiere a determinar el porcentaje de carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, azufre y ceniza.
Contenido energético de los componentes	Se puede determinar mediante una caldera a escala real, bomba calorímetro de laboratorio o mediante cálculos.
Nutrientes esenciales	Este tipo de análisis es necesario para los productos que se pueden obtener de los residuos orgánicos, es decir el análisis de nutrientes y propiedades netas del compost, metanol, etanol, entre otros.

Adaptado de Tchobanoglous et al., 1994, pp. 81-100.

1.1.1.3 Propiedades biológicas

Entre las propiedades específicas más importantes de los residuos sólidos, es que casi todos los compuestos pueden ser transformados biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos relativamente inertes. Pero existen otras propiedades relevantes como:

Tabla 4. Propiedades biológicas de los residuos sólidos

Propiedad biológica	Características
Biodegradabilidad de los componentes de los residuos orgánicos	Se refiere a la velocidad con la que los diferentes componentes pueden ser degradados, este cálculo se lo puede llevar a cabo mediante la exposición a altas temperaturas de los sólidos volátiles.
Producción de olores y vectores	Se producen olores desagradables y vectores cuando los residuos son almacenados en un mismo lugar durante un largo período de tiempo, esta propiedad aumenta según las condiciones a los que estén expuestos, como por ejemplo el clima, las medidas aplicadas al almacenamiento entre otros

Adaptado de Tchobanoglous et al., 1994, pp. 81-100.

1.1.2 Residuos orgánicos

Son los residuos que tienen su origen en los animales, vegetales o seres vivos. Es el material originado en el “ciclo vital” y la consecuencia de procesos fisiológicos o productos de la explotación del ser humano a los recursos bióticos (Sztern y Pravia, 1999, pp. 11-12). Los residuos orgánicos también son llamados biodegradables, son aquellos que pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia, como ejemplo se tiene a los restos alimenticios, restos del jardín entre otros (Moreno y Moral, 2008, p.11).

Tabla 5. Fuente de residuos sólidos orgánicos

Fuente	Tipo de residuos
Actividad agropecuaria	Restos vegetales de cosechas y cultivos, restos de podas, frutas, etc. Restos animales como estiércoles, desechos de faena.
Actividad agroindustrial	Materia prima, productos obtenidos.
Industria láctea	Suero de manteca, quesería.
Industria frigorífica	Faena de ovinos, bovinos, aves de corral, etc. vísceras, huesos, harinas, cueros, plumas, entre otros.
Industria cerealera	Arroz, trigo, maíz, cebada, avena, leguminosas, cáscaras, etc.
Industria aceitera y granos oleaginosos	Torta, cáscaras, fibra, harinas.
Industria forestal	Corteza, costaneros, serrines.

Adaptado de Sztern y Pravia, 1999, pp. 11-12.

1.1.3 Residuos inorgánicos

Los residuos sólidos inorgánicos son aquellos que han pasado por algún proceso de transformación y han perdido sus propiedades iniciales, convirtiéndolos en productos de consumo humano. Existen diferentes tipos de residuos inorgánicos, pero entre los que van a ser tratados y reducidos se encuentran:

1.1.3.1 Papel

El papel puede ser definido como una hoja constituida por fibras celulósicas, de origen natural, afieltradas y entrelazadas. Sufre una serie de procedimientos entre los cuales están: preparación de las pastas, formación de la hoja, prensado en húmedo, secado, estucado, acabado (Torraspapel, 2000, p.3).

El papel puede ser clasificado de la siguiente manera:

Tabla 6. Tipos de papel

Tipo de papel	Características
Papel de fibra virgen	Tipo de papel que ha sido fabricado a partir de fibras vegetales madereras o no madereras, por primera vez.
Papel reciclado	Tipo de papel elaborado con las fibras recuperadas de otros tipos de papel o cartón, en su proceso se ahorra agua energía y materia prima.
Papel ecológico	Papel que en su proceso de fabricación se han tomado en cuenta factores como agua, electricidad, entre otras para reducir el impacto ambiental.
Papel de prensa	Papel que en su fabricación se utilizan pasta mecánica mezclada y otras fibras, su uso se lo da en los diarios o periódicos.
Papel higiénico y sanitario	Tipo de papel elaborado de fibra virgen, de papel recuperado o de ambos. Es utilizado en la higiene personal.

Adaptado de Vidasostenible, 2010, pp 3-4.

1.1.3.2 Cartón

Entre los diferentes tipos de cartón, los principales se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Cartón y su clasificación

Tipo de cartón	Características
Cartón ondulado	El cartón ondulado es la fuente más grande de papel residual para el reciclaje, el cartón ondulado se utiliza para fabricar material que servirá para las nuevas cajas de cartón.
Cartón gris	Elaborado con fibras de papel recuperado.
Cartón compacto	Elaborado a partir de papel recuperado y de kraft, tipo de cartón muy resistente

Adaptado de Vidasostenible, 2010, pp 3-4

1.1.3.3 Plástico

Existen diferentes tipos de plástico, entre los principales se encuentran:

Tabla 8. Tipos de plástico en la industria

Siglas	Nombre	Usos
PET	Tereftalato de Polietileno	Envases de bebidas gaseosas: jugos, jarabes, aceites comestibles, etc.
PEAD (HDPE)	Polietileno de alta densidad	Envases de leche, detergentes, tanques de agua, etc.
PVC	Policloruro de vinilo	Tuberías de agua, desagües, bolsas de sangre, aceites, etc.
PEBD (LDPE)	Polietileno de baja calidad	Usos agrícolas, bolsas para basura, etc.
PP	Polipropileno	Industria automotriz, films para protección de alimentos, pañales, etc.

Siglas	Nombre	Usos
PS	Poliestireno	Envases de alimentos congelados, juguetes, etc.
Otros	Resinas epoxídica, Fenólicas, Amídicas, Poliuterano	Adhesivos e industria plástica, espuma colchones, rellenos tapicería, etc.

Adaptado de: Colomer y Gallardo, 2010, p.183.

1.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGANICOS

Existen varios procesos que pueden ser llevados a cabo con los residuos orgánicos, se deben tomar en cuenta ciertos aspectos para definir el tipo de tratamiento que se brindará a éstos residuos. Entre los aspectos principales a considerar, se encuentran: las características de los residuos, condiciones económicas, disposición de espacio entre otros (Sztern et al., 1999, p.13). Los tratamientos que se les puede brindar a los residuos orgánicos son:

- Fuente de alimento animal.
- Residuos orgánicos como fuente energética
- Residuos como fuente de abono

Los tratamientos que se llevarán a cabo en el programa de reducción y tratamiento serán los residuos orgánicos como fuente de alimento para animales y como fuente para la elaboración de tipos de abono, en este caso compost.

1.2.1 Residuos orgánicos como fuente de alimento para animales

Este tipo de tratamiento se refiere exclusivamente a utilizar los residuos orgánicos como alimento de los animales de granja o del ganado.

1.2.2 Compostaje

El compostaje es un proceso de tratamiento/estabilización de los residuos orgánicos mediante actividad microbiológica completa, llevada a cabo en condiciones controladas (Bueno, 2010, p.43).

Se puede clasificar a los tipos de compostaje de la siguiente manera:

1.2.2.1. Compostaje aerobio y anaerobio

- **Compostaje aerobio.-** Este proceso se da por medio de la presencia de oxígeno, para elevar las temperaturas y de esta manera eliminar bacterias y patógenos presentes en los residuos. Entre las características principales de este tipo de compostaje están el corto tiempo en que se dará el proceso (2 meses), si las condiciones son adecuadas, y la presencia reducida de malos olores (Rodríguez y Córdova, 2006, pp.32-33).
- **Compostaje anaerobio.-** Denominado también compostaje lento, se lo da en la ausencia de oxígeno. Este tipo de compostaje se lo realiza para la obtención de metano y tarda entre 6 y 12 meses (Rodríguez y Córdova, 2006, pp.32-33).

1.2.2.3 Beneficios del compost

- Mejora la fertilidad del suelo: Las bondades que brinda el compost permiten que los suelos permanezcan fértiles aún pasada la producción de cultivos, brindando al suelo las condiciones de humedad, nutrientes, acidez, temperatura, ayudando a aumentar la cantidad de materia orgánica.
- Control de la erosión: Protege el suelo mediante la absorción de las gotas de lluvia, aumenta la porosidad del suelo y la escorrentía es reducida.

- Aporta humedad y nutrientes: La humedad y los nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, entre otros, son necesarios para fortalecer los cultivos y mantener fértil al suelo (Guamán, 2004, p. 36).

1.2.3 Sistemas de compostaje

Generalmente existen tres sistemas de compostaje: abiertos, semi-cerrados y cerrados. El objetivo final de cualquiera de los sistemas de compostaje, es obtener las condiciones adecuadas para la formación de un buen compost.

- **Sistemas abiertos.-** Los sistemas abiertos de compostaje tienen como característica principal ser de bajo coste y poseer una tecnología sencilla, este tipo de sistemas son aplicables a pequeñas y medianas comunidades que posean una disponibilidad de terreno elevada. Las condiciones climáticas influyen bastante en el proceso de compostaje, las formas de amontonamiento puede ser en pilas, mesetas, zanjas entre otras (Moreno y Moral, 2008, p. 153).
- **Sistemas semi-cerrados.-** También se lo llama sistema de “calles” o “trincheras”, el procedimiento se desarrolla en canales entre 3 y 5 metros de anchura, muros entre 2 y 3 metros de altura y la longitud según sea necesario. Su método de volteo es mediante una máquina volteadora que airea la pila (Moreno y Moral, 2008, p. 153).
- **Sistemas cerrados.-** Los sistemas cerrados son también conocidos como compostaje en “reactores”, que son estructuras de cualquier material, por lo general metálicas o de madera, cilíndricas o rectangulares, en las cuales se controla los factores para que permanezcan constantes (Colomer y Gallardo, p. 201, 2010).

1.2.4 Factores que condicionan el proceso del compostaje

Independientemente del proceso que se elija, las condiciones que deben tener las pilas o los reactores deben ser las adecuadas para que el proceso se lleve a cabo con normalidad y se obtenga el compost en un tiempo establecido. Entre los principales parámetros se encuentran:

- **Temperatura**

La temperatura es un factor determinante para la actividad microbiana, así como también para la eliminación de patógenos presentes en los residuos, poseer altas temperaturas al principio de las reacciones asegura que el proceso de compostaje se dé con normalidad (Ceustermans, Coosemans y Ryckeboer, 2010, p.118). Existen tres fases que pueden ser identificadas: Fase mesófila inicial ($T \leq 45^{\circ}\text{C}$), al final de esta fase se producen ácidos orgánicos; fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$) y la fase mesófila final que es cuando regresa a las temperaturas iniciales e indica que el proceso ha finalizado (Moreno y Moral, 2008, p.96).

- **Humedad**

Una humedad apropiada debe ser en la cual el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa, de esta manera se permitirá la circulación del oxígeno, así como de los gases producidos en la reacción. La humedad apropiada se encuentra entre el 40-60 % ya que la actividad microbiana decrece cuando la humedad esta bajo el 30% y por encima del 70% el agua se encharca y ocupa los espacios entre las partículas, desplazando el aire y produciendo asfixia (Bueno, 2010, pp. 63-64).

- **pH**

El pH es una medida numérica que indica la acidez o la alcalinidad de los suelos, es una condición importante y según las cualidades que presente puede ser controlado por diferentes materiales (Darlington, 2010, p.1). El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. El nivel de pH influye bastante en la habilidad de la planta para absorber nutrientes, por tal razón el mejor valor de pH se encuentra entre 6 y 7 (Shilev, Naydenov, Vancheva y Aladjadjian, 2012, p.291).

- **Aireación**

La aireación es un elemento clave en el proceso del compostaje ya que está estrechamente relacionado con la actividad de los microorganismos aeróbicos (Bueno, 2010, p.62). Si la aireación es insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios y por lo tanto habrá un retraso en la descomposición así como la aparición de malos olores, caso contrario, un exceso de aireación provocaría el enfriamiento de la masa y una reducción en la actividad de los microorganismos (Moreno y Moral, 2008, p.98).

- **Tamaño de la partícula**

El tamaño inicial de las partículas a compostar es una importante variable que permitirá optimizar el desarrollo del proceso, debido a que si la partícula es de mayor tamaño será mayor el tiempo para descomponerla. A pesar de que existen residuos que reducen su tamaño de manera rápida, hay otros que necesitan procesos mecánicos para lograr la estructura deseada. Entre los procesos que se les puede someter a los residuos de mayor tamaño están el triturado y la molienda (Sztern et al., 1999, p.13).

- **Relación C/N**

La relación carbono/ nitrógeno de los materiales a compostar pueden ser utilizados como indicador de la velocidad de la descomposición del compost en el suelo (Dimambro, Lillywhite y Rahn, 2006, p.24). Una Buena relación de C/N se sitúa entre 45 y 60, y la manera de lograr un buen equilibrio entre el carbono y el nitrógeno se consigue mezclando materiales frescos, ricos en nitrógeno, con materiales secos, abundantes en carbono (Bueno, 2010, p.62).

1.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS INORGANICOS

El tratamiento que ha sido designado para dar a los residuos inorgánicos es la técnica de las 3R: Reducir, Reutilizar y Reciclar.

- **Reducir.-** La primera técnica se refiere a evitar la generación de residuos en la fuente, no dar paso al consumismo y adquirir los productos que realmente sean necesarios. Optimizar el uso de los recursos que se posee y sustituir diferentes productos por aquellos que no generen mayor cantidad de residuos (Durán de la fuente, Cubillos, Acuña, Otero, Giaimo, Friedmaann, Arteaga y Leal, 1997, p.284).
- **Reutilizar.-** La segunda técnica trata sobre la factibilidad de volver a utilizar los residuos como materia prima en el mismo proceso, o para uno diferente. El objetivo principal de esta técnica es la recuperación de la energía y la materia prima que fue invertida en la fabricación del residuo (Durán de la fuente. et al, 1997, p.285).
- **Reciclar.-** La tercera técnica trata acerca del proceso por el cual pasarán los residuos que no sean reducidos o reutilizados. El reciclaje es un proceso mediante el cual un producto es transformado para poder ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea para el que fue generado o para otro proceso diferente. El objetivo general del reciclaje es la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que existen en los residuos sólidos. Este proceso debe cumplir ciertas características para lograr su objetivo; tales como: Disminución del volumen de residuos a eliminar, ahorro y conservación de recursos energéticos, hídricos y naturales y protección del ambiente. El reciclaje es el proceso mediante el cual se transforma la materia prima inicial para ser utilizada en otros procesos (Colomer y Gallardo, 2010, pp. 165-167).

1.4 EDUCACION AMBIENTAL

La educación ambiental puede ser definida como aquella rama de la ciencia que tiene como principal objetivo concienciar acerca de los problemas que existen en el medio ambiente a la sociedad. Dentro del plan de trabajo se encuentra la obligación de impartir conocimientos sobre el tema, para de esa manera crear aptitudes, motivaciones y deseos individuales o colectivos y dar soluciones a los distintos problemas que existen en el medio (Diputación de

Cádiz, 2010, p14). Entre los objetivos que posee la educación ambiental es tomar conciencia mientras se transmite información y se enseñan hábitos que promueven valores para solucionar problemas y tomar decisiones relacionadas con el cuidado del ambiente (Unesco, 1991, p.4).

La educación ambiental engloba diferentes objetivos que deben ser tratados e implementados en los diferentes niveles de educación, entre los temas más relevantes se encuentran:

- Ahorro y conservación de energía
- Manejo de residuos sólidos
- Reciclaje
- Agricultura sostenible libre de químicos
- Ahorro y conservación de agua
- Conservación de recursos naturales
- Producción más limpia

(Ministerio del ambiente, 2006, p. 4)

1.4.1 Niveles de educación ambiental

Para empezar con un programa de educación ambiental es necesario identificar tres diferentes niveles básicos. Conociendo en qué nivel se encuentran los estudiantes con quienes se trabajará es más sencillo armar planes y proyectos así como lineamientos generales para programas que involucre la educación ambiental (Diputación de Cádiz, 2010, p.18).

- **Primer nivel**

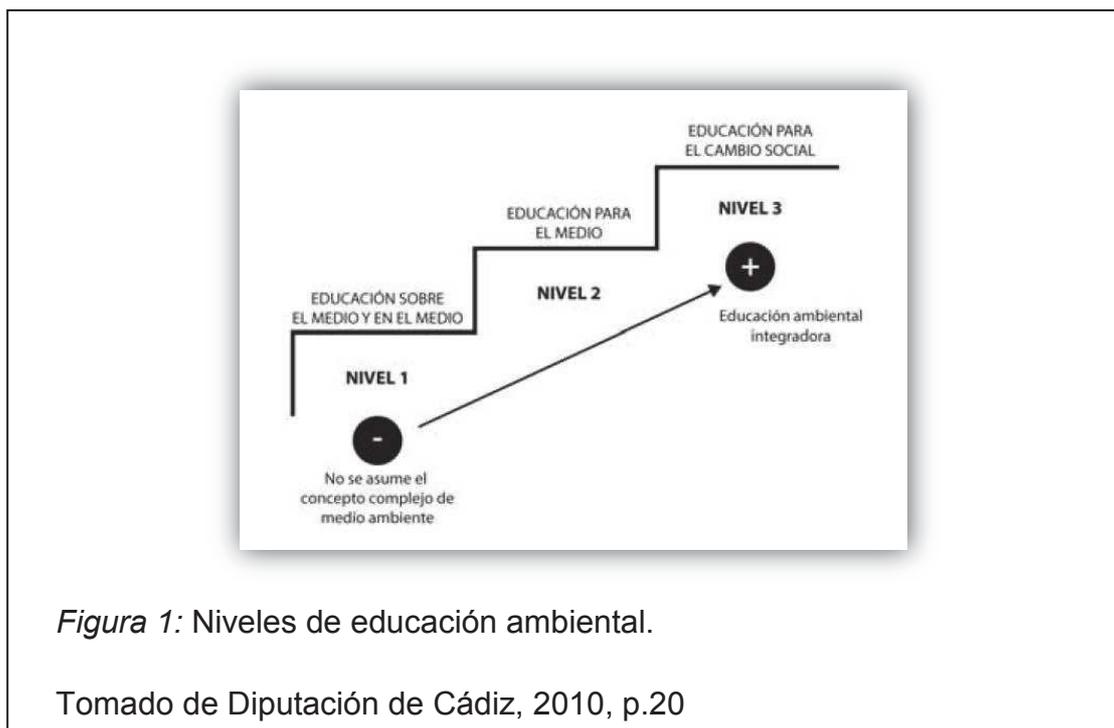
Las personas que se encuentran identificadas en este nivel son aquellas que saben de la existencia del tema, pero desconocen el verdadero significado y la importancia de éste.

- **Segundo nivel**

El nivel de conocimiento de las personas es más avanzado y también acuden a la investigación. Analizan, sintetizan y evalúan información que se le es proporcionada.

- **Tercer nivel**

Las personas poseen un conocimiento más profundo del tema y son capaces de realizar actividades que contribuyan a la mejora del ambiente. En este nivel las personas contribuyen a la educación social y pueden incluir a personas de su entorno a las prácticas que ellos realizan (Tokuhama y Bramwell, 2012, p.126).



La educación ambiental puede abarcar diferentes programas que sean sostenibles, tanto para la institución como para la comunidad, existen una infinidad de proyectos entre los que se puede destacar aquellos que tengan que ver con el agua, conservación de ríos y cauces de agua, prevención del

uso de plaguicidas, reducción de residuos, cambio climático, etc (Ministerio del ambiente, 2006, p.30).

No existe una metodología específica para realizar proyectos que incluyan a la educación ambiental, sin embargo con las pautas y la información adecuada se procederá a incluir de a poco en la sociedad, la costumbre de adaptar las actividades diarias a reducir impactos en el ambiente.

1.5 MARCO LEGAL Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL

El marco legal y la legislación ambiental estarán determinados por los siguientes instrumentos legales:

- Ordenanza No. 012-2009. Ordenanza de Gestión Ambiental. Ilustre Consejo Municipal del Cantón Rumiñahui. Título II “Residuos sólidos domésticos, comerciales, industriales y hospitalarios”. Capítulo I, Art. 3 y 4, Art. 11.
- Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial N° 449 de Octubre del 2008. Artículos: 14, 26, 27; Artículos 240, 264 Numeral: 1, 4. Art.276 Numeral 4. Artículo 395 de los principios ambientales numerales 1, 2, 3,4 y Art. 415.
- Ley de Gestión Ambiental, Codificación. Codificación 19. Registro Oficial Suplemento 418 de 10 de Septiembre del 2004.
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Codificación 20. Registro Oficial Suplemento 418 de 10 de Septiembre del 2004. Capítulo III “De la prevención y control de la contaminación de los suelos”.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, 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 21 de Marzo del 2003.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, Libro VI Anexo 6 Norma de Calidad Ambiental Para El Manejo y Disposición Final de

Residuos Sólidos 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 y Artículo 4.3.

- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. Publicado en el Suplemento del Registro Oficial N°303 de martes 19 de Octubre de 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. ZONA DE ESTUDIO

La Unidad Educativa Fiscal Rumiñahui, anteriormente llamada “Unidad Educativa Municipal Rumiñahui”, fue expedida mediante Ordenanza N° 024 en el año 2005 por el Ilustre Consejo Municipal del Cantón Rumiñahui. En un principio, la institución contaba con sesenta estudiantes y tres maestras que laboraban en aulas pre-fabricadas. Actualmente la institución cuenta con más de 800 alumnos repartidos entre escuela y colegio y cuenta con una estructura que incluyen centro médico, bar, entre otros. El Ing. Héctor Jácome Mantilla, fue el gestor de este proyecto que hoy por hoy tiene 9 años de existencia (Ruiz, 2012, p.4).

2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1.1 Ubicación y estructura

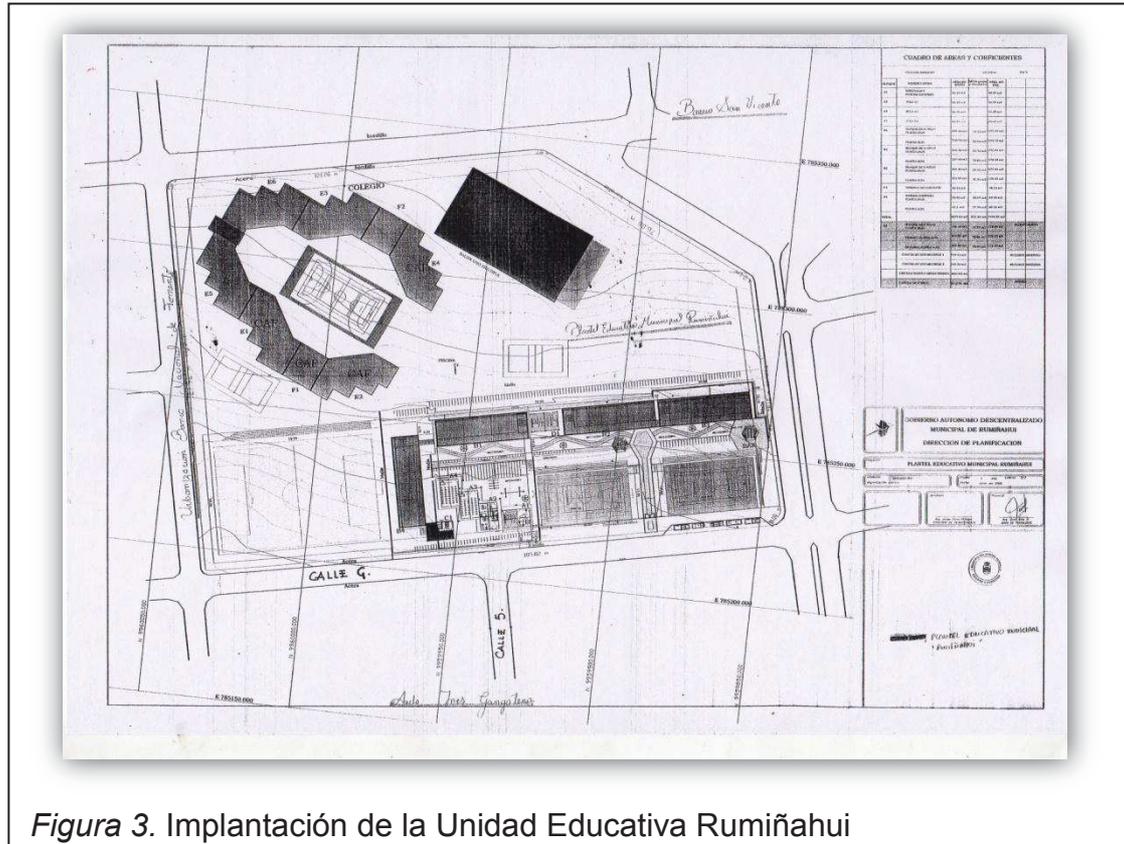
La Escuela Municipal Rumiñahui se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia de Sangolqui, barrio San Vicente en la Urb. Banco de Fomento, su distrito es el 17D11 Mejía-Rumiñahui (Ministerio de educación, 2013).



Figura 2. Ubicación de la institución en la Urbanización Banco de Fomento Tomado de Google Maps, 2014.

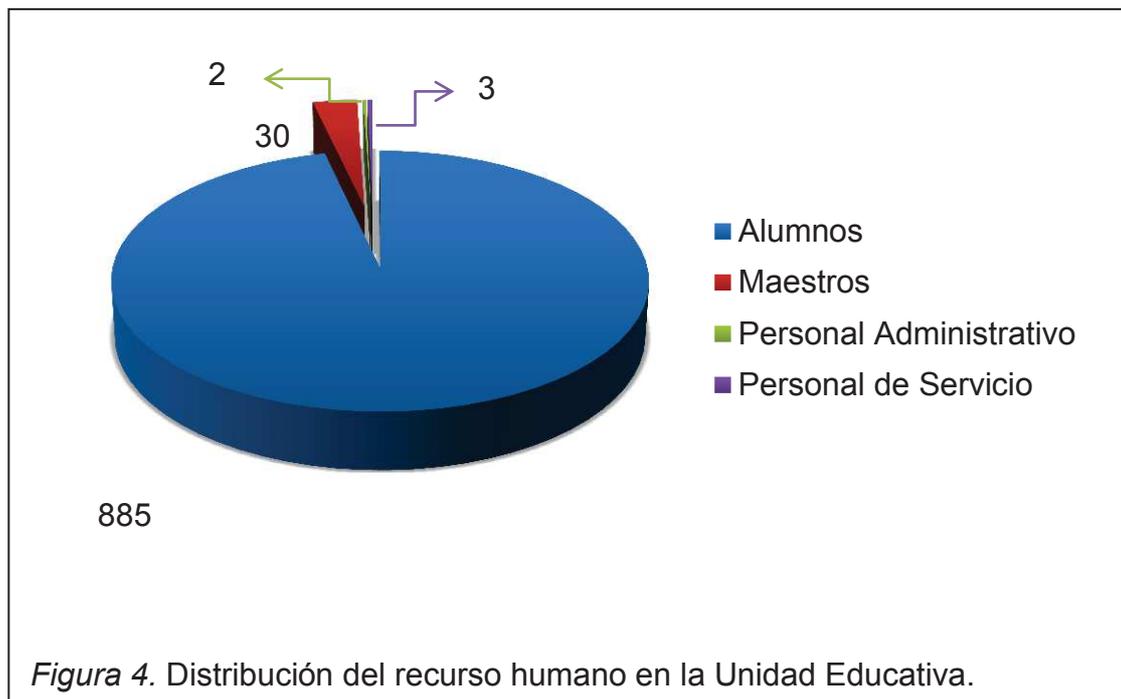
La institución cuenta con un área de terreno de 23,117.57 m², de los cuales 15,000 m² están disponibles, o en planes de construcción, y 8,000 m² es el espacio construido.

En cuanto a la descripción de la institución; la estructura, paredes, tumbado y el techo se encuentran construidos de hormigón y el piso es de baldosa. Existen 20 baterías sanitarias, 10 de hombres y 20 de mujeres, 18 urinarios y 23 lavamanos distribuidos en toda la construcción (Ministerio de educación, 2013). Además de aulas y laboratorios, la escuela cuenta con un departamento de DOBEI, centro médico y odontológico, un bar y una caseta para el guardia de seguridad (Ruiz, 2012, p.4).



2.1.2 Recursos humanos

La unidad educativa Rumiñahui cuenta con nivel inicial, primario y secundario, el nivel inicial y la primaria laboran en jornada matutina, mientras que octavo y noveno en jornada vespertina (Barajas, 2013, p3). Entre personal administrativo, personal docente, empleados del bar y guardianía suman 923 personas que asisten de lunes a viernes al establecimiento educativo (Unidad Educativa Rumiñahui, 2014).



Como se puede apreciar en la Figura 3, el mayor número de personas que interactúan en la Escuela son los alumnos, seguidos por los maestros, personal de servicio y personal administrativo. Éstos datos serán tomados en cuenta el momento de implementar el programa.

2.2 INFORMACIÓN PRELIMINAR

Para proceder al levantamiento de información, es necesario conocer los diferentes mecanismos que son utilizados en la institución para deshacerse de los residuos producidos.

2.2.1 Almacenamiento de los residuos

Antes de la implementación del programa los alumnos, profesores y demás personal depositaban los residuos producidos en basureros ubicados en cada aula de la institución, así como también en tachos encontrados en los patios. La basura de los baños era depositada en tachos ubicados en cada batería sanitaria, la basura del bar, de igual manera, era desechada en dos tachos ubicados en esa zona. La cantidad de tachos de basura se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 9. Distribución de basureros

Cantidad	Zona
33	Aulas
30	Baños
6	Patio
2	Bar

En toda la institución se disponía 71 tachos de basura, distribuidos en 4 áreas diferentes.

2.2.2 Método inicial de recolección

Inicialmente el método de recolección de la basura lo realizaban las personas encargadas de la limpieza de la escuela. El personal se encargaba de recolectar todos los residuos producidos en cada aula, así como también la basura de los patios de la institución, baños y bar. Una vez recolectada se la llevaba a la estación de transferencia, ubicada en la parte posterior de la escuela y era depositada en tachos de 55 galones destinados a este fin. Los días martes y jueves, alrededor de las 11 de la mañana, el camión de la basura pasa por la escuela y se lleva todo lo producido durante la semana.

2.2.3 Campañas de reciclaje

Anteriormente en la institución no se contaba con campañas o programas de reciclaje, sin embargo recolectaban las botellas plásticas y se las entregaban a un gestor para recolectar fondos y que éstos sirvan para beneficios escolares.

2.2.4 Cronograma de actividades

Para la implementación del programa de tratamiento y reducción de residuos fue necesario establecer un cronograma en el que se incluyan las diferentes

actividades a realizarse en el tiempo establecido. El año lectivo inició en septiembre del 2013 y culminó en Junio del 2014, de acuerdo a las autoridades y padres de familia el cronograma queda de la siguiente manera:

Tabla 10. Cronograma de actividades

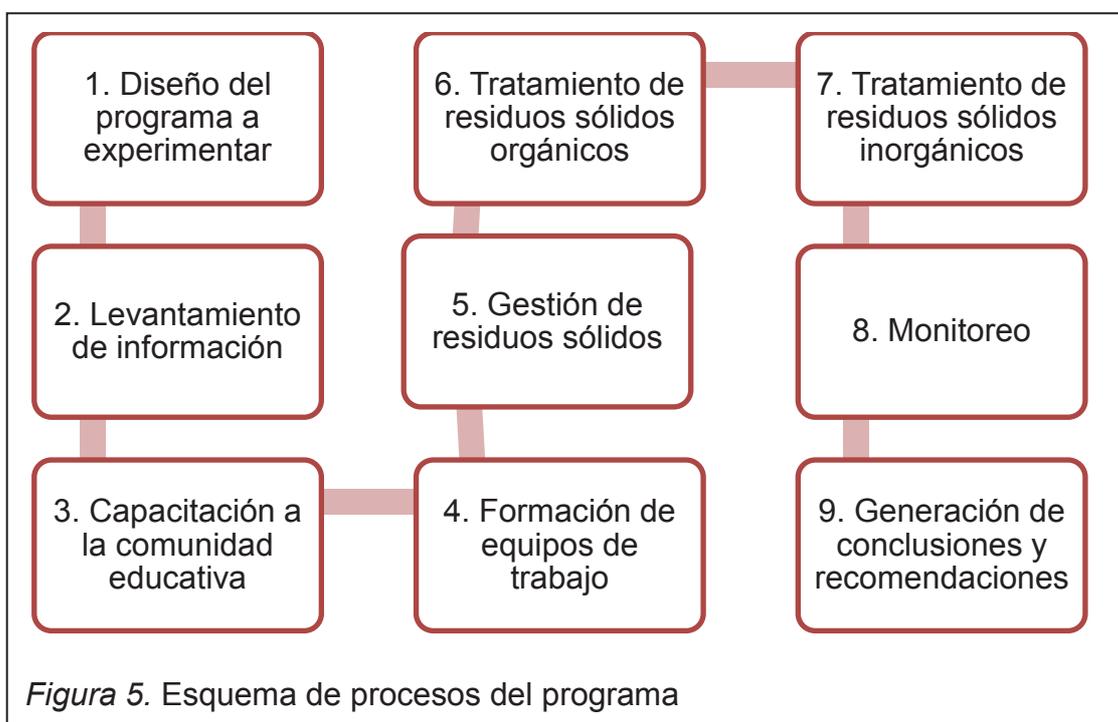
Fase	Fecha	Actividad
Estudios preliminares	25 de noviembre a 13 de diciembre 2013	Pesaje y caracterización de residuos sólidos
Capacitación a comunidad educativa	13 al 17 de enero del 2014	Capacitación a docentes y personal administrativo
Capacitación a comunidad educativa	20 al 24 de enero del 2014	Capacitación a estudiantes
Implementación del programa	24 de febrero del 2014	Inicio del programa y creación del grupo R
Implementación del programa	21 de marzo del 2014	Fabricación de compost y creación del grupo de compostaje
Convenio con gestor ambiental	26 de junio del 2014	Firmar convenio bipartito entre la institución y el gestor

Una vez conocida la situación actual de la institución se dará inicio a la primera fase del programa, la metodología y el diseño experimental del mismo se dará a conocer en los siguientes capítulos.

3. METODOLOGIA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo de titulación se propuso un programa de tratamiento y reducción de residuos sólidos no peligrosos que sean aplicables a la educación ambiental. Se llevó a cabo como proyecto piloto en la Unidad Educativa Rumiñahui para que en un futuro cercano otras instituciones se acoplen al mismo. El proceso experimental inició con el levantamiento de información y

datos iniciales de la producción de residuos sólidos en la escuela, así como también los mecanismos de recolección y transferencia. Una vez conocida la producción de residuos sólidos, fue necesaria la caracterización para conocer las diferentes áreas en las que se trabajó, el siguiente paso fue la capacitación a la comunidad educativa y posteriormente la implementación con los diferentes mecanismos aplicados a residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. La propuesta de implementación fue mediante una metodología general y dos específicas para el tratamiento y reducción de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.



3.1 IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA

La metodología general de implementación fue aplicada para toda la comunidad de la U.E.F. Rumiñahui; alumnos, profesores, personal administrativo y personal de servicio. El proyecto se desarrolló en cinco diferentes fases:

- Primera fase: Estudios preliminares (Levantamiento de información)
- Segunda fase: Capacitación a la comunidad educativa
- Tercera fase: Formación de equipos de trabajo

- Cuarta fase: Gestión de residuos sólidos
- Quinta fase: Monitoreo

3.1.1 Primera fase: Estudios preliminares

La primera fase constó de los procedimientos llevados a cabo para levantar la línea base en la que se encontró la institución; producción diaria de basura, caracterización de los residuos, generación per cápita diaria de residuos.

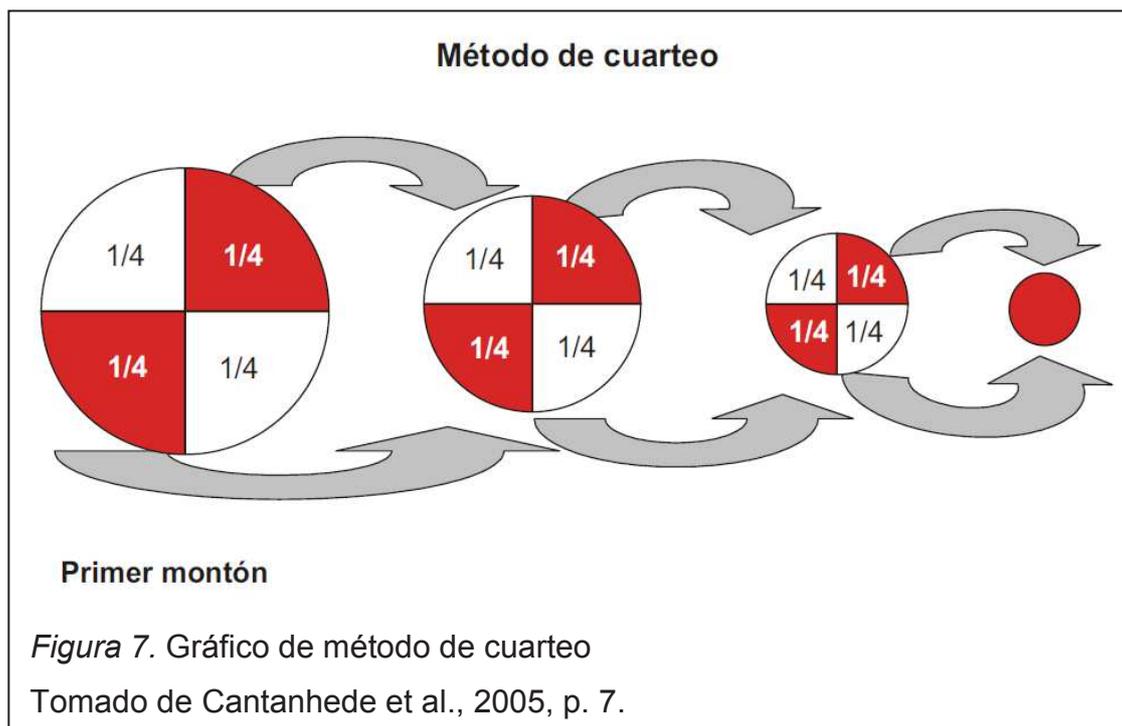
a. Producción diaria y análisis de residuos

Este proceso fue llevado a cabo durante una semana, es decir 5 días laborables. Para iniciar con este proceso fue necesario capacitar al personal de limpieza. El personal recolectaba los residuos de las aulas y patios, excluyendo los baños, y los depositaba en galones de 52 litros (Figura 6) ubicados en la estación de transferencia donde se encontraban rótulos de los días de la semana a los que pertenecían. Al final del día se contabilizaban las fundas recolectadas y se las pesaba con una balanza marca CAMRY.



Figura 6. Recolección semanal de residuos

Para la caracterización de los residuos sólidos se utilizó el método de cuarteo. En una zona plana se colocó un plástico de 2 x 1.5 m para evitar que se agregue tierra a los residuos, una vez obtenidas las fundas de basura se las puso y rompió en el plástico para proceder a la caracterización. Según la figura 6, se dividió el montón en cuatro partes y se escogió las dos partes opuestas, se realizó el mismo proceso hasta obtener una muestra de 10 kg aproximadamente (Cantanhede, Sandoval y Caycho, 2005, p. 7).



Con el montón determinado para caracterizar, se dividió los residuos según sus componentes, es decir:

- Papel y cartón
- Plástico
- Restos de alimentos
- Vidrio
- Metal
- Otros

Según la figura 7 se puede demostrar el método realizado con los residuos producidos en la institución durante la primera fase de levantamiento de información.



Figura 8. Método de cuarteo y separación de materiales

b. Generación per cápita de residuos.

La generación per cápita se la define como la cantidad de residuos sólidos promedio generados en kilogramos por persona al día (Esquinca, Escobar, Hernández y Villalobos, 2010, p.9). Para el cálculo se utilizó el total de residuos recolectados por día de muestreo (excluyendo las muestras del primer día) y la fórmula a utilizar fue la siguiente (Cantanhede et al., 2005, p.6):

$$\text{Generación per cápita de residuos} = \frac{\text{Peso total de residuos (Wt)}}{\text{Número total de personas (Nt)}}$$

3.1.2 Segunda fase: Capacitación a comunidad educativa

Una vez realizado el levantamiento de información, se procedió a la capacitación de todos quienes forman parte de la escuela. Este procedimiento constó de tres fases: la primera para personal de servicio, la segunda es para los profesores y personal administrativo y la tercera para los estudiantes.

En la capacitación se informó a cerca del programa a implementarse y sobre los diferentes tipos de residuos existentes en la institución, mencionados anteriormente en el marco teórico, así como también la correcta manera de almacenarlos. Para los dos primeros grupos la forma de capacitación fue con

presentaciones didácticas, mientras que para los alumnos se realizaron mediante diferentes actividades en la cuales los niños eran partícipes de la misma. Los temas de capacitación para los diferentes grupos fueron los siguientes:

- **Tipos de residuos sólidos y tratamiento**

Se informó sobre la clasificación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, ejemplos de aquellos que son producidos en la institución y la manera correcta de desecharlos. La información proporcionada en el capítulo de marco teórico fue resumida e impartida a la comunidad educativa.

- **Almacenamiento**

Se capacitó a toda la comunidad educativa sobre el correcto almacenamiento en los diferentes tachos. Para el acopio se tomó como referencia los criterios recomendados por el “Programa de la clasificación domiciliaria de las ciudades de Loja y Zamora, Ecuador y Stuttgart, Alemania” y la “Campaña de las 4 R en Rumiñahui” que establece los colores de los tachos y sus respectivos residuos como:

Tacho verde: Residuos orgánicos, restos de frutas y verduras, restos de plantas.

Tacho negro: Basura común; envolturas de golosinas, tarrinas de comida, servilletas, entre otros (Roben, 2003, p.89).

Tacho azul: Papel y cartón.

Tacho gris: Botellas plásticas (EMC, 2013).

Los tachos fueron conseguidos por autogestión y donados a la escuela como parte del programa, fueron pintados y rotulados con su respectivo tipo de residuo (Figura 9). Los basureros que se encontraban en los patios de la institución fueron destinados a la basura común.



Figura 9. Tachos de basura del programa ubicados en la institución

- **Días de recolección**

Se designaron dos días para la recolección de los residuos orgánicos y la basura común, los días martes y jueves. El papel y el plástico se recolectaron una vez por semana, dependiendo la cantidad de residuos producidos.

- **Destino final de los residuos sólidos**

Los residuos orgánicos fueron destinados al compostaje. El papel, cartón y plástico al reciclaje y la basura común tuvo como destino final el relleno sanitario.

3.1.3 Tercera fase: Formación de equipos de trabajo

El éxito en la continuidad de este programa estuvo en la designación de tareas a diferentes grupos de la comunidad educativa. Debido a problemas de la institución con el “Comité de Padres de Familia”, las personas encargadas de la limpieza tuvieron que dejar su trabajo, razón por la cual en una reunión con las autoridades se designó dos grupos de trabajo quienes serán los encargados de la recolección de los residuos:

Grupo R: Se denominó “Grupo R o Grupo de Reciclaje” a ocho niños de sexto año de educación básica encargados de la recolección y almacenamiento de los residuos sólidos. El grupo es conformado por cuatro niños y cuatro niñas de 10 a 11 años que serán los encargados de la recolección de los residuos los días martes y jueves a las 9:30 de la mañana. Los alumnos fueron equipados con mandil, mascarillas y guantes por su seguridad personal.



Figura 10. Ocho niños integrantes del “Grupo R”

Grupo de compostaje: El grupo de compostaje fue el encargado de aprovechar los residuos orgánicos mediante la fabricación de compost. Para esta tarea fueron designados los estudiantes de séptimo año de educación básica. Durante las semanas en las que se realizó el compost, los alumnos fueron capacitados y cada curso tuvo la obligación de acudir a voltearlo y observar la transformación del mismo.



Figura 11. Estudiantes de séptimo “A” integrantes del grupo de compostaje

3.1.4 Cuarta fase: Gestión de residuos sólidos

El destino de los residuos sólido orgánicos fue el compostaje. La gestión de papel y plástico se la realizó con gestores del Cantón Rumiñahui, mediante un contrato bipartito se acordó el tiempo prudente para retirar de la escuela los residuos recolectados, de esta manera se cerró el ciclo y se cumplió con la gestión de los residuos sólidos inorgánicos. Para el tratamiento de otros tipos de plástico, como el de las tarrinas, entre otros materiales, la materia de artes plásticas se encargó de proyectos en los cuales estos materiales fueron reutilizados.

3.1.5 Quinta fase: Monitoreo

Para poder asegurar el avance del proceso fue necesario un monitoreo constante del mismo, razón por la cual hasta que las actividades fueron rutinarias, un control semanal se realizó a las diferentes actividades de la institución. Las autoridades fueron las comprometidas para que el programa siga su curso y se mantenga por los diferentes años lectivos.

La medición de los resultados del programa de reducción, se dio mediante el pesaje semanal de los residuos depositados en el tacho de color negro, ya que éstos eran los únicos que tenían como destino final el relleno sanitario.

Como se mencionó anteriormente, el pesaje de la basura se lo realizó dos días a la semana y se calculó el porcentaje de residuos orgánicos e inorgánicos que poseían, de esta manera se pudo conocer la reducción en la producción de basura.

3.2 REDUCCION DE RESIDUOS ORGÁNICOS

El destino final de los residuos orgánicos fue el compostaje. El proceso experimental inició con el diseño de los diferentes sistemas en los que se iba a desarrollar el compost, se realizó dos tipos de diseños para la elaboración del mismo; la primera fue realizada en la institución, de manera tradicional, a pila abierta y el otro en reactor. Una vez recolectada la materia orgánica se procedió a construir los lechos; los cuales fueron monitoreados constantemente. Al final del proceso se obtuvieron resultados de los parámetros analizados, los cuales permitirán sacar las respectivas conclusiones y recomendaciones.

3.2.1 Compostaje a pila abierta

La formación de la pila de compostaje se ubicó en la parte posterior de la institución, donde se posee un espacio asignado para huertos escolares y para la tenencia de ganado.

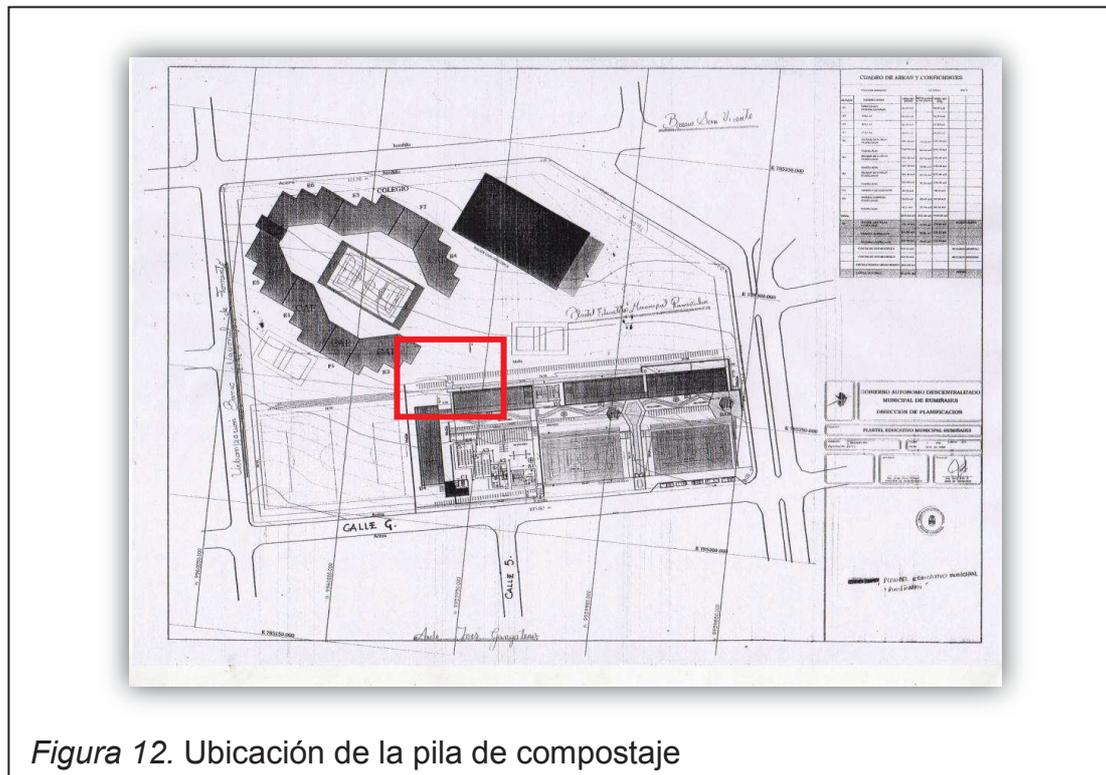


Figura 12. Ubicación de la pila de compostaje

Para la construcción de la pila se limitó un espacio de terreno de 1m de ancho por 1.5 m de largo, se removió 50 cm de tierra para la profundidad y a su vez para la ventilación (Fundación Natura, 1991, p. 10). La colocación de materiales fue de la siguiente manera: 5 cm de aserrín, 10 cm de tierra negra, 10 cm de materia orgánica, 10 cm de tierra negra, 10 cm de materia orgánica y para finalizar 5 cm de aserrín (HGPT, 2011, p.3). Además de los materiales antes mencionados se regó en toda la pila melaza y levadura activada.

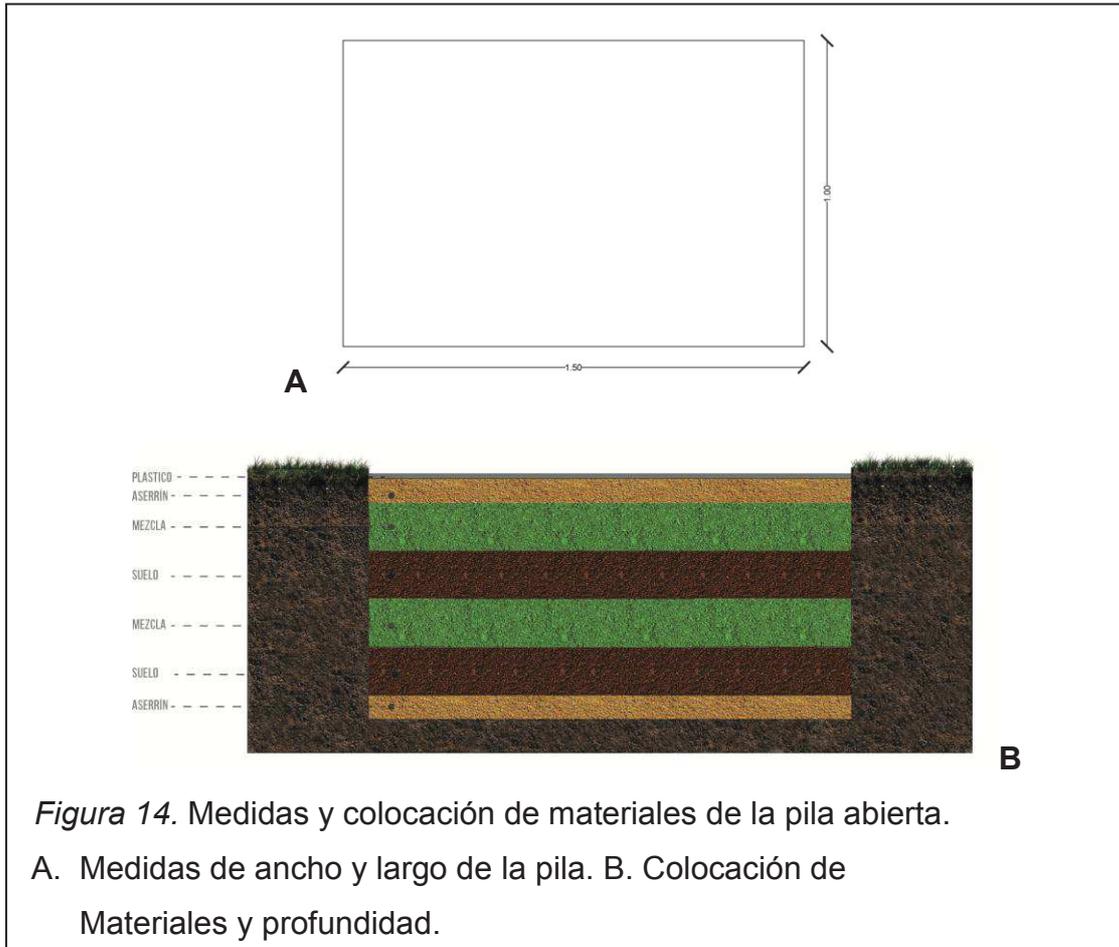
3.2.1.1 Recolección de materia orgánica y formación de la pila

Se recolectó la materia orgánica (ubicada en los tachos verdes y en el bar) durante un mes y se los almacenó bajo refrigeración para evitar una putrefacción acelerada. La institución cuenta con un sistema de refrigeración en la parte del bar, por lo que se utilizó para el almacenamiento de los mismos. Una vez acumulada una cantidad razonable de materia orgánica se procedió a la trituración para posteriormente ubicarla en la pila de compostaje. Como fue mencionado anteriormente, los alumnos de séptimo año de educación básica fueron los encargados de la formación de la pila de compost.



Figura 13. Estudiante de séptimo triturando la materia orgánica

En cuanto a la colocación de los materiales, la pila fue formada de la siguiente manera:



3.2.1.2 Parámetros a analizar

Los parámetros a analizar fueron; temperatura, humedad y análisis químico, que fueron controlados semanalmente. Debido a que es un método tradicional y puede ser aplicado en las instituciones, se decidió medir parámetros que puedan ser tomados in situ, exceptuando el análisis químico.

- **Temperatura**

La temperatura fue medida una vez a la semana en horario de clases, específicamente a las 11 de la mañana. Se utilizó un termómetro de suelo que era insertado a 15 cm de profundidad de la pila de compostaje y se llevaba los registros semanales. Los alumnos de séptimo año eran encargados de medir la temperatura diariamente.

- **Humedad**

Para determinar el contenido de humedad en el suelo se utilizó la metodología del tacto, se extraen muestras de suelo de diferentes profundidades (0 a 30cm y de 30 a 60 cm) se aprieta hasta conformar una pequeña bola y de acuerdo a su comportamiento se mide el porcentaje de humedad.

Tabla 11. Determinación de contenido de humedad en el suelo por método del tacto

Grado de humedad	Tacto	Contenido de humedad
Seco	Polvo seco	Ninguna
Bajo	Se desmorona sin aglutinarse	25% o menos
Medio	Se desmorona pero se aglutina	25% - 50%
Aceptable	Forma una bola y se aglutina con presión	50% - 75%
Óptimo	Forma una bola, se aglutina y es amasable	75% - 100%
Húmedo	Chorrea agua apretándolo	Húmedo

Adaptado de González, 1990, p.8

- **Composición química**

Los análisis de relación carbono/nitrógeno y materia orgánica fueron realizados en un laboratorio de suelos especializado en estos parámetros. Una vez culminado el compost, se tomaron muestras del mismo y se enviaron a analizar.

3.2.1.3 Volteo del montón

La importancia del volteo del montón radica en mezclar los materiales más descompuestos, generalmente ubicados en el medio del montón, con los que

aún faltan de descomponer (Guamán, 2004, p. 34). El primer volteo se lo realizará a los treinta días y después de éste se lo voltará cada 15 días hasta que el montón alcance la temperatura adecuada (Fundación natura, 1991, p.12).

3.2.2 Compostaje en reactores

El siguiente método para aprovechar los residuos sólidos orgánicos fue el compostaje en reactores. Se analizó 2 procesos distintos para determinar la calidad del compost y la efectividad de cada tratamiento. Se construyeron 4 lechos con dos repeticiones cada uno, además del blanco con una repetición. En cada lecho se analizó la evolución del proceso controlando factores como: temperatura, pH, densidad aparente, relación C/N. Al culminar 8 semanas, una vez que la temperatura se encontró estable, se evaluaron los resultados de los 2 tipos de compostaje. El diseño experimental fue factorial completamente aleatorio $2^2 = 4$.

Tabla 12. Diseño factorial completamente aleatorio 2^2

Variables (Factores)	Niveles	
	+	-
X ₁	Pre-compostaje (+1)	Sin pre-compostaje (-1)
X ₂	Aserrín caliente (+1)	Aserrín frío (-1)

Adaptado de Larreategui y Banchon, 2013, p.36.

El objetivo fue determinar cuál es la mejor alternativa para ser aplicada en programas de tratamiento de residuos sólidos como una opción para los residuos sólidos orgánicos.

La matriz de diseño experimental se muestra a continuación:

Tabla 13. Matriz de diseño experimental

Tratamiento	Lecho	F1	F2	Factores Respuesta			
				Temperatura	pH	Humedad	Densidad
0	A, A'	0	0	R _{A1}	R _{A2}	R _{A3}	R _{A4}
1	B, B', B''	-1	-1	R _{B1}	R _{B2}	R _{B3}	R _{B4}
2	C, C', C''	-1	+1	R _{C1}	R _{C2}	R _{C3}	R _{C4}
3	D, D', D''	+1	-1	R _{D1}	R _{D2}	R _{D3}	R _{D4}
4	E, E', E''	+1	+1	R _{E1}	R _{E2}	R _{E3}	R _{E4}

Adaptado de Larreategui y Banchon, 2013, p. 36

De esta manera:

- Lechos A y A': Muestras en blanco, únicamente residuos orgánicos.
- Lechos B, B' y B'': Aserrín frío, no pre-compostaje.
- Lechos C, C' y C'': Aserrín frío, pre compostaje.
- Lechos D, D' Y D'': Aserrín caliente, no pre-compostaje.
- Lechos E, E' Y E'': Aserrín caliente, pre-compostaje.

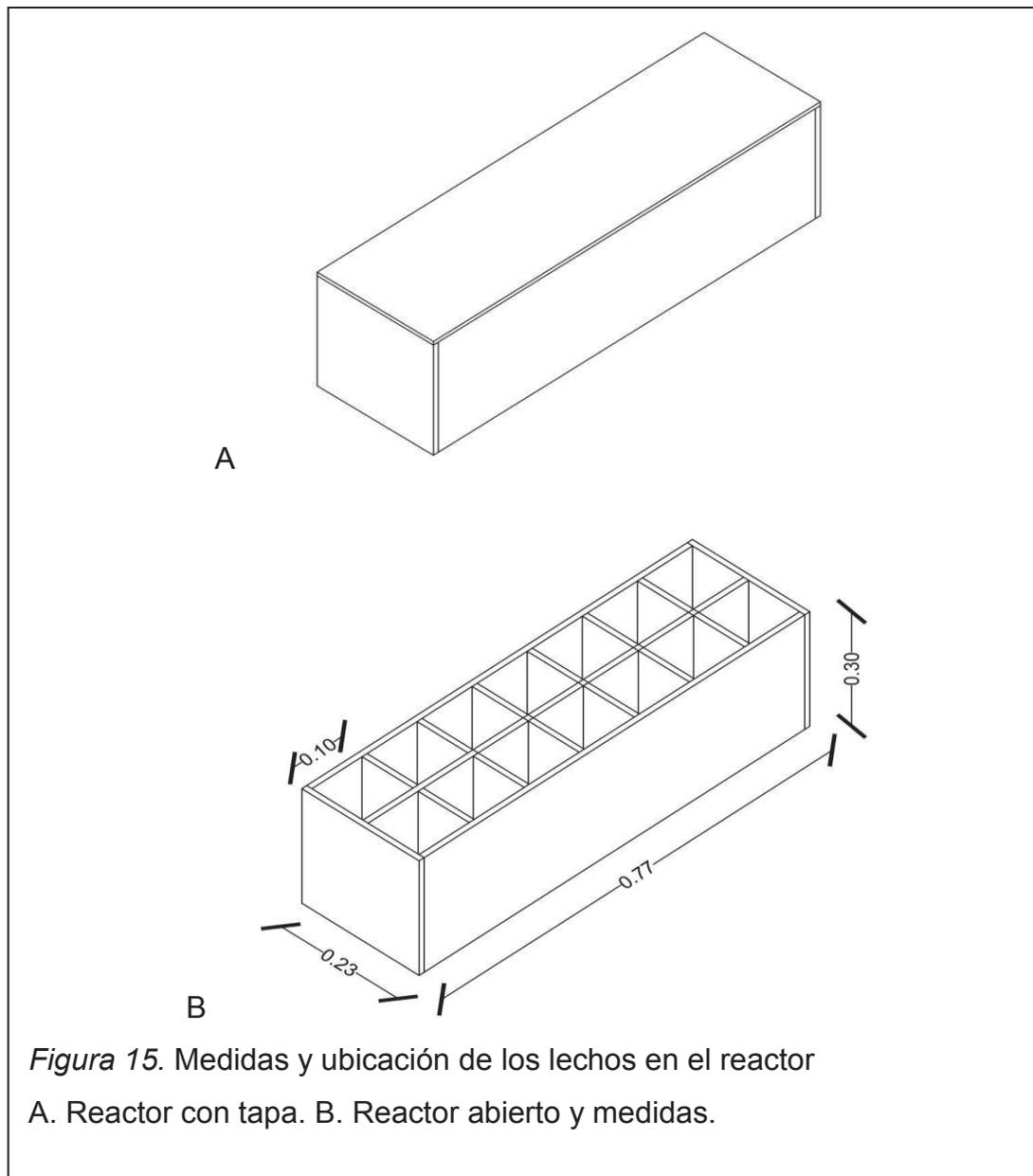
Los números de los factores respuesta atienden a los resultados semanales que se dieron una vez culminado el proceso, siendo así:

- R₁: Resultado de la medición de la temperatura.
- R₂: Resultado de la medición del pH.
- R₃: Resultado de la medición de la humedad.
- R₄: Resultado de la medición de la densidad.
- Nota: El factor respuesta de composición química, fue aplicado únicamente al tratamiento con mejor respuesta en cuanto a temperatura.

3.2.2.1 Diseño de lechos de compostaje

Debido a que el diseño fue en reactores, se optó por una estructura rectangular de madera triplex. Los lechos individuales tuvieron como medida 30 cm de alto y 10 cm de ancho y con una tapa que recubrió todo el reactor. El total de los lechos suman 14, razón por la cual se dividieron en dos grupos; 7 lechos en el

lado izquierdo y 7 en el lado derecho. La medida total del reactor es de 77 cm de largo por 13 cm de ancho. En la siguiente figura se muestra el diseño:





3.2.2.2 Armado de los lechos de compostaje

Para el armado de los lechos de compostaje se empezó por recolectar los residuos orgánicos de la escuela por una semana, se los trituró con una tijera de jardinería y posteriormente se los mezcló, según el diseño, con el pre compostaje. Para la mezcla de los materiales se utilizó un balde y mezclador.

- Pre compostaje

Para la mezcla se utilizaron los siguientes materiales:

- Frutas y vegetales
- Pétalos de rosa
- Melaza

Se trituró las frutas, vegetales y pétalos de rosa con la tijera de jardinería, posteriormente se colocó en el balde y se agregó la melaza diluida en 2 litros de agua, con el mezclador se removió hasta obtener una mezcla homogénea.

Una vez lista la mezcla se la dejó reposar por dos semanas para que exista presencia de microorganismos y aporten al compostaje.

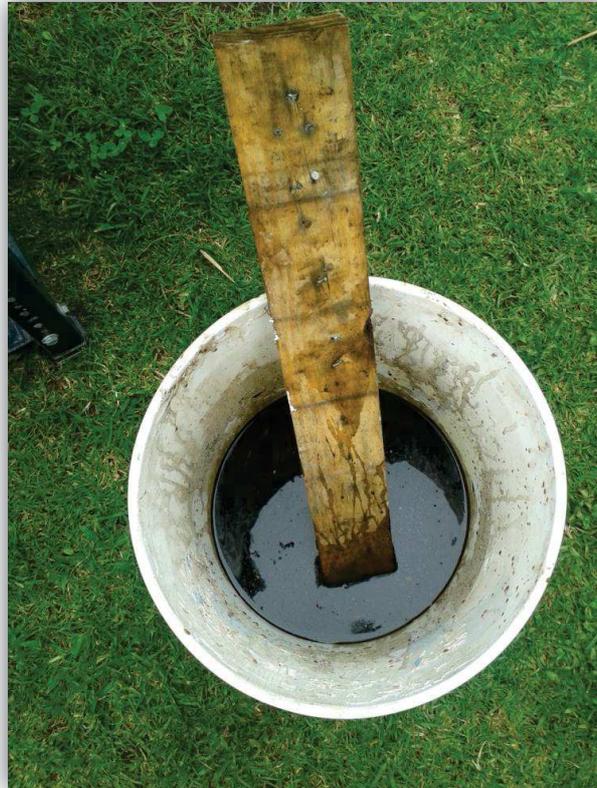


Figura 17. Mezcla del pre-compostaje

Al culminar las dos semanas se procedió a mezclar con los residuos orgánicos producidos en la institución, en el mismo balde del pre compostaje se agregaron los residuos previamente triturados.

El aserrín caliente se obtuvo de carpinterías que expongan este a la luz del sol, el centro del montón posee una temperatura mayor a la del aserrín que se encuentra en los extremos, razón por la cual se utilizó el aserrín del centro del montón para el armado de los lechos de compostaje.

De esta manera los lechos de compostaje se formaron de la siguiente manera:

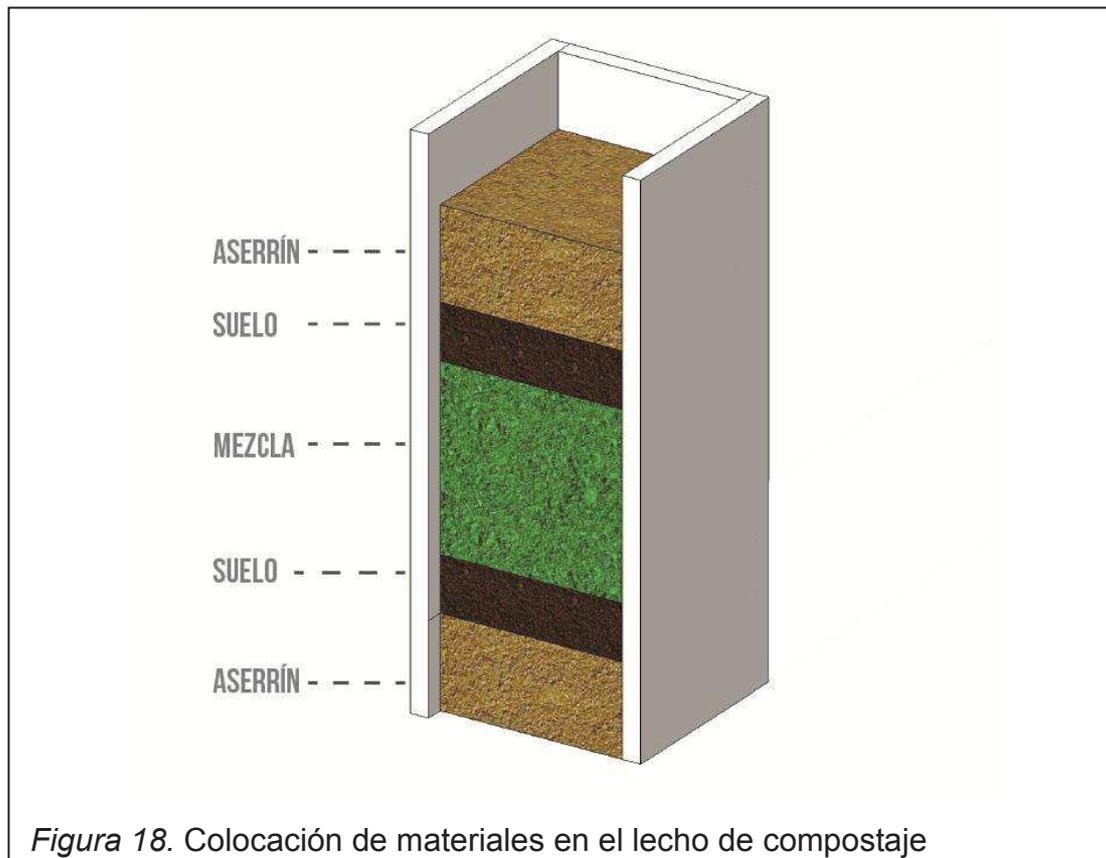


Figura 18. Colocación de materiales en el lecho de compostaje

Según el diseño experimental, en cada lecho y su repetición se colocaron los factores anteriormente designados.

3.2.3 Temperatura del compostaje

La temperatura fue controlada tres veces al día: a las 8 am, 12 pm y 6 pm durante cinco días las primeras 3 semanas, posteriormente se medía la temperatura a las 12 pm diariamente hasta que el proceso se encuentre estable. Esta medición fue realizada in situ, se utilizó un termómetro de suelos que fue introducido a 20 cm y en la mitad de cada lecho.

3.2.4 pH del compostaje

La medición del pH fue realizada in situ, se la midió semanalmente con la ayuda de un pH-metro marca FieldScout que era introducido en la mitad de los lechos aproximadamente a 3 cm de profundidad. Se realizó el control del pH semanalmente.

3.2.5 Control de la densidad

La densidad fue medida en el laboratorio de la Universidad de las Américas. Para esto se necesitan materiales como: mortero, balanza analítica, probeta. El método fue aplicar la fórmula:

$$\text{Densidad} = \text{Masa} / \text{Volumen}$$

Para la medición de la masa se pesó el mortero vacío (mV) en la balanza analítica, posteriormente se añadió la muestra húmeda (mH) y se anotó el resultado.

$$M_{\text{Total}} = mH - mV$$

La medición de la densidad se la realizó colocando la muestra en una probeta de 25 ml y desplazándola hasta el fondo, se anotó el resultado y con esto se aplicó la fórmula ya propuesta.

Se realizó una medición semanal de cada uno de los lechos, 14 en total, durante las semanas que duró el proceso.

3.2.6 Control de la humedad

El análisis de humedad se lo realizó en el laboratorio de la Universidad de las Américas utilizando los siguientes materiales: mortero, balanza analítica, horno. En primer lugar se procedió a pesar la masa de la muestra húmeda (mH) con el método ya mencionado anteriormente, una vez obtenido el valor se llevó al horno a una temperatura de 118°C durante 24 horas. Al culminar las 24 horas se sacó del horno y esperó a que se enfríe, se volvió a pesar la muestra (mS) y

se anotó el resultado, para el porcentaje de humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$mH * mS / mH * 100$$

Se realizó una medición semanal por cada lecho, en total 14, hasta el final del proceso.

3.2.7 Relación C/N

Para el cálculo de la relación carbono nitrógeno y cantidad de materia orgánica se acudió a un laboratorio especializado en este tipo de análisis. Los métodos utilizados fueron el de Kjelhal y White and Black. Este análisis se lo realizó al final del proceso y con la muestra de mejor resultado en temperatura.

3.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS

La metodología utilizada para el tratamiento de residuos sólidos inorgánicos fue la recolección de papel, cartón y plástico PET semanal, se instaló una estación de transferencia en la que eran depositados éstos materiales. Se acordó con las autoridades firmar un acuerdo de prestación de servicios con un gestor ambiental.

El gestor ambiental fue el encargado de acudir a la institución a recolectar el material recaudado por la comunidad y llevarse a que sufra un proceso de transformación, completando así el ciclo de tratamiento.

3.4 PESAJE FINAL, REDUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Para finalizar el programa de tratamiento y reducción de residuos sólidos y cumplir con los objetivos propuestos, fue necesario conocer el pesaje final y el aprovechamiento de los mismos. Una vez cumplidas las 18 semanas fue necesario sacar los porcentajes de reducción y de aprovechamiento de los residuos sólidos tanto orgánicos como inorgánicos respectivamente.

Para el cálculo de la reducción de los residuos orgánicos se tomó en cuenta tres datos; los de la primera y segunda semana, los de la novena y décima semana y los de las últimas dos semanas, es decir diecisiete y dieciocho. Con los datos obtenidos (en kilogramos) se procedió a calcular el porcentaje con la siguiente fórmula (Ángel, 2007, p.9):

$$\begin{array}{l} 100 \% \longleftrightarrow b \\ x \% \longleftrightarrow a \end{array}$$

$$\therefore x = \frac{a \cdot 100}{b} \%$$

Una vez obtenido el porcentaje actual de los residuos reducidos se promedió los tres valores obtenidos y se realizó la comparación con los residuos orgánicos iniciales.

La metodología para saber el aprovechamiento de los residuos inorgánicos al final del proyecto fue calcular el pesaje total de los residuos comunes, ubicados en el tacho negro, y pesar los materiales reciclados (papel, cartón y plástico). Aplicando la fórmula anteriormente mencionada se obtuvo el porcentaje de residuos que no fueron desechados y su fin fue el reciclaje.

4. Resultados

4.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS

4.1.1 Producción diaria y pesaje semanal inicial

Se realizó el pesaje durante dos semanas, excluyendo las muestras del primer día, con la ayuda de una balanza se registraron los siguientes resultados:

Tabla 14. Registro de pesaje inicial de la institución

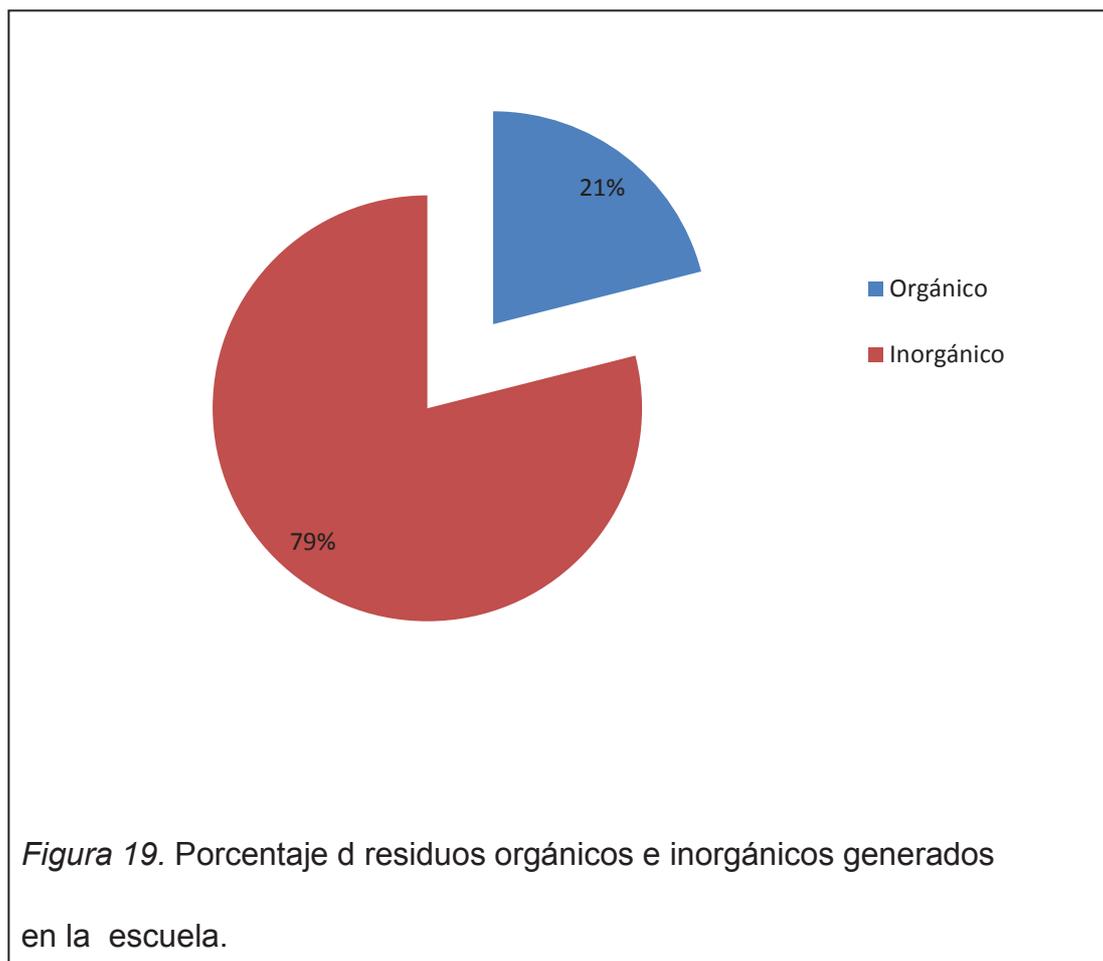
Día	Mes	Total (kg)	Orgánico	Inorgánico
Martes 26	Noviembre	10,30	7.30	2.70
Mie 27	Noviembre	16	4.55	11.45
Jueves 28	Noviembre	18.45	6.85	11.6
Viernes 29	Noviembre	50	6.85	43.5
Lunes 9	Diciembre	25	1.35	23.65
Martes 10	Diciembre	41.65	7.5	34.15
Mie 11	Diciembre	23.35	3	20.35
Jueves 12	Diciembre	11	3	8
Viernes 13	Diciembre	44.25	10.05	34.20

Con éstos resultados se determinó la cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos producidos en la institución, dando como resultado:

Tabla 15. Cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos producidos en la institución.

Producción de residuos sólidos		
Total	Orgánicos	Inorgánicos
240,05	50,45	189,6

Siendo así los porcentajes:



4.1.2 Caracterización de residuos

La caracterización se la realizó escogiendo una funda de basura al azar y aplicando el método de cuarteo separando los componentes de los residuos, en una muestra de 4,22 kg se caracterizó 1,13 kg (Ver Anexo 1 REGISTRO DE CANTIDAD DE RESIDUOS CARACTERIZADOS), dando los siguientes resultados:

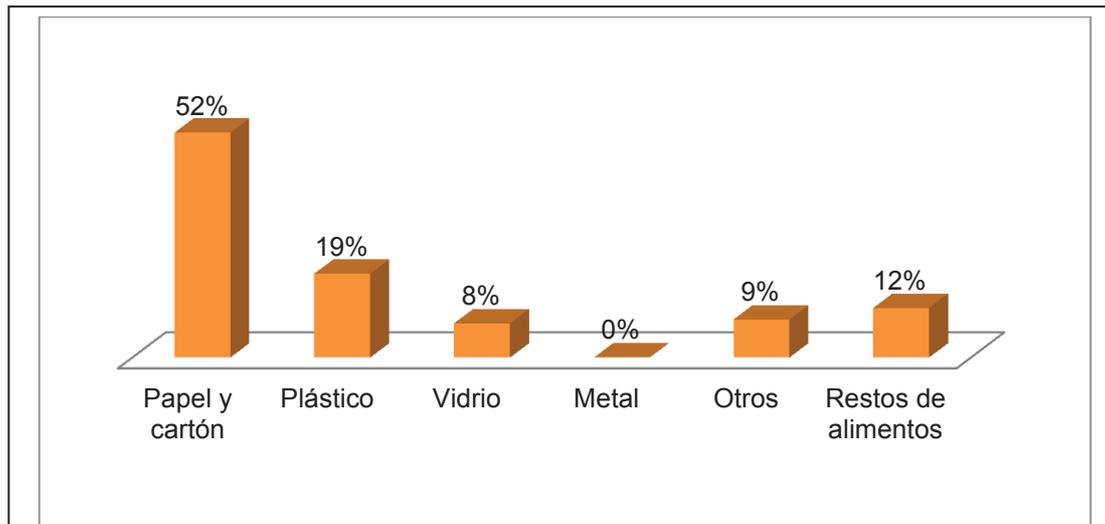


Figura 20. Porcentaje de materiales caracterizados de la muestra inicial de residuos producidos.

Como se observa en la figura 20, el 88% de los residuos producidos en la institución corresponden a residuos inorgánicos, mientras que el 12% es los residuos orgánicos que produce la comunidad educativa.

4.1.3 Generación per-cápita de residuos

Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{GPR} = \frac{W_t}{N_t}$$

Adaptado de Cantanhede et al., 2005, p. 6.

Donde: GPR= Generación per-cápita de residuos

Wt= Peso total de residuos (kg)

Nt= Número total de personas

Reemplazando queda:

$W_t = 240,05 \text{ kg}$

$N_t = 923 \text{ personas}$

Dando como resultado que la cantidad de residuos sólidos generados en promedio por día de cada miembro de la institución es de 0,26 kilogramos. Este resultado se toma en cuenta para el programa de reducción, esperando que al final del proyecto el número se reduzca en una cantidad razonable.

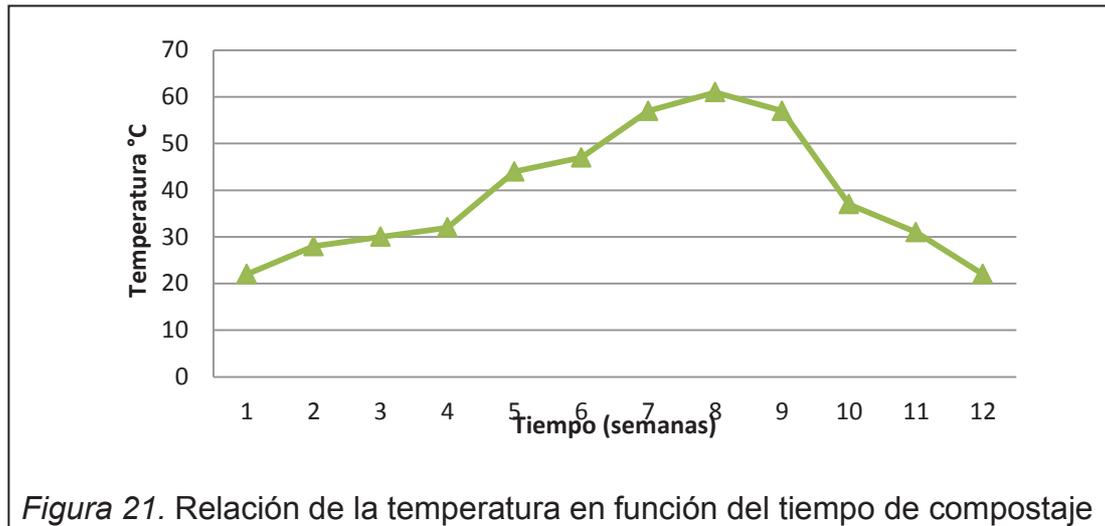
4.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

4.2.1 Compostaje a pila abierta

La formación de compost a pila abierta realizada en la institución tuvo una duración de 12 semanas. Se controló tres factores determinantes; temperatura, pH y composición química (Ver anexo 2 REGISTRO DE PARÁMETROS DE COMPOSTAJE A PILA ABIERTA). Los datos obtenidos en el monitoreo de los tres factores se presentan a continuación:

4.2.1.1 Temperatura

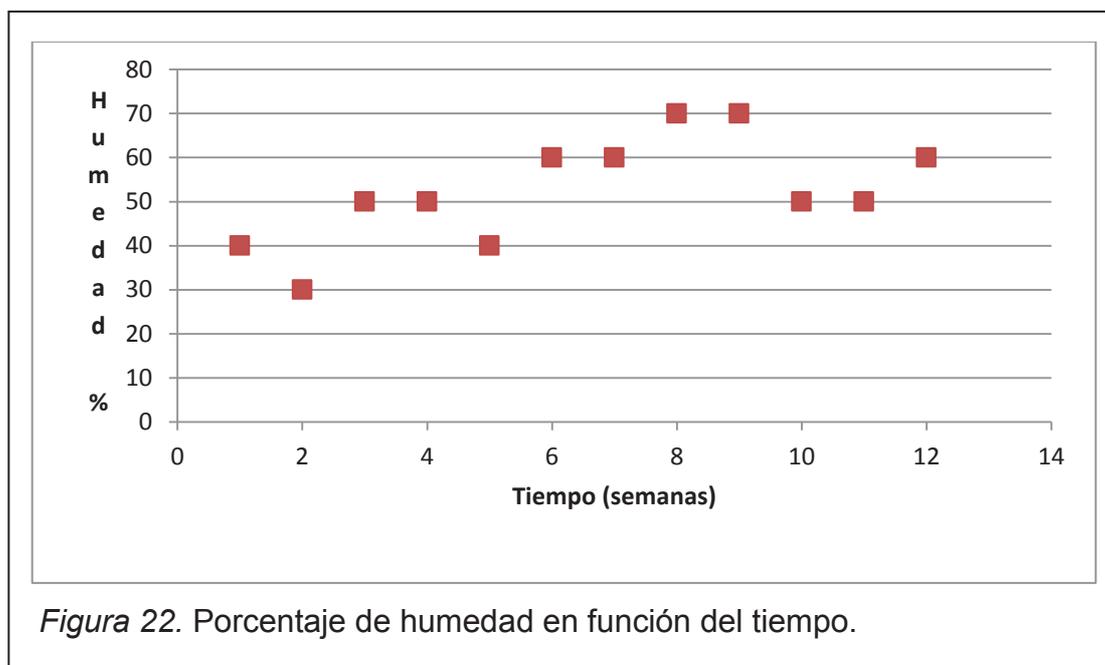
La temperatura es un factor a medir in situ y constituye el más importante en el proceso de compostaje, los resultados se muestran en la figura 20:



Durante las primeras cuatro semanas la temperatura alcanzó los 32°C, razón por la cual se decidió aumentar la cantidad de residuos orgánicos y melaza para que esta aumente, llegando en la semana 8 a 61°C, óptima para el proceso. Las siguientes 4 semanas la temperatura fue disminuyendo hasta estabilizarse y llegar a 22°C.

4.2.1.2 Humedad

La humedad fue medida semanalmente por el método del tacto (página 46), dando como resultado los porcentajes mostrados en la figura 21:



La humedad se mantuvo entre el 50% y 70%, según González y el método del tacto es un contenido de humedad aceptable y óptima.

4.2.1.3 Análisis químico

Antes de enviar al laboratorio el compost maduro, cabe mencionar que en la semana 11 se observó la presencia de lombrices de tierra. Los resultados del análisis químico se presentan en la tabla 15:

Tabla 16. Resultados del análisis químico del compost realizado a pila abierta

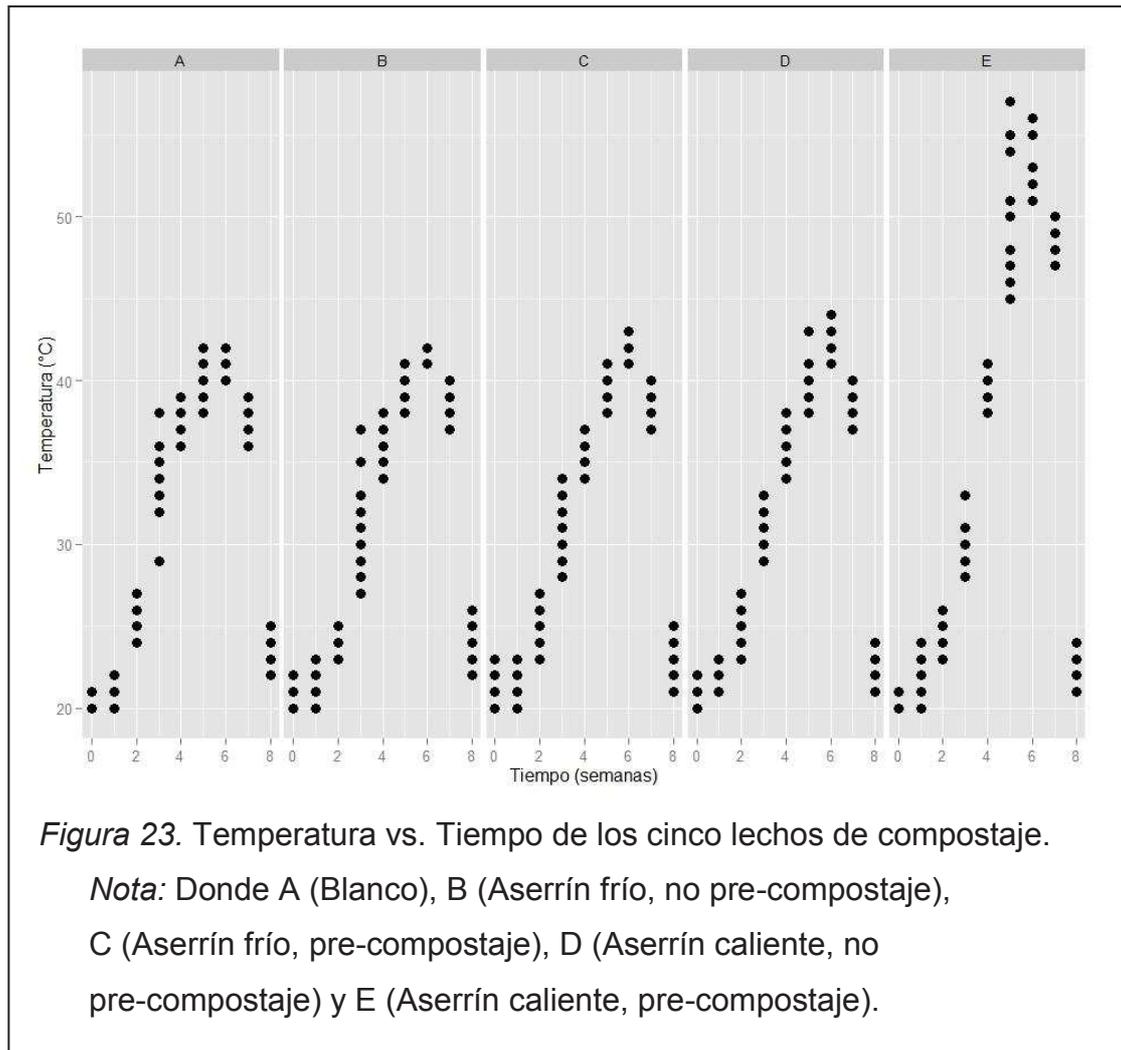
Análisis químico compostaje a pila abierta	
Elemento analizado	Resultado
Nitrógeno	0,35%
Carbono	3,78%
Materia Orgánica	6,53%
Relación C/N	10,82

4.2.2 Compostaje en reactores

El segundo método para obtener compost fue realizarlo en reactores, este tuvo una duración de 8 semanas y se controló 5 factores determinantes; temperatura, pH, densidad, humedad y análisis químico (Ver Anexo 3 PROMEDIO DE PARAMETROS ANALIZADOS DE COMPOSTAJE EN REACTORES). Los resultados del monitoreo de estos factores se presenta a continuación:

4.2.2.1 Temperatura

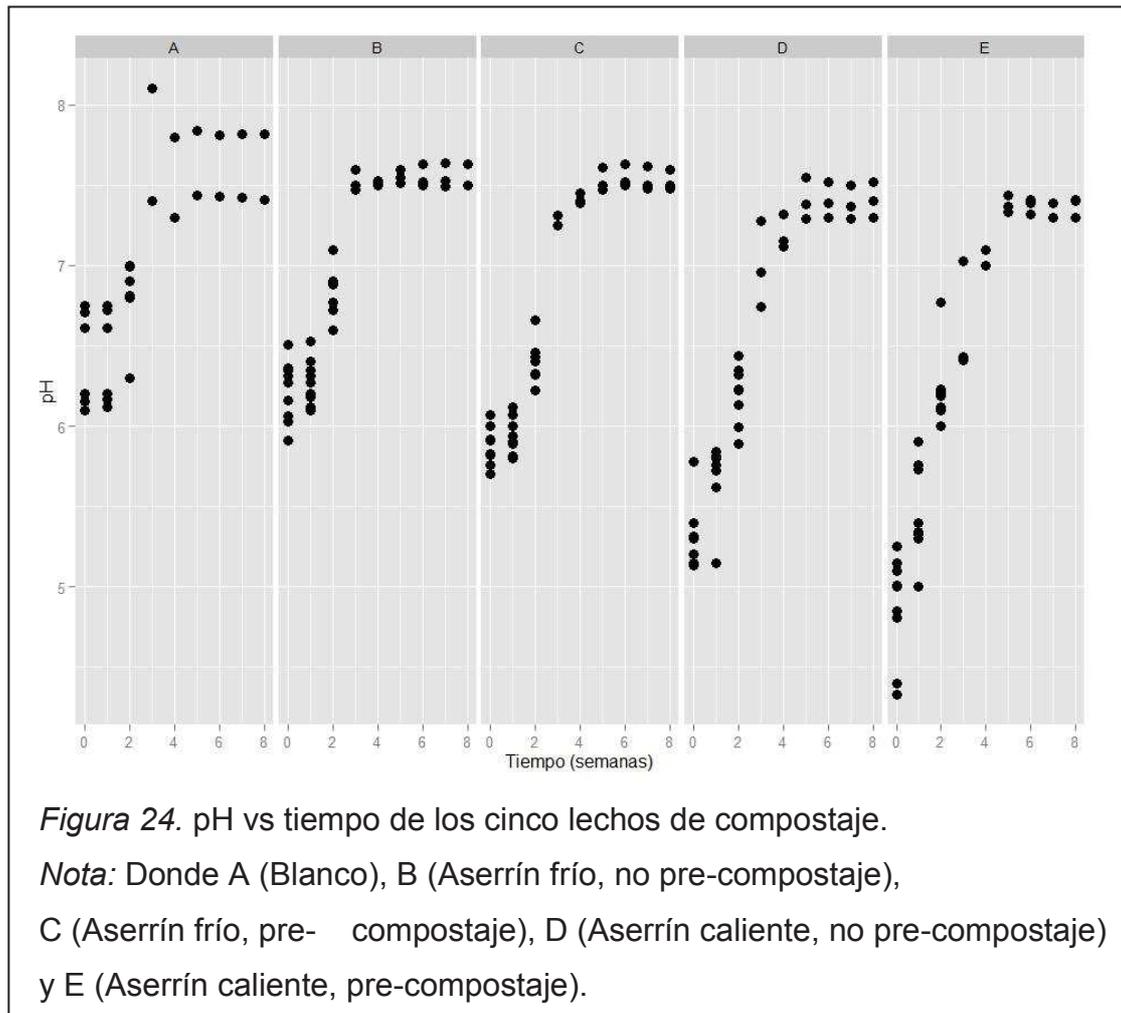
La temperatura es un parámetro indispensable en el proceso de compostaje; los resultados se presentan a continuación:



Como se puede observar en los lechos A, B, C y D la temperatura no alcanza su máximo óptimo que es de 60°C, a la sexta semana alcanzan temperaturas de 45°C a 47°C. El lecho E alcanza la temperatura máxima de 56°C a la sexta semana. A partir de la séptima semana comienza a descender la temperatura hasta estabilizarse en los 21°C.

4.2.2.2 pH

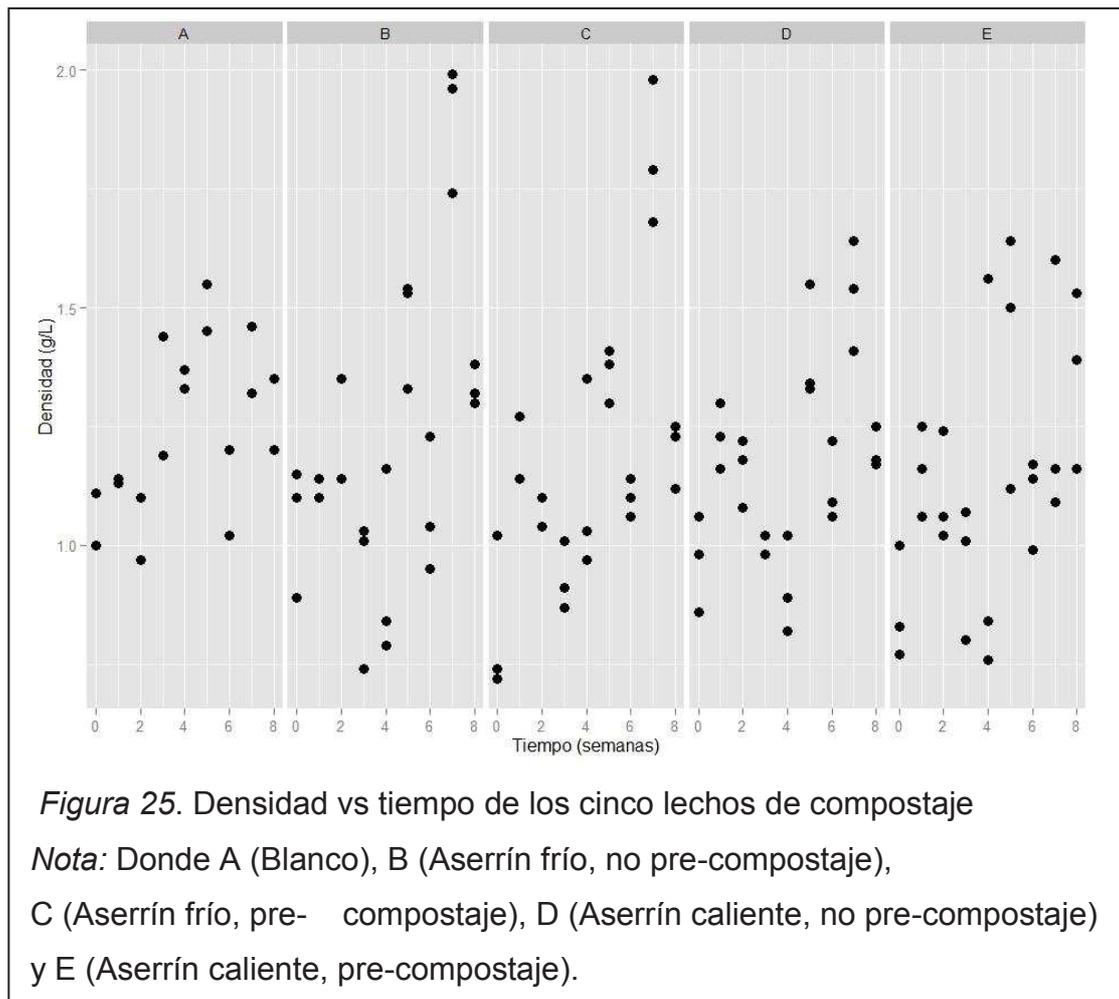
Los resultados finales de pH de los 5 lechos con sus repeticiones se muestran en la siguiente figura:



En la figura 23 se puede demostrar que el pH de los lechos A, B, C empezó entre 5,76 y 6,71 mientras que el lecho E presenta un pH ácido al inicio del proceso con 4,33. A la quinta semana el pH de todos los lechos se encuentra estable entre 7,3 y 7,8 llegando a la octava semana con un pH neutralizado.

4.2.2.3 Densidad

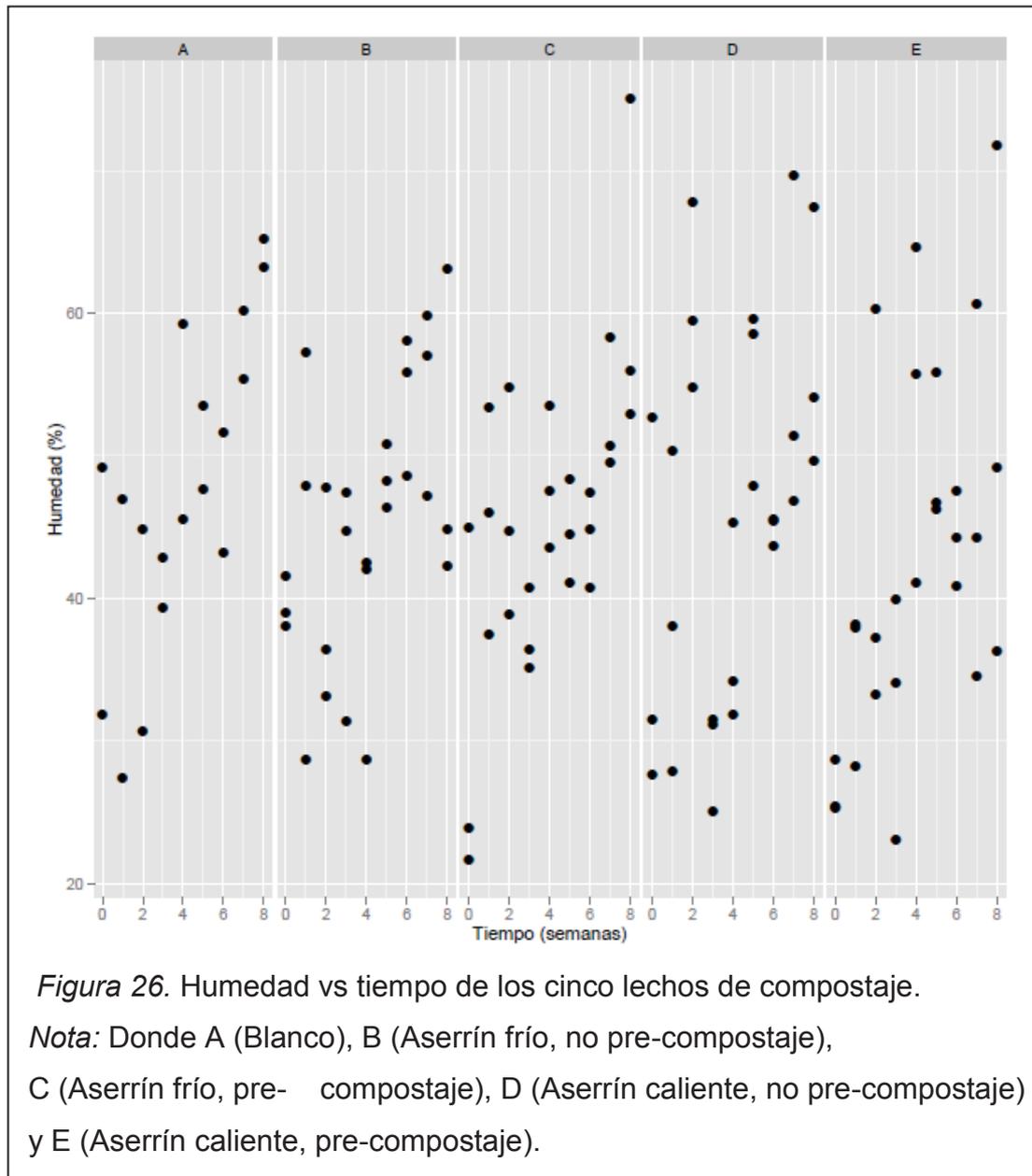
Los datos correspondientes a la densidad se muestran en la siguiente figura:



Como se puede observar en la figura 24, la densidad es un factor que no presenta cambios muy radicales, exceptuando en los lechos B y C donde llega a 1,99 g/L. Al final del proceso la densidad en los cinco lechos se encuentra entre 1,12 y 1,13 g/L.

4.2.2.4 Humedad

Los resultados del análisis de humedad durante las ocho semanas que duró el proceso se presentan a continuación:



Como se puede observar en la figura 24, el porcentaje de humedad inicial de todos los lechos de compostaje es bajo, en el lecho C inicia con un 22%, mientras transcurre el tiempo aumenta y llega a niveles óptimos entre 40 y 60%. En todos los lechos permanece en un nivel óptimo a partir de la cuarta semana.

4.2.2.5 Análisis químico

El análisis químico fue realizado únicamente al lecho que presente el mejor resultado en temperatura, razón por la que el lecho E fue analizado presentando los siguientes resultados:

Tabla 17. Análisis químico del lecho E

Análisis químico lecho E	
Elemento analizado	Resultado
Nitrógeno	0,77%
Carbono	13,44%
Materia Orgánica	23,18%
Relación C/N	17,46

4.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS

4.3.1 Reciclaje

El papel, cartón y botellas plásticas fueron destinados al reciclaje. Durante las 18 semanas que duró el programa de reducción y tratamiento fueron almacenadas en la estación de transferencia donde existía un sitio únicamente destinado a estos materiales. Al final del año lectivo se pesó lo recolectado y se realizó el contacto con el gestor para que el mismo lleve los materiales a pasar por un proceso de reciclaje. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18. Pesaje de papel, cartón y plástico

Pesaje de residuos inorgánicos	
Material	Peso (kg)
Papel	81,6
Cartón	38,41
Plástico	51,09

4.3.2 Reutilización

La reutilización fue aplicada en materiales que no podían ser llevados a proceso de reciclaje, razón por la cual la materia de “Artes Plásticas” que es parte del pensum académico de la institución creó el programa “Yo creo más y boto menos”, en el cual los estudiantes utilizaban éstos materiales para crear manualidades. Las manualidades que los estudiantes creaban eran destinadas a diferentes fines, tales como obsequios. Como ejemplo se ilustra en la siguiente figura:



Figura 27. Residuos reutilizados en manualidades.

4.4 PESAJE FINAL, REDUCCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS

4.4.1 Pesaje final

El programa duró 18 semanas, por semana se obtuvieron dos datos de residuos orgánicos e inorgánicos equivalentes a 72 datos de pesaje (Ver Anexo 4 REGISTRO DE PESAJE FINAL). El resultado final total fue de 318,76 kg de residuos enviados al relleno sanitario.

4.4.2 Reducción de residuos orgánicos

Para calcular la reducción de residuos inorgánicos se procedió a contabilizar el pesaje de los días martes y jueves durante 18 semanas, el control se lo realizó 3 veces. Los resultados se los muestra en la siguiente tabla:

Tabla 19. Reducción de residuos sólidos orgánicos de la primera y segunda semana

Semana	Peso (kg)	Orgánico
1	24,01	2,1
2	18	1,35
Total	42,01	3,45

Para calcular el porcentaje se aplicó la fórmula propuesta por Ángel, J.

$$\begin{array}{l} 100 \% \longleftrightarrow b \\ x \% \longleftrightarrow a \end{array}$$

$$\therefore x = \frac{a \cdot 100}{b} \%$$

En donde:

b= 50,45 (Orgánicos)

a= 3,45 (Orgánicos)

Reemplazando nos queda:

$X_{\text{Orgánico}} = 6,83\%$ orgánico

Según los resultados propuestos en la primera semana se aprovechó el 93,17% de los residuos orgánicos.

Para las siguientes cuatro semanas se aplicó el mismo método, obteniendo como resultado:

Tabla 20. Resultados del porcentaje de reducción en las semanas 9 -10 y 17-18

Semana	Orgánicos
9 y 10	7,13%
17 y 18	9,31%

Según los resultados propuestos en la semana 9 y 10 se obtuvo una reducción del 92,87% y en las semanas 17 y 18 se redujo un 90,69%.

4.4.3 Aprovechamiento de residuos inorgánicos

Para obtener el porcentaje de aprovechamiento se contabilizó el total de residuos comunes considerados también como inorgánicos y se sumó el papel, cartón y plástico recolectado, ya que éstos también forman parte de la generación total de residuos inorgánicos durante el programa. El aprovechamiento final de papel, cartón y plástico fue de 208,1 kg, el resultado de los residuos desechados durante las 18 semanas fue de 283,36 kg, dando un total de 491,46 kg. Aplicando la metodología para calcular el porcentaje se obtuvo que el aprovechamiento de residuos inorgánicos fue de 42,34%.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de la producción inicial y caracterización de residuos sólidos

Siendo como resultado la producción inicial de residuos sólidos 240,05 kg, 50,45 kg de orgánicos y 189,6 inorgánicos, se tiene como porcentaje inicial un 100% de producción de material que puede o no ser reciclable. En la caracterización se encontró que el 52% de material que se desecha es papel y cartón, seguido por el plástico, específicamente el de botellas plásticas y tarrinas que se consideran como PET (Polientilentereftalato). Los restos de

alimentos ocupan el tercer lugar de residuos mayormente producidos, con un 12%, por la comunidad educativa y como último lugar está el vidrio que no es considerado como material para tratar debido a su insignificante producción (8%).

Según estos resultados se establece que un 80% de papel desechado es de hojas de cuadernos que aún tienen vida útil, la otra parte es de retazos de papel que son utilizados para diferentes actividades y son desechados debido a que no se encuentra otro fin. El cartón es producto de materiales que adquiere la institución y el bar, el 90% útiles para empacar objetos. El plástico de tarrinas es debido a que en el bar de la institución sirven la comida en estos artefactos y las botellas plásticas son resultado de las colaciones que los estudiantes, maestros o personal de la institución llevan para el lunch.

La materia orgánica que se produce tiene el 90% de origen en el bar de la institución, el otro 10% proviene de los alimentos que consumen los estudiantes o el personal docente. La obtención de cáscara de frutas y vegetales en gran cantidad es algo beneficioso en el momento de aprovecharlo. El aprovechamiento de estos residuos fue en la fabricación de compostaje, tanto a pila abierta como en reactores.

5.2 Análisis de los procesos de educación ambiental aplicados a los diferentes grados de la escuela

Dentro de los objetivos específicos se encuentra la ejecución del programa de tratamiento de residuos sólidos mediante tres diferentes procesos aplicados a diferentes grados de la escuela. El desarrollo del programa se dividió en tres grupos de estudiantes a quienes se les capacitó en diferentes temas, todos relacionados con el tratamiento y reducción de residuos sólidos.

5.2.1 Alumnos de primero, segundo y tercer año de educación básica

La capacitación brindada a este grupo de estudiantes fue destinada para que identifiquen las clases de residuos sólidos que consumen, así como también el tipo de recipiente en el cual deben ser depositados. La capacitación contó con

un mimo, quién fue el encargado de brindar un ambiente didáctico a los estudiantes.



5.2.2 Alumnos de cuarto y quinto año de educación básica

La metodología aplicada para este grupo de estudiantes, además del reconocimiento de los residuos generados, fue la separación in situ. Los alumnos fueron capacitados para caracterizar, reconocer y clasificar los residuos producidos.



5.2.3 Alumnos de sexto y séptimo año de educación básica

La metodología para los estudiantes de sexto y séptimo año de educación básica fue la gestión que se realiza con los residuos sólidos generados.

Los estudiantes de sexto año formaron el “Grupo R” encargado de la recolección de los residuos los días martes y jueves a las 9H30 y de colocar el papel, plástico y cartón en su respectiva estación de transferencia.

Los estudiantes de séptimo año de educación básica fueron capacitados para realizar compostaje a pila abierta en la institución.



5.3 Análisis del tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el compostaje

5.3.1 Discusión sobre la experimentación de compostaje a pila abierta realizada en la institución

El compostaje a pila abierta en la escuela fue realizado con el fin de presentar una propuesta de aprovechar los residuos sólidos orgánicos mediante la realización de compost de manera tradicional, sin realizar análisis que requieran de laboratorios ni de implementos que muchas de las instituciones no posee. Los tres parámetros monitoreados fueron: temperatura, humedad y composición química. La composición química es el único factor que necesitó de un laboratorio especial para ser analizado.

En términos generales al proceso de compostaje a pila abierta se lo puede dividir en 4 fases:

Fase de latencia.- es la etapa inicial, en la que los elementos del compost son añadidos a la pila o al reactor, hasta que se constatan los incrementos de temperatura. La duración de esta etapa puede variar dependiendo del tiempo de la frescura de los materiales a compostar, va de 24 a 72 horas (Colomer y Gallardo, 2010, p. 60).

Fase mesófila.- El material colocado en la fase de latencia empieza a degradarse, esta actividad la realizan microorganismos que utilizan las fuentes de C y N para producir calor, la temperatura puede aumentar hasta 45°C y la fase dura entre dos y ocho días. El pH puede disminuir debido a la descomposición de compuestos solubles como azúcares convirtiéndolos en ácidos orgánicos (Román, Martínez y Pantoja, 2013, p.23).

Fase termófila.- Fase en la que la temperatura es superior a los 45°C, esta fase es característica por eliminar patógenos y semillas de malas hierbas (Universidad de Costa Rica, 2009, p.p 4-5). Los microorganismos de la fase mesófila son reemplazados por bacterias termófilas que actúan en la degradación de fuentes más complejas de carbono, como la celulosa. La

duración de esta fase depende del material a compostar, temperatura ambiente y otros factores; puede ser desde algunos días hasta meses. Las altas temperaturas de esta fase eliminan patógenos y bacterias contaminantes (Román, et. al, 2013, p.23).

Fase de enfriamiento.- Es la etapa en la que las fuentes de carbono y nitrógeno han sido totalmente descompuestas, la temperatura desciende y los microorganismos de la fase mesófila actúan nuevamente regulando el pH del compost. Esta fase dura varias semanas hasta que el compost esté listo para ser utilizado (Román, et. al, 2013, p.23).

En las etapas mencionadas anteriormente, existe una serie de factores que deben ser controlados para que el proceso sea óptimo y se pueda llegar a fabricar el compost de manera controlada. Los factores que deben ser controlados son: temperatura, pH, densidad, humedad y composición química. Las relaciones entre cada uno de estos factores se las verá en los siguientes análisis.

Dentro del proceso de compostaje existen micro y macro organismos que tienen funciones específicas en cada una de las fases anteriormente mencionadas. La actividad microbiana en el compost consiste en la multiplicación de poblaciones de microorganismos que se encargarán de la descomposición de la materia orgánica. Las poblaciones de microorganismos más activas son las de bacterias, actinomicetos y hongos, éstos se encargan del 95% de la descomposición de materiales. Los macro organismos (colémbolos, ácaros, lombrices) aparecen en las fases avanzadas del compostaje, cuando éste se acerca a la temperatura ambiente (Bueno, 2010, p 22).

- **Bacterias:** Las bacterias son pequeños y simples organismos que se presentan durante la primera etapa del compostaje (fase mesófila), son los encargados de la rápida degradación de la materia orgánica. Las funciones principales de las bacterias está la estabilización de nutrientes, asimilar los productos que degradarán los hongos y degradar

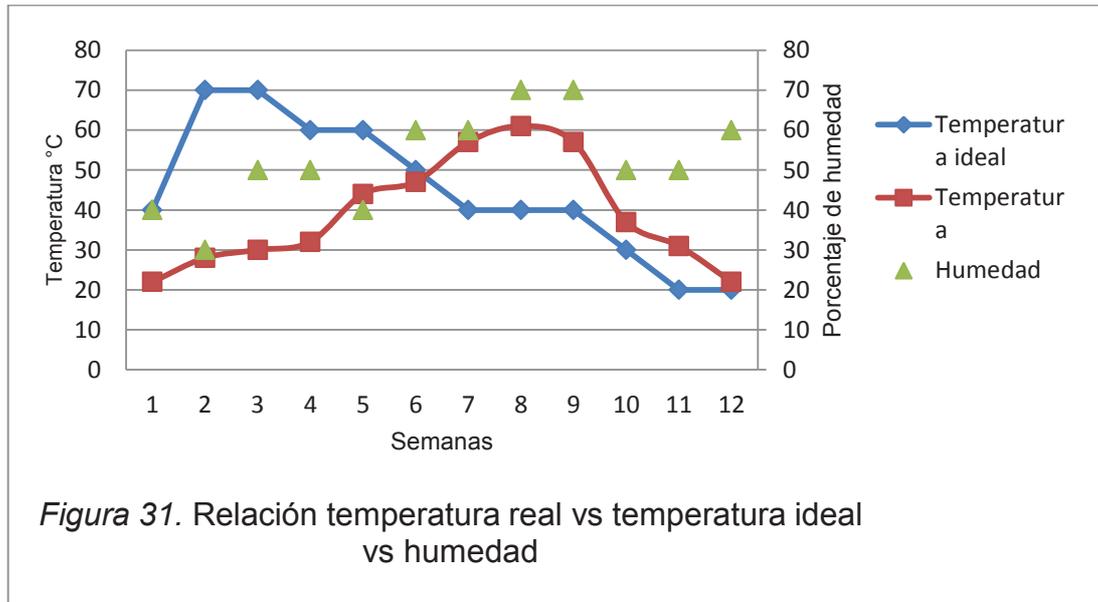
la celulosa. Las bacterias pueden degradar en condiciones de pH de 6-7.5 pero necesitan un nivel alto de humedad para desarrollarse. Las funciones de las bacterias es ayudar a que el proceso de compostaje siga con la siguiente etapa, la termófila (United States Department of Agriculture, 2010, pp.2-5).

- **Hongos:** Los hongos son organismos un poco más grandes que las bacterias, se presentan en etapas más avanzadas de compostaje (fase termófila) debido a que son los encargados de degradar material leñoso, proteínas complejas entre otros. Los hongos necesitan oxígeno para crecer y no pueden ser desarrollados en temperaturas menores a los 50°C. Los hongos son encargados de eliminar todos los organismos patógenos pero deben ser controlados para que no destruyan organismos benéficos para la siguiente fase de compostaje (United States Department of Agriculture, 2010, pp.2-5).
- **Actinomicetos:** Son similares a las bacterias debido a su tamaño y estructura, pero parecidos a los hongos por la forma de sus filamentos. Los actinomicetos son característicos en suelos con gran cantidad de materia orgánica y son los responsables de neutralizar el olor del compost, degradan ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos entre otros. Los actinomicetos prevalecen en las etapas finales de compostaje (enfriamiento) (United States Department of Agriculture, 2010, pp.2-5).
- **Macroorganismos:** Los macroorganismos como colémbolos, ácaros y lombrices aparecen en la etapa final de compostaje, es un indicador de que puede ser utilizado debido a que ha alcanzado la temperatura ambiente (Bueno, 2010, p 22).

El equilibrio adecuado de cada uno de los factores que intervienen en el proceso del compostaje, desde la fase de latencia hasta la maduración, son clave para obtener un compost en un tiempo corto y con características adecuadas para ser ocupado en huertos o en otras actividades.

5.3.1.1 Análisis de la temperatura vs humedad

La temperatura obtenida durante las dos semanas de compostaje es comparada con la temperatura ideal (Mohd, Latifah y Puziah, 2013, p.3). La humedad presentada en el proceso se muestra en la siguiente figura:



Como se puede observar en la figura 30; la temperatura adecuada (60-70°C) en el compostaje realizado a pila abierta se llega en la octava semana, a comparación del proceso ideal que esta temperatura se alcanza en la segunda o tercera semana. Los factores que pueden inferir para que no haya llegado en la semana deseada pudieron ser:

- **Baja humedad:** La falta de agua en el proceso, así como también si la cubierta del montón tiene agujeros que permitan que se pierda la humedad.
- **Insuficiente aireación:** La solución puede ser añadir pedazos de material de diferentes tamaños o voltear el montón (Diputación provincial de Barcelona, 2010, pp.25-26).
- **Pocos residuos verdes:** Agregar mayor cantidad de materia orgánica con alto contenido de carbono para nivelar la relación C/N y esperar el aumento de temperatura (Sztern y Pravia, 1999, p.22).

Analizando la figura 30, en la representación de la humedad, se puede notar claramente que entre las semanas uno y siete la humedad de la pila de compost se encuentra en un porcentaje entre 40 y 60%, que según el método del tacto es un nivel medio-aceptable para el compostaje (González, 1990, p.8). El nivel óptimo de humedad se alcanza en la octava y novena semana, razón para que la temperatura llegue al máximo y los microorganismos puedan degradar la materia orgánica. Además de controlar la humedad fue necesario aumentar la cantidad de residuos verdes (fuente de carbono) debido a que la profundidad de la pila era considerable.

La fase mesófila en el compostaje a pila abierta duró cinco semanas, la temperatura empieza a superar los 45 °C y el compost entra a su fase termófila a la sexta semana y llega a su máximo de 61°C a la octava semana. Pasando la décima semana empieza la etapa de enfriamiento hasta llegar a la temperatura inicial de 22°C (Moreno y Moral, 2008, p. 96). Un nivel bajo de humedad y la falta de material verde no permitió que la temperatura aumente y llegue a la fase termófila. Temperaturas menores a 45°C disminuyeron la actividad de descomposición de hongos, actinomicetos y bacterias, la baja actividad microbiana no permitió que la temperatura llegue a su nivel óptimo (Ceustermans, et. all, 2010, p.118). La estabilización de la humedad y el aumento de materia orgánica para degradar lograron que los diferentes microorganismos cumplan con su deber y degraden la materia orgánica hasta estabilizar el proceso y obtener un compost maduro para su utilización.

Como se mencionó anteriormente, en la semana once se observó la presencia de lombrices en la pila de compostaje. Las lombrices son macroorganismos que aparecen en el compost cuando éste se encuentra en el último proceso de descomposición, esto significa que la pila está llegando a temperatura ambiente. Las lombrices son indicadoras de que el compost está listo para ser utilizado y juegan un papel decisivo en la fertilidad de la tierra, su labor principal es devorar la materia orgánica restante y devolverla a la tierra perfectamente descompuesta (Bueno, 2010, pp. 24-26). Entre las principales bondades que aportan las lombrices al suelo se encuentran:

- Los agregados que producen con sus deposiciones favorecen el equilibrio arcillo-húmico.
- Otorgan a la tierra una estructura grumosa o granular que le da esponjosidad facilitando el intercambio gaseoso y la aireación, para así absorber y retener mejor el agua.
- Transforma el suelo mineral en suelo orgánico, más propicio para el desarrollo de las plantas.

(Bueno, 2010, pp. 25-26-27).

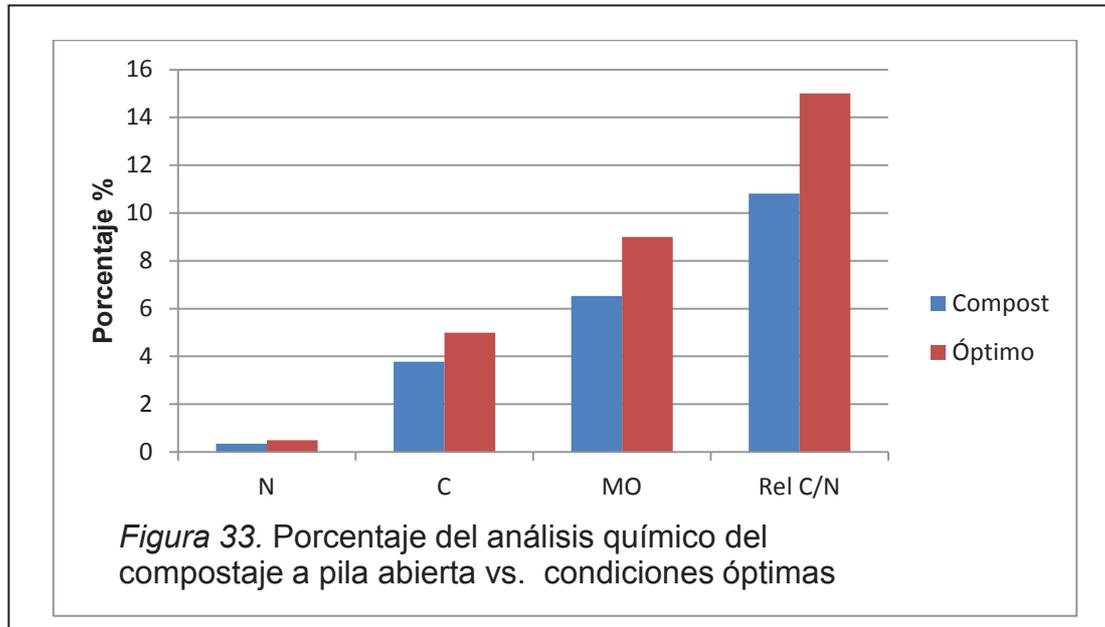
Debido a que el compostaje a pila abierta es un método tradicional, mediante la presencia de lombrices se puede asegurar que el proceso ha llegado a la maduración y es un indicador de fertilidad del suelo y buena composición.



Figura 32. Presencia de lombrices en el compost a pila abierta

5.3.1.2 Análisis de la composición química del compost a pila abierta

Los análisis de la composición química resultantes se encuentran a continuación:



- Como se puede observar en la figura, el porcentaje de nitrógeno es de 0,35%, carbono 3,78% y materia orgánica 6,53%, las relaciones óptimas se encuentran: N menor a 0,5%, C hasta 10%, MO 10% y C/N menor a 20. Comparando con los resultados los parámetros se encuentran estables y se consideran óptimos para que el compost sea de buena calidad y esté listo para su uso (Larreategui y Banchon, 2013, p. 33). El control que existió en los parámetros de humedad y temperatura, así como los residuos que contenían niveles de nitrógeno y carbono óptimos, permitieron que los resultados de la composición química sean estables.
- El análisis final de la relación C/N decrece según avanza el proceso, refleja el estado en el que se encuentran los materiales que fueron descompuestos (Agreda y Deza, 2009, p. 33). La relación final fue de 10,82, cuando el porcentaje final de la relación se encuentra en un rango menor a 20 quiere decir que el compost se encuentra ya maduro y es un porcentaje óptimo para la finalización del proceso (Moreno y Moral, 2011, pp. 101-102).

En el caso de la realización de pilas de compostaje abiertas, que es el modelo que se propone a utilizar en las instituciones, los tres parámetros presentados anteriormente son los principales a tomar en cuenta para saber el avance del proceso.

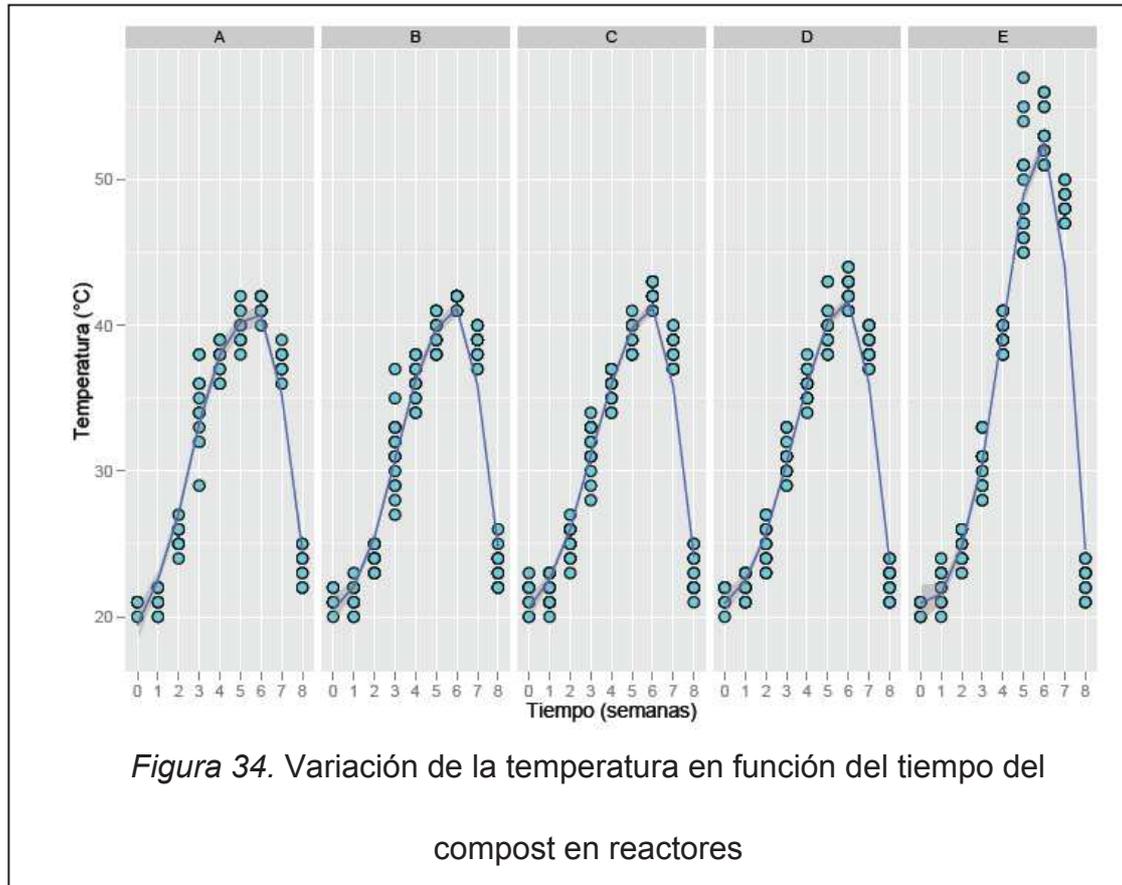
Para la medición de la temperatura es necesario un termómetro de suelo, sin embargo al momento del volteo con el tacto puede ser sentido el aumento notorio del calor dentro de la pila. Gracias al método del tacto, la humedad también puede ser medida in situ y permitir controlar el porcentaje ideal de 50-70%. Para conocer la culminación del proceso las lombrices son un indicador excelente, además de cumplir con esta función, son macro organismos que brindan fertilidad al suelo y aseguran una buena calidad del compost.

5.3.2 Discusión sobre la experimentación de compostaje en reactores

El compostaje en reactores se lo realizó en un ambiente con temperatura promedio de 20°C. Se construyeron 5 lechos de compostaje con tres repeticiones cada uno, exceptuando el lecho en blanco que solo tuvo una repetición, teniendo como resultado 14 lechos. Los factores a controlar fueron temperatura, pH, densidad y humedad para todos los lechos y la composición química para el lecho con mejor resultado de temperatura. Se obtuvieron un total de 1068 datos para analizar (Ver Anexo 3 PROMEDIO DE PARÁMETROS ANALIZADOS DEL COMPOSTAJE EN REACTORES); los resultados se presentan a continuación.

5.3.2.1 Efecto de variables operacionales en el incremento de la temperatura del compostaje

En la siguiente figura se muestra la variación de la temperatura en cada lecho de compostaje:



- **Lecho A (blanco).**- En el lecho A solo se añadió frutas y vegetales, el comportamiento de la temperatura no es el adecuado ya que la fase termófila no alcanza su máximo. La temperatura máxima fue de 42°C que se mantuvo durante dos días para disminuir en los siguientes ocho días hasta 37°C. Se puede concluir que la temperatura no alcanzó su máximo óptimo debido a que no fueron agregados componentes externos (pre-compostaje y aserrín caliente) a la mezcla de estos lechos.
- **Lecho B (Aserrín frío-no pre compostaje).**- El lecho B y sus repeticiones poseen un comportamiento similar al lecho A, la temperatura máxima que se llega fue de 42°C que se mantuvo durante cuatro días y consecuentemente descendió en una semana hasta los 38°C. A pesar de que este lecho posee dos de las variables aplicables, ninguna de éstas atribuye un aporte para el aumento de la temperatura.
- **Lecho C (Aserrín frío-pre compostaje).**- El lecho C presenta condiciones similares en temperatura a los dos lechos mencionados anteriormente. La temperatura máximo que observó es de 43°C durante

tres días. Se atribuye que existió un aumento de temperatura debido a que se añadió la mezcla del pre-compostaje, este posee mezcla de melaza, pétalos de rosa y se notó la presencia de microorganismos que ayudaron al aumento de la misma.

- **Lecho D (Aserrín caliente-no pre compostaje).**- La temperatura en el lecho D llega un grado más alto, a 44°C durante tres días, consecuentemente desciende hasta los 38°C en las siguientes semanas. El aserrín caliente es una razón para que en este lecho la temperatura pueda aumentar en comparación de los otros lechos.
- **Lecho E (Aserrín caliente-pre compostaje).**- El tratamiento del lecho E es el que mejor desarrollo en el aumento de temperatura presentó, llegando a 56 °C en la séptima semana y manteniéndose durante tres días, hasta en una semana y media descender hasta 47°C, máxima temperatura en el lecho D.

Como se mencionó anteriormente, el proceso de compostaje atraviesa por cuatro diferentes etapas principales:

- Fase de latencia: Estabilización de los elementos a compostar

La duración de la fase de latencia en los lechos de compostaje dependió de la frescura de los elementos a compostar, va de 24 a 72 horas (Colomer y Gallardo, 2010, p.60). En la figura 32 se muestran resultados a partir de la primera semana, en los registros presentados diariamente se observó que todos los lechos pasaron por una fase de latencia que duró 48 horas hasta observarse un aumento de temperatura. Se puede decir que el estado de los materiales fue óptimo.

- Fase mesófila: Temperaturas de 25-35°C

La fase mesófila observada en los diferentes lechos de compostaje duró 28 días, lo normal es que se alcance hasta en 8 días (Roman et. al, 2013, p.23). Se presentó aumentos de temperatura que van desde los 28°C hasta 40°C. La razón para que estos aumentos de temperatura no se hayan dado en un corto período de tiempo se debe a la humedad que presentaron los diferentes

lechos, así como también el tamaño de reactores y otros factores que se analizarán mas adelante.

- Fase termófila: Temperaturas de 35-65°C

La fase termófila de los lechos de compostaje se pudo observar a partir de la sexta semana, exceptuando el lecho E. En el lecho E el aumento de temperatura se visualiza desde la quinta semana, llegando a 57°C en la sexta semana y consecuentemente presentando un mejor comportamiento. La mejor fase termófila presentada por el lecho E se debe a la presencia de dos variables positivas (aserrín caliente y pre-compostaje). La actividad microbiana fue óptima y el aumento de temperatura notable.

La fase termófila de los cuatro primeros lechos de compostaje no supera los 43°C, cuando la temperatura óptima es mayor a 50°C. Existen ciertas variables que se asocian a que este proceso no haya alcanzado los resultados esperados, entre las principales se encuentran:

- **Tipo de reactores.-** El compost se lo realizó en un reactor de 1200 cm³, cuando un volumen adecuado para compostar es a partir de 3000 cm³ (Bueno, Díaz y Cabrera, 2010, p.5), éste es un factor para que el proceso haya sido tardío y no alcance una temperatura óptima para que los microorganismos degraden la materia orgánica (Diputación provincial de Barcelona, 2010, pp.25-26).
- **Pre-compostaje.-** El pre-cultivo, a base de pétalos de rosa y melaza, fue utilizado en los tratamientos D y E, el tratamiento D llegó a la temperatura más alta de los 4 lechos analizados. Se puede atribuir el pre-compostaje como el procedimiento que se realiza antes de la conformación de los lechos que tiene como objetivo acondicionar la masa del material a compostar para que el proceso sea más óptimo (Sztern y Pravia, 1999, pp. 11-12).
- **Humedad.-** El porcentaje de humedad fue un factor que influyó en el comportamiento de la temperatura de los lechos de compostaje. Esta será analizada en los siguientes puntos de este trabajo de investigación.

Estos tres factores atribuyen al comportamiento de la temperatura de los cuatro lechos (A, B, C Y D). El experimento permitió conocer e interpretar las mejores condiciones para el compostaje. No se buscó que todos los tratamientos sean óptimos, al contrario, se esperó resultados diferentes para conocer cuáles serían las condiciones adecuadas para realizar compost.

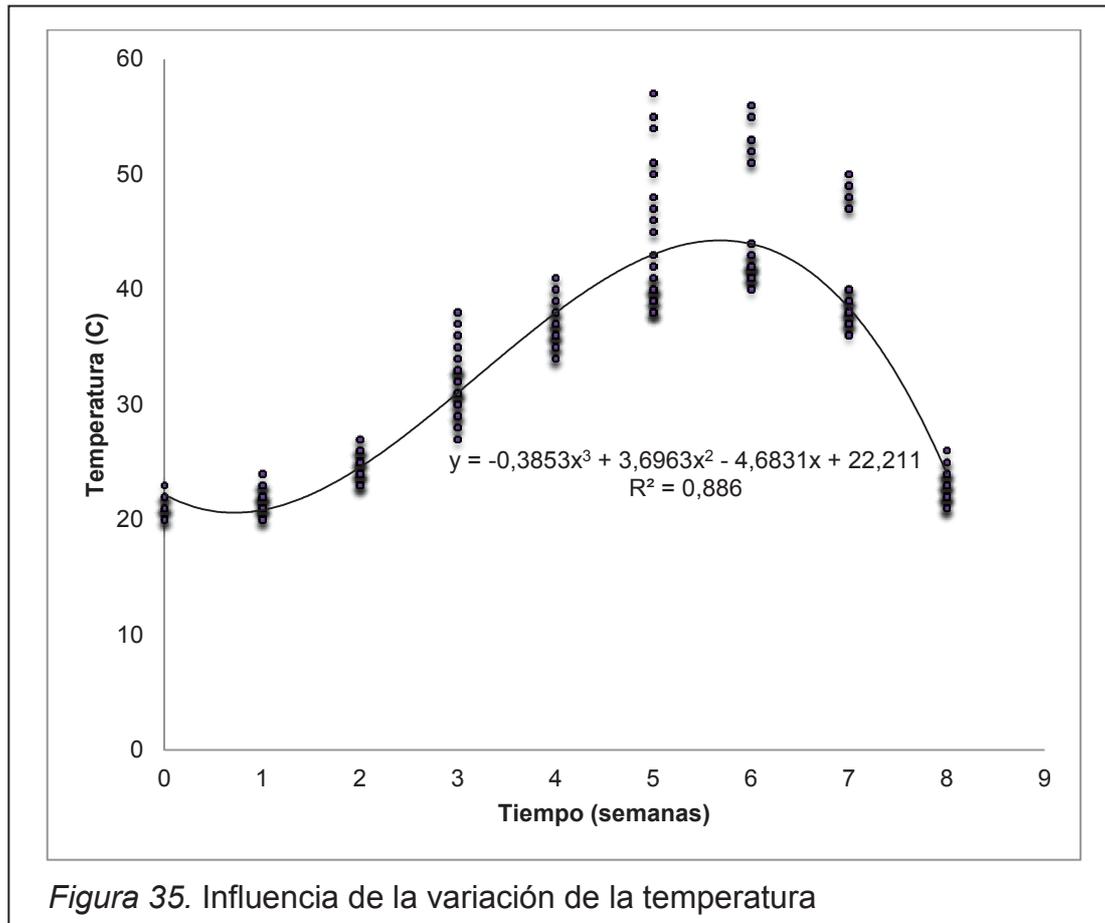
El pre-compostaje a base de melaza y pétalos de rosa influyó de manera positiva en el aumento de temperatura de los lechos en los que se añadió. Dentro de la composición química que presenta la melaza y los pétalos de rosa se encuentra un alto contenido de hidratos de carbono, vitamina B y minerales como hierro, cobre y magnesio. Los hidratos de carbono, la vitamina B y los minerales influyeron en el aumento de temperatura ya que la función principal es de prestar energía inmediata y estructural (Martin, 2010, p.6).

La presencia de altas temperaturas en el aserrín se atribuye a microorganismos que se hicieron presentes antes de la descomposición de la materia orgánica (Grez y Gerding, 1995, p.4). Se puede concluir que esta variable fue de gran influencia para los lechos en los que fue aplicado ya que se observa un notable aumento de temperatura, sin embargo se considera para abrir una nueva línea de investigación en la búsqueda o caracterización molecular de las poblaciones microbianas.

La fase de enfriamiento fue cumplida por los cinco lechos de compostaje, completando así la última etapa para considerar un compost maduro.

5.3.2.1.1 Análisis estadístico

El análisis estadístico se lo realizó para determinar si existió una incidencia de los factores X_1 (Aserrín caliente) y X_2 (pre-compostaje) en el aumento de la temperatura a comparación de los cuatro lechos. Se obtuvo un modelo matemático del análisis de la temperatura:



Cuando el coeficiente R se acerca a 1 la regresión lineal explica el fenómeno, es decir que la realidad es que sí existió un cambio de temperatura debido a los factores (pre-compostaje y aserrín caliente) que intervinieron en el proceso de compostaje.

El aumento de la temperatura del lecho E es justificada mediante este método que explica la influencia de los factores en este parámetro, lo que se puede concluir que el tratamiento E es el mejor para desarrollar compost.

- **Análisis de la varianza**

El análisis de la varianza se lo realizó en Microsoft Office Excel, dando los siguientes resultados:

Tabla 21. Análisis de la varianza de la temperatura del compostaje en reactores

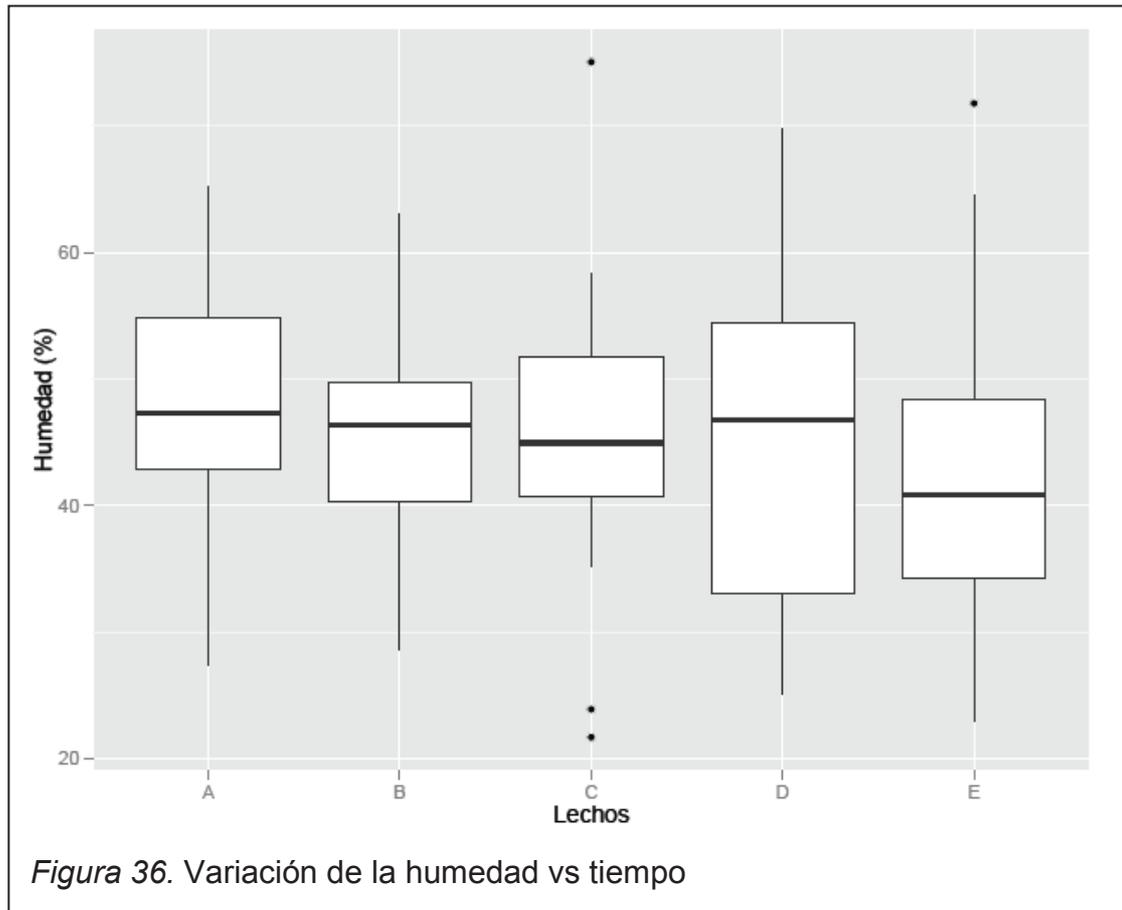
RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Varianza</i>
Temperatura A	43	1359	31.60465	60.3876
Temperatura B	43	1356	31.53488	71.06423
Temperatura C	43	1349	31.37209	65.33444
Temperatura D	43	1326	30.83721	60.56811
Temperatura E	43	1526	35.48837	174.9701

ANOVA						
<i>Origen de variaciones</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	608.3442	4	152.086	1.758934	0.001384	2.414642
Unitarios	18157.63	210	86.46489			
Total	18765.97	214				

Como se puede apreciar en la tabla 20, el valor de la probabilidad es de 0,001384 lo que significa que sí existe una diferencia estadística entre los lechos comparados, considerando a $p < 0,05$. Se muestra que es contundente los resultados y se atribuye el mejor tratamiento al lecho E que contiene pre-compostaje y aserrín caliente, en relación con la Figura 35.

5.3.2.2 Efecto de la humedad en el incremento de temperatura de los lechos de compostaje

En la siguiente figura se analizará de qué manera afecta el porcentaje de humedad en el aumento de temperatura.



- **Lecho A.-** La humedad empieza relativamente baja 27% y alcanza el 65% en ciertas semanas, como promedio se obtiene que la humedad de este lecho estuvo situado en un 50%.
- **Lecho B.-** El porcentaje de humedad de este lecho es similar al del lecho A, entre 45 y 50%.
- **Lecho C.-** El lecho C presenta un mejor comportamiento inicial de humedad, situándose en un porcentaje de 35% y promedio de 45%.
- **Lecho D.-** El lecho D posee un porcentaje aceptable de humedad situándose entre 50 y 60%.
- **Lecho E.-** La humedad del lecho E es la más baja al inicio con un 23%, pero conforme avanza el tiempo y el proceso, llega a porcentajes de 65%.

Dentro del compostaje el control de la humedad es un factor indispensable para el desarrollo del proceso, determina el avance y el tiempo en el que la materia orgánica es degradada. Un mal control de la humedad llevará al compost a condiciones anaerobias y producción de olores. Mantener el porcentaje de humedad entre 40 y 60% es un rango óptimo y aceptable para el desarrollo del proceso (United States Department of Agriculture, 2010, p. 21). Si el contenido de humedad supera el 60% el agua saturará los poros, el proceso se tornará anaerobio y se logrará la putrefacción de la materia orgánica, por otro lado si la humedad es demasiado baja la actividad de los microorganismos disminuirá y no se podrá llegar a la temperatura deseada. La importancia del porcentaje de humedad radica también en la actividad microbiana, los microorganismos necesitan del agua como medio de transporte de nutrientes (O’Ryan y Riffo, 2007, p. 17).

Según el análisis realizado, otra de las razones para que la temperatura, en algunos lechos, no haya alcanzado niveles óptimos en corto tiempo es debido a que la humedad no se encontraba en un porcentaje correcto (60% -70%) para que exista actividad microbiana, la materia orgánica sea degradada y los patógenos eliminados. El contenido de agua en la mezcla es un factor crucial para operar en condiciones aeróbicas y que la temperatura sea alta (Yoshii, Moriya y Oshima, 2013, pp. 121-122). Se puede concluir que la humedad es una variable que puede y debe ser controlada semanalmente para optimizar el proceso.

5.3.2.3 Comportamiento del pH vs tiempo de compostaje

En la siguiente figura se muestra el avance del pH con respecto a las 8 semanas que duró el compostaje.

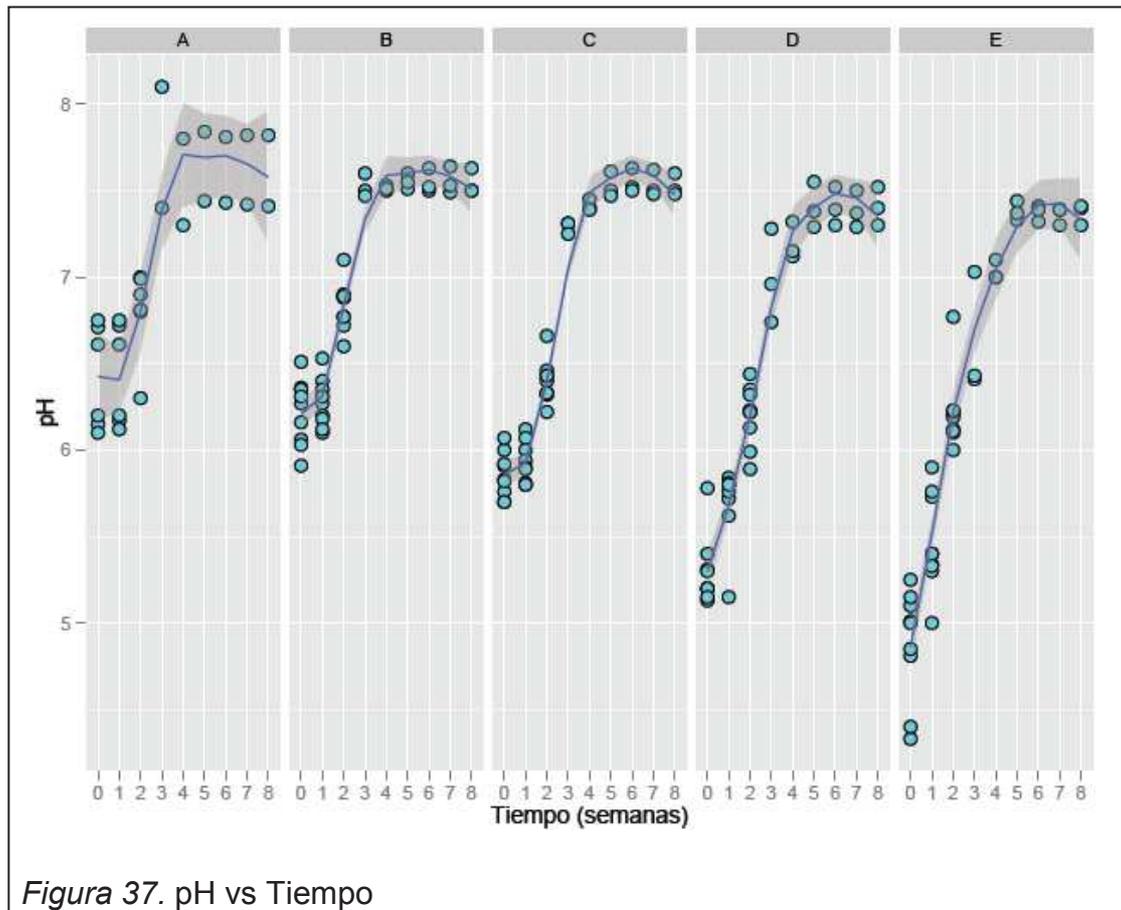


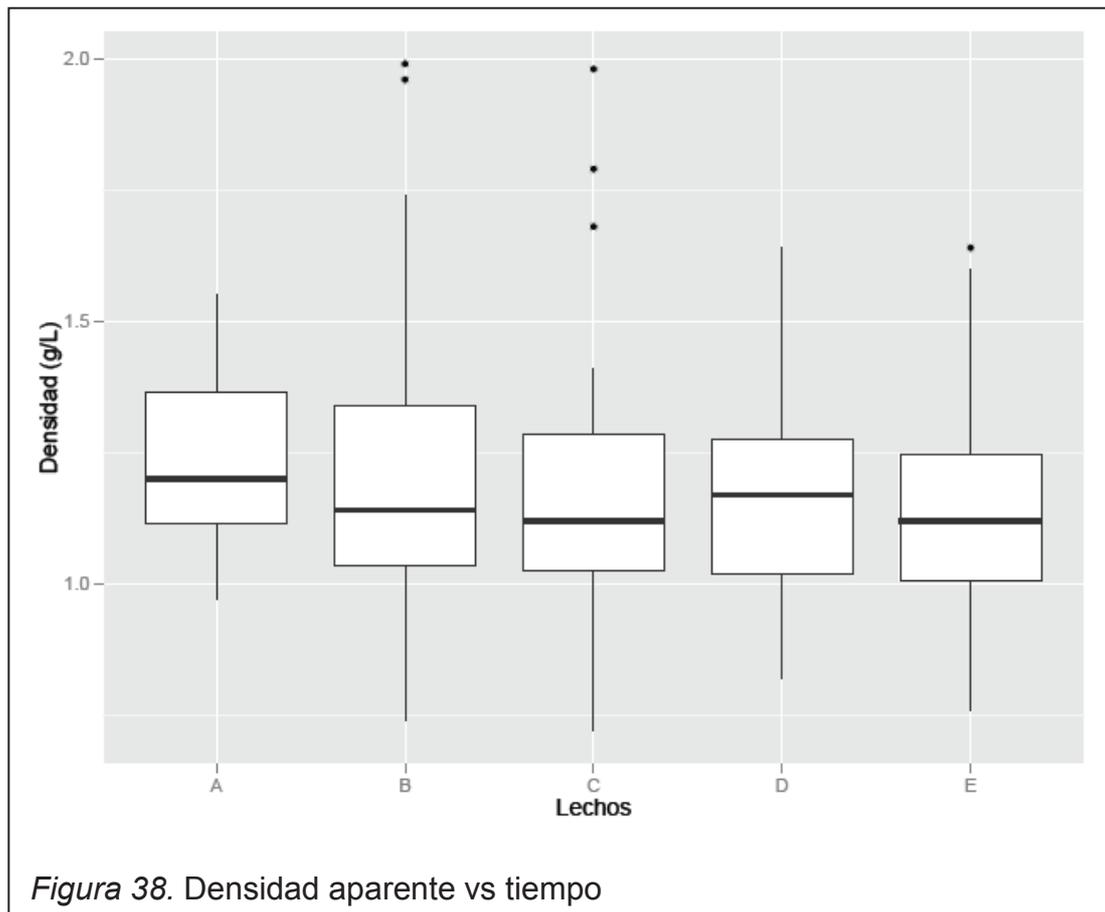
Figura 37. pH vs Tiempo

El comportamiento del pH de los lechos A, B y C es similar al principio, se inició con un pH de 5,8 a 6,1 y aproximadamente en la cuarta semana se estabiliza obteniendo un pH de 7 a 7,8. A comparación de los lechos D y E que iniciaron con un pH ácido, situándose entre 4,5 y 5,2, pero conforme avanzan las semanas se estabiliza en un pH de 7,3 y 7,5.

El pH varía según el lecho y también el tipo de compostaje que fue utilizado, a pesar de que algunas veces el pH puede ser ácido o alcalino se estabilizará conforme avance el proceso debido a la acción de bacterias y hongos (Shammas y Lawrence, 2011, p. 653). El pH varía en las tres etapas de compostaje, al principio tiende a disminuir en la etapa mesófila, aumenta en la fase termófila y finalmente se estabiliza en el enfriamiento, el rango óptimo va desde 6.5 a 8 (O’Ryan y Riffo, 2007, p. 17). La acción de hongos y bacterias ayuda a la conformación de ácidos orgánicos que posteriormente estabilizarán el pH de los lechos (Lozada, Parra y Martínez, 2008, p.13).

El pH de los cinco lechos de compostaje se estabiliza a partir de la quinta semana en un rango de 7 a 7.8, cumpliendo a cabalidad con este factor.

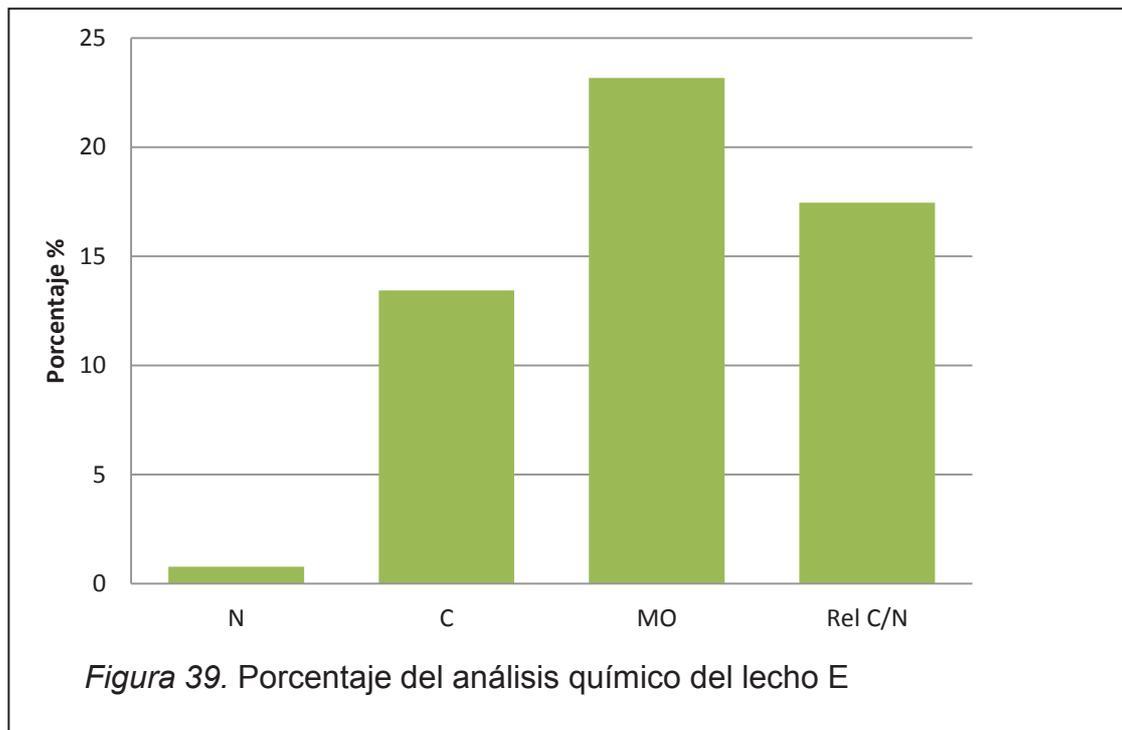
5.3.2.4 Análisis de la densidad en el transcurso del tiempo



La densidad es la relación que existe entre el peso de la muestra y el volumen, ésta aumenta en función del tiempo e indica que existe una mayor degradación de materiales y reducción del tamaño de las partículas (Gordillo y Chávez, 2010, pp. 34). Como se muestra en la figura la densidad de los lechos empezó menor en un promedio de 0.82 y conforme pasó el tiempo se ubicó entre 1 y 1.2, aunque la relación óptima es de 0.4 y 0.9, el aumento de la densidad es señal de que la humedad, la degradación de materiales y el contenido de materia orgánica hicieron efecto sobre el volumen y la masa del compost. La relación entre la densidad y la humedad tiende a ser los espacios vacíos que existen según el porcentaje de agua, cuando el nivel de humedad es alto, la masa se compacta. Debido al análisis de la humedad que fue relativamente

bajo, se puede deducir que la densidad tiende a ser alta debido al aire existente en la mezcla.

5.3.2.5 Análisis químico del lecho E



El porcentaje de nitrógeno fue de 0,77% lo que es un excelente indicador para que el compost se encuentra listo ya que el porcentaje del nitrógeno seco de un compost maduro es menor a 1% (Román et al, 2013, p.31).

El contenido de materia orgánica (23,18%) es importante debido a que éste determinará la calidad del suelo una vez que el compost ya sea utilizado, el porcentaje normal de un compost maduro es de entre 20 y 25% (Termorshuizen, Moolenaar, Veeken y Blok, 2005, p. 344).

La relación carbono nitrógeno final óptimo se encuentra menor al 20%, el resultado final de esta relación en el lecho E fue de 17.46, indicador que el compost se encuentra maduro.

Los resultados de la composición química del lecho E son un indicador de que el compost ha cumplido su proceso completo, pasando por las tres etapas; mesófila, termófila y de enfriamiento. La humedad fue un factor que presentó

un comportamiento no tan favorable para el desarrollo del proceso que se atribuye a la disminución de temperatura y retraso del tiempo para la degradación de la materia orgánica. El tratamiento implementado en el lecho E que fue de aserrín caliente y pre-compostaje fue un factor clave para el mejor desarrollo de este lecho, atribuyendo los resultados a la composición química que obtuvo al final del proceso.

5.3.2.6 Análisis mediante el color del compost

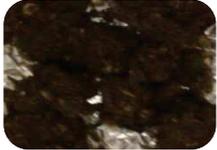
El compost que fue añadido a los lechos en las primeras semanas poseía un color marrón claro, acercándose al amarillento. En la última semana se puede observar un cambio notable a un color marrón oscuro casi negro. El compost obtenido en los lecho D y E es mucho más oscuro en comparación con los demás lechos.

Se atribuye un color marrón oscuro o casi negro al compost cuando se encuentra en su etapa de maduración, esto significa que está listo para ser utilizado y contiene una gran cantidad de materia orgánica, necesaria para la fertilización de los suelos en los que vaya a ser aplicado (Bueno, 2010, p.65).

En la tabla 21 se puede observar el cambio de color de los cinco lechos de compostaje, desde la semana inicial hasta la octava semana en la que se cumplió el proceso de compostaje.

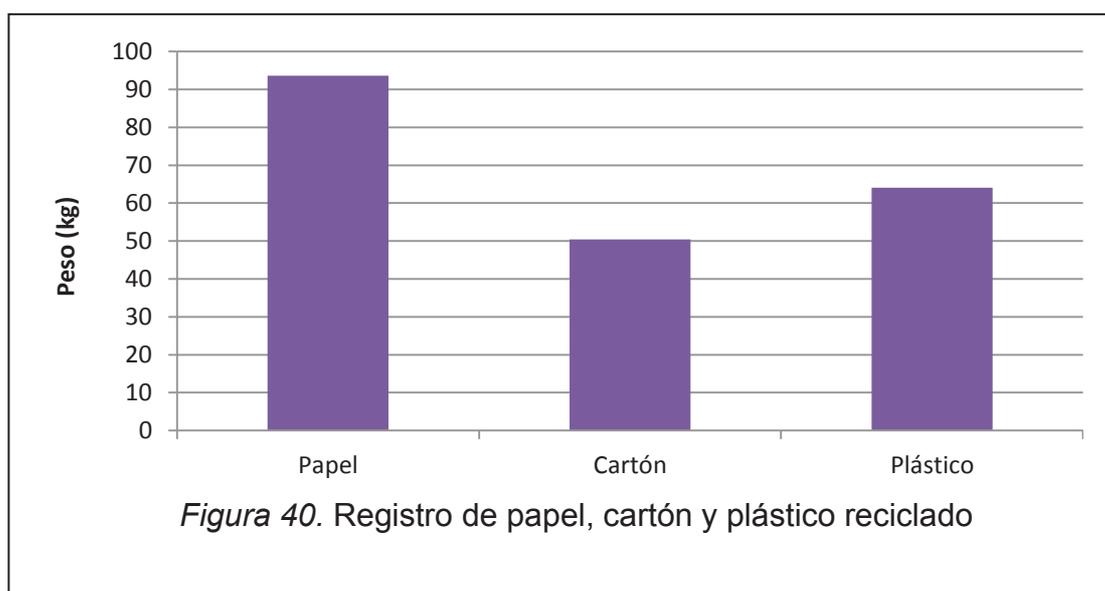
Tabla 22. Resultados del cambio de color del compostaje en reactores

LECHO	SEMANA 1	SEMANA 8
A		
B		
C		

LECHO	SEMANA 1	SEMANA 8
D		
E		

5.4 Análisis del tratamiento de residuos sólidos inorgánicos mediante el reciclaje y la reutilización

El tratamiento de los residuos sólidos inorgánicos fue el reciclaje y la reutilización. El programa propone un almacenamiento de papel, plástico y cartón durante el año lectivo hasta que se posea una cantidad razonable para ser entregada a un gestor ambiental. La escuela contó con dos estaciones de almacenamiento y una estación de transferencia, las estaciones de almacenamiento fueron destinadas al papel, cartón y plástico y la estación de transferencia únicamente para los residuos que eran destinados al relleno sanitario (residuos comunes). El porcentaje de residuos reciclados se presenta a continuación.



Al final del año lectivo, y del programa, se logró recolectar 208.1 kg de papel, plástico y cartón. Se firmó un acuerdo de prestación de servicios entre la institución y el gestor ambiental encargado del reciclaje de los materiales (Ver Anexo 5 ACUERDO DE PRESTACION DE SERVICIOS). El total de 171.1 kg recolectados fue adquirido por el gestor completando así el ciclo del programa y finalizando con el tratamiento de los residuos sólidos inorgánicos.

Como resultado del programa de reducción y tratamiento de residuos sólidos se obtuvo el reconocimiento de entidades públicas y privadas hacia la institución por el servicio que fue brindado, tanto hacia la comunidad de estudiantes como al ambiente (Ver Anexo 6 DIPLOMAS DE RECONOCIMIENTO). La escuela participó en un concurso organizado por el Ministerio de Educación para las “Escuelas del buen vivir” con el presente proyecto, lo denominó “Salvando el planeta con mi escuela sin basura” establecido entre los diez primeros lugares de entre más de 60 instituciones públicas y privadas de los cantones Rumiñahui y Mejía.

Los reconocimientos que obtuvo la institución fueron motivación para la comunidad educativa a continuar con el desarrollo del presente programa, razón por la cual las autoridades decidieron continuar con el proyecto con la siguiente generación de estudiantes.

El programa de tratamiento y reducción de residuos sólidos fue un proyecto completo, ya que no solo envuelve el ámbito de la conservación ambiental, sino también es incluido dentro del pensum académico en la materia de “artes plásticas”, los docentes encargados de impartir esta materia crearon un programa llamado “Yo creo más y boto menos”. Las manualidades que los estudiantes desde primer año hasta séptimo año de educación básica realizaban eran con el plástico obtenido de las tarrinas que eran desechadas del bar.

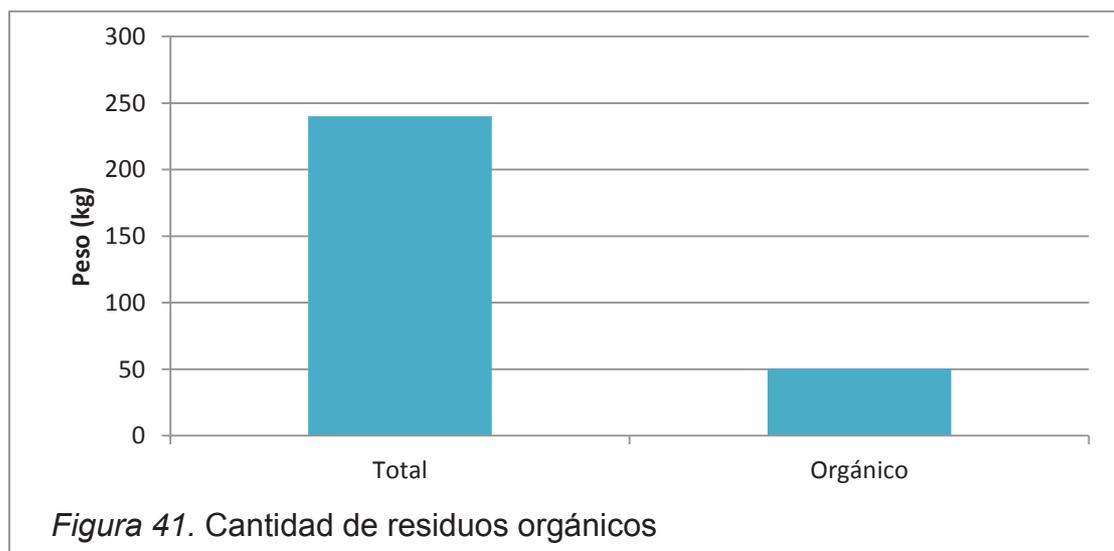
La conciencia ambiental creada mediante este programa se muestra en los resultados de reducción que se produjo al final del año lectivo. La educación ambiental que fue impartida llegó hasta el hogar de varios de los estudiantes.

Los padres de familia realizaron un reconocimiento a las autoridades y a al presente estudio, ya que en muchos de sus hogares este programa estaba siendo implementado.

El programa inició con personas ubicadas en primer nivel de educación ambiental, saben de la existencia del tema pero desconocen el verdadero significado y la importancia de este (Tokuhama y Bramwell, 2012, p.126), y al final del año lectivo fueron ubicadas en el tercer nivel, poseen un conocimiento más profundo del tema y realizan actividades en pro del ambiente. Entre los principales objetivos que abarca la educación ambiental está el manejo de residuos sólidos, la comunidad educativa incursionó en un proyecto que permite la reducción por ende la conservación del ambiente, cumpliendo así con los objetivos de impartir conciencia ambiental durante el tiempo que dure el programa.

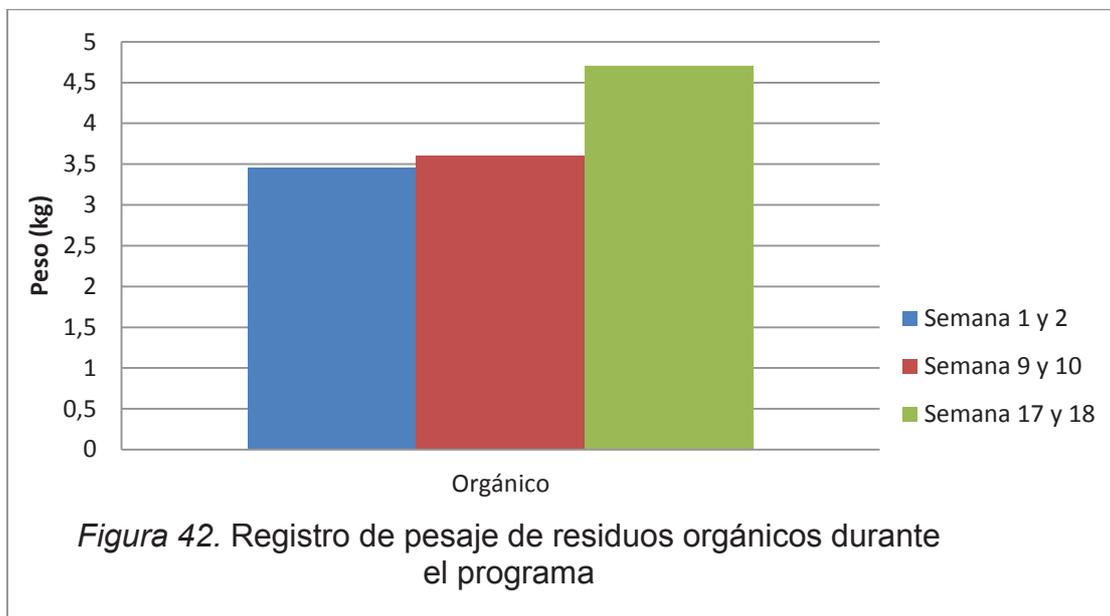
5.5 Análisis de la reducción de residuos sólidos orgánicos al final de la implementación del programa

Al inicio del programa se pesó los residuos producidos durante dos semanas consecutivas, obteniendo los siguientes resultados de residuos orgánicos producidos:

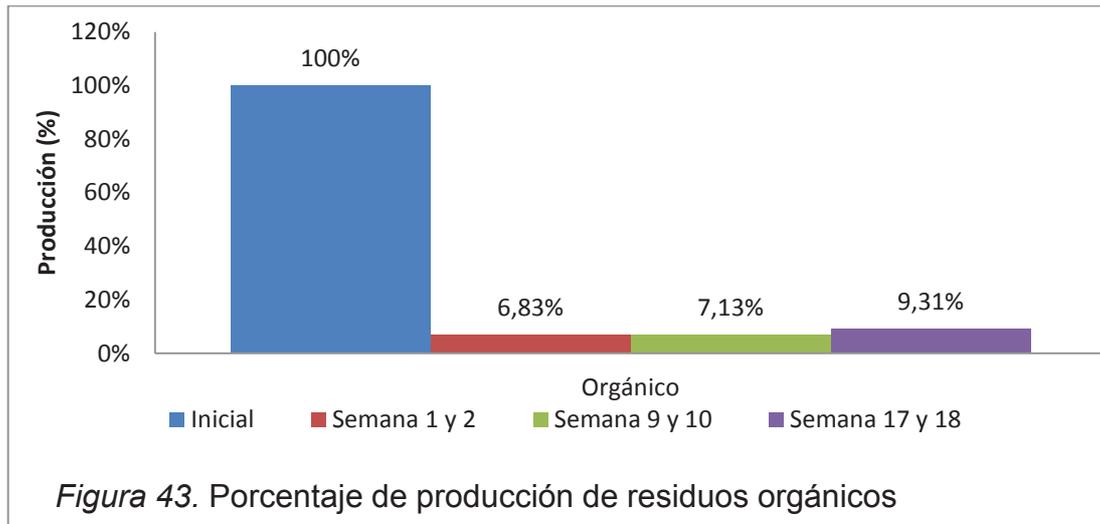


De un total de 240 kg de residuos sólidos no peligrosos pesados durante dos semanas, antes de la implementación del programa, 50.45 kg eran orgánicos equivalentes al 21% del total de residuos producidos.

Una vez implementado el programa de reducción y tratamiento, se pesaron los residuos sólidos durante seis semanas; dos al inicio, dos en el intermedio y dos al final. Como fue mencionado anteriormente, el pesaje se lo realizaba los días martes y jueves a las 9H30, se obtuvieron dos resultados semanales y analizando las seis semanas se obtienen seis resultados que se muestran en la siguiente figura:

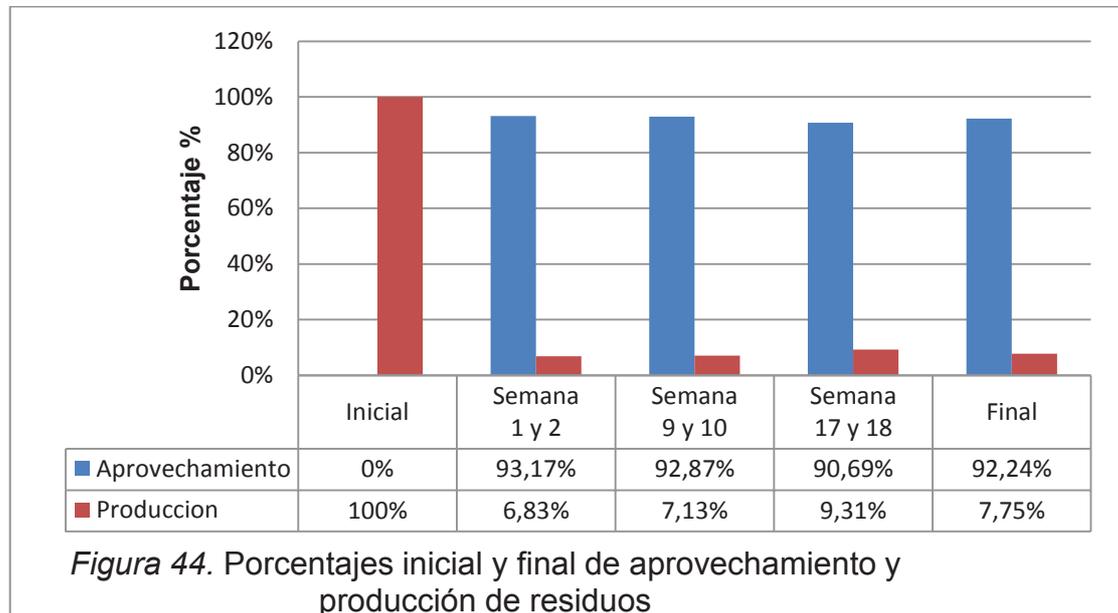


Las primeras semanas de implementación el peso de los residuos sólidos bajó relativamente hasta 3.45 kg, en las semanas intermedias el pesaje fue de 3.6 kg y finalmente se obtuvo un peso de 4.7 kg. En cuanto a la reducción en porcentaje se presenta a continuación:



Utilizando la fórmula propuesta por Ángel, J. en la que se calcula el porcentaje, se obtuvo el aprovechamiento de los residuos orgánicos en las tres semanas que se realizó el pesaje.

Para obtener el aprovechamiento total de los residuos se realizó un promedio de los tres datos obtenidos dando como resultado:

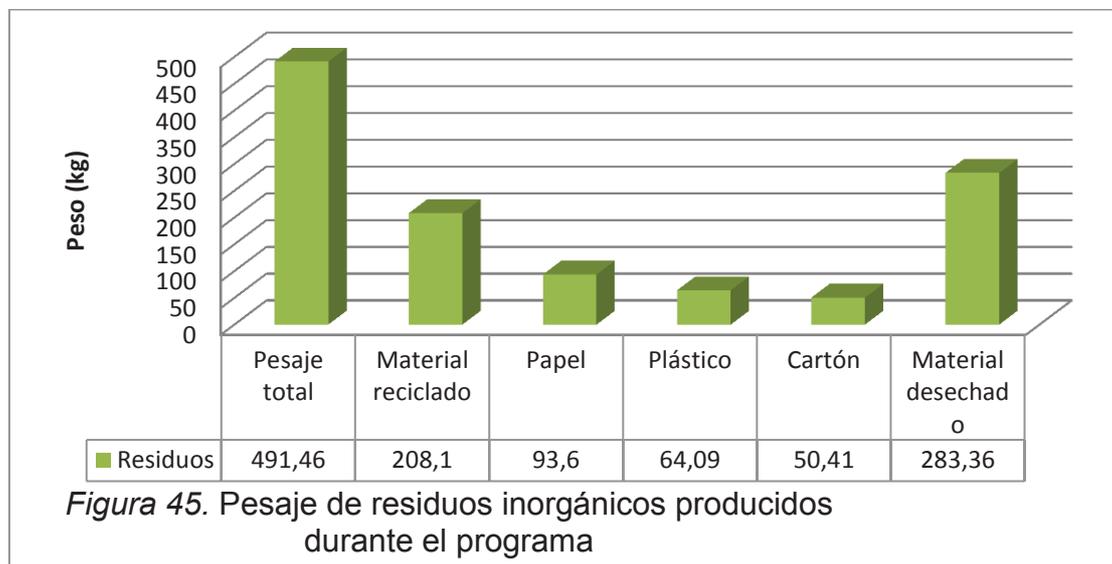


El objetivo específico es la reducción del 30% de producción inicial de residuos sólidos, el resultado fue del 92.24%, obteniendo así una producción de apenas 7.75%. El compostaje como medio de reducción de residuos orgánicos fue

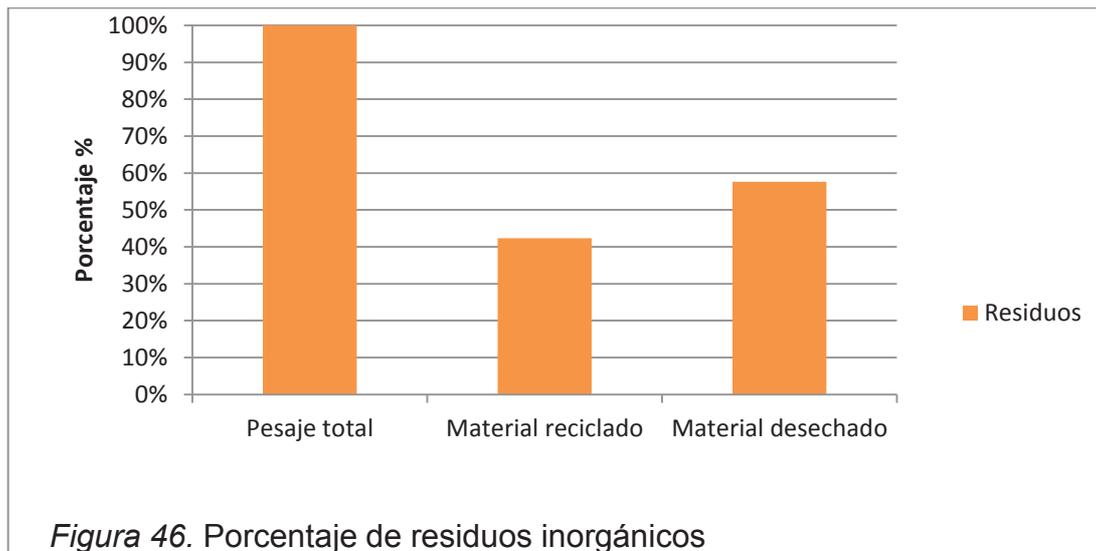
exitoso y superó las expectativas generadas al principio de la implementación del presente proyecto.

5.5 Análisis del aprovechamiento de residuos sólidos inorgánicos al final de la implementación del programa

El aprovechamiento final de papel, cartón y plástico fue de 208.1 kg, este resultado fue comparado con la producción total de residuos generados al final de las 18 semanas en las que la institución implementó el programa que fue de 491.46 kg, los resultados se presentan a continuación:



El objetivo específico es el aprovechamiento del 40% de los residuos sólidos generados durante el programa a través del reciclaje, una vez especificado los residuos que fueron destinados a éste, el porcentaje de aprovechamiento es:



El pesaje total equivale al 100%, gracias a la implementación del programa de tratamiento se logró reciclar el 42.34% de todos los residuos generados. El resultado superó al objetivo en un total de 2.34%.

Se supone que las razones para que el porcentaje obtenido no haya superado el objetivo inicial son las siguientes:

- **Papel.-** El papel necesario para el reciclaje es aquel que se encuentra entero y en condiciones óptimas, los retazos de papel o aquel que se encuentra mojado son inútiles para ser reciclados.
- **Plástico.-** Las botellas plásticas fueron aquellas que se reciclaron, las tarrinas u otro tipo de plástico fueron utilizadas en manualidades realizadas por los estudiantes, sin embargo no toda la generación de éstas era destinado a este fin, aquellas que no eran material para reutilizar fueron desechadas.
- **Cartón.-** Se puede atribuir que el 90% del cartón generado fue destinado al reciclaje, el tetrapack (considerado en la categoría de cartón) no era presto para realizar el tratamiento. Los estudiantes desechaban el tetrapack de sus colaciones en el tacho de residuos comunes y fue contabilizado como desecho.

- **Otros.-** Residuos como vidrio, envolturas de frituras, materiales que ya no sirven, entre otros fueron aquellos que su destino era el relleno sanitario.

A comparación de la producción inicial que fue calculada en dos semanas de muestreo, la generación final de residuos en 18 semanas es exitosa, los resultados se demuestran en la siguiente figura:



El programa de tratamiento cumplió con los objetivos planteados en cuanto a residuos orgánicos e inorgánicos. El porcentaje de reducción de residuos inorgánicos superó en un 2.34% el objetivo planteado, mientras que el

porcentaje superado de los residuos orgánicos fue de 62.24%, resultando ser la implementación de este proyecto totalmente exitoso, con gran acogida y otorgando diversos beneficios tanto para la institución, el ambiente y la comunidad.

5.5.1 Esquema final del programa de tratamiento y reducción de residuos sólidos no peligrosos

Para obtener una visión más clara del proceso que se llevó a cabo durante la implementación del programa de tratamiento y reducción de residuos sólidos no peligrosos aplicables a la educación ambiental en la Unidad Educativa Fiscal Rumiñahui, se presenta un esquema en el cual se detalla el proceso completo desde el inicio hasta los resultados finales. La figura 47 muestra el desarrollo del programa en su totalidad.

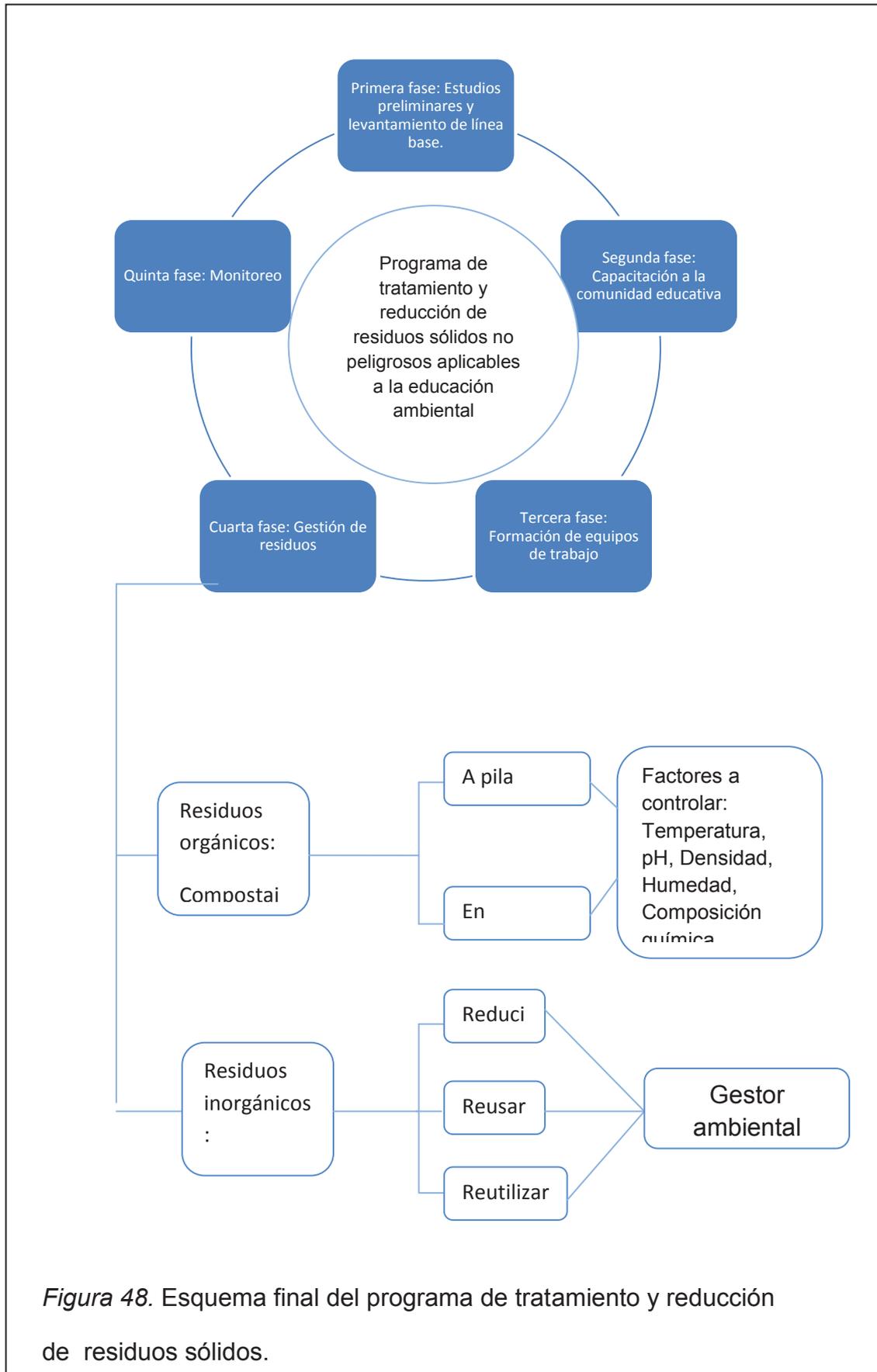


Figura 48. Esquema final del programa de tratamiento y reducción de residuos sólidos.

5.6 Análisis costo/beneficio

La finalidad del análisis costo beneficio es identificar los beneficios, valorar los criterios e informar sobre el valor total que implicó la implementación del programa y ponerlo en consideración para ser realizado en cualquier institución educativa. El presente proyecto está destinado a equilibrar los tres factores que intervienen en el desarrollo sustentable, el aspecto económico, ambiental y social.

Si bien la institución no aporta con algún valor económico por la recolección de los desechos generados, el beneficio que se obtiene por la gestión de estos es significativo para los ingresos de la escuela, así como para el ambiente y la comunidad.

5.6.1 Costos de implementación

Dentro de los costos de implementación se incluye la compra de los tachos de basura faltantes, los uniformes para los estudiantes y algunos materiales necesarios para el compostaje a pila abierta y en reactores.

Tabla 23. Costos de implementación del programa en la institución.

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tachos de basura	6	\$ 6.30	\$ 37.80
Mandiles	8	\$ 11.00	\$ 80
Guantes	4	\$ 2.10	\$ 8.40
Guantes de quirófano	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Mascarillas	8	\$ 1.00	\$ 8.00
Melaza	1	\$ 8.00	\$ 8.00
Estructura de madera	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Total			\$ 272.20

Mediante autogestión y con apoyo de la Policía Nacional se obtuvieron los 22 tachos restantes para el programa, los uniformes adquiridos por los estudiantes quedan en la institución para los siguientes alumnos que tomen la posta del programa.

En la implementación se toma en cuenta la ubicación de los cuatro tachos con sus respectivos colores en cada grado de la institución, en total se necesitan 28 tachos que deben ser ubicados en el exterior de cada aula, aumentando los costos de los 22 tachos restantes, el costo total de implementación sería de \$410.80.

5.6.2 Beneficios de la implementación

Los beneficios que trae consigo el programa van más allá de las ganancias que se obtienen con la gestión del papel, cartón y botellas plásticas. El ámbito económico es un pequeño aporte a la institución para que cuente con un fondo y utilizarlo en mejoras para la escuela. Las ganancias que se obtienen de gestionar los materiales reciclados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 24. Ganancias de la gestión de papel, plástico y botellas

Material	Costo por Kg	Kg	Total
Plástico	\$ 0.80	64.09	\$ 51.27
Papel	\$ 0.70	93.6	\$ 74.88
Cartón	\$ 0.70	50.41	\$ 40.32
Total recaudado			\$ 166.47

El total recaudado es hasta la última recolección que se realizó en la institución, si se logra reunir más materiales, las ganancias serán mayores y por ende el beneficio económico aumentará.

Sin duda el mayor beneficio que se obtiene de este programa es el ambiental. La reducción de residuos sólidos y el aprovechamiento que se da a los mismos atribuyen a una disminución del impacto ambiental que genera la basura.

La educación ambiental que recibieron los estudiantes fue un aporte extra para las acciones de la sociedad en pro del ambiente, la educación que recibieron los niños tiene como objetivo extenderse hasta los hogares y lograr un cambio de hábitos en cuanto al manejo de residuos sólidos.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Realizar el programa de tratamiento en tres diferentes niveles permitió que los estudiantes reciban capacitaciones de acorde a su grado de conocimiento, de esta manera el programa tuvo un ciclo de aprendizaje en el cual los que más sabían podían enseñar a los de niveles inferiores.

Se designó tareas y trabajos a todos los miembros de la comunidad educativa, de esta forma el programa exigía responsabilidades a cada uno de los maestros, estudiantes y personal administrativo para que se involucren y participen de forma activa por el período que éste duró.

La participación de los miembros de la escuela creó conciencia ambiental sobre el correcto manejo de los residuos sólidos. Los conocimientos impartidos durante el programa fueron evaluados constantemente por los maestros y por el monitor del proyecto, permitiendo así asegurar el aprendizaje dictado en las capacitaciones.

La reducción de residuos sólidos orgánicos mediante dos tipos de compostaje, propuso diferentes alternativas para que la materia orgánica producida en la institución sea correctamente tratada. El personal que producía la mayor cantidad de residuos orgánicos recibió capacitación para el tratamiento de los mismos y al final de la implementación los conocimientos que fueron adquiridos pudieron ser aplicados en otros lugares, además de la institución.

El compostaje a pila abierta que se realiza en la institución debe ser acorde con la generación de residuos orgánicos que esta produce, la falta de materia orgánica, la baja humedad y un gran espacio para compostar son causantes del retraso del proceso. El método utilizado en el presente estudio es dirigido a todos los establecimientos que no poseen un laboratorio equipado, pero el control puede realizarse mediante mediciones táctiles.

La participación de los estudiantes en la fabricación del compostaje a pila abierta influyó en el nivel de educación que reciben, la inclusión de los tres paralelos de séptimo año de educación básica tanto en la conformación, volteo y monitoreo de la pila, brindó una pauta para evaluar los conocimientos que fueron adquiridos durante el estudio.

Producir compost en reactores a pequeña escala permitió experimentar el avance del proceso con la utilización de dos variables diferentes. El tamaño de los lechos de compostaje, la temperatura ambiente a la que es expuesto así como el control de los factores son parámetros claves para optimizar el proceso.

De los 5 lechos analizados solamente uno alcanzó los niveles óptimos. El uso de pre-compostaje y aserrín caliente, así como el monitoreo constante y el equilibrio de los factores a controlar, son variables que aceleraron el proceso y permitieron obtener un compost de buena calidad y composición química.

Comparando los dos diferentes métodos para el aprovechamiento de residuos orgánicos, el realizado en reactores presentó una mejor composición química en un 11,3%, sin embargo la presencia de lombrices en el compost a pila abierta denotó la fertilidad del material y el fin del proceso, siendo así las dos metodologías aceptables para el aprovechamiento de lo generado en la institución.

La metodología designada para el aprovechamiento de los residuos sólidos inorgánicos cumplió con el objetivo planteado, sin embargo se esperó una mayor recolección de material a reciclar ya que significa ingresos económicos a la institución.

Los estudiantes que conformaron el grupo de reciclaje tuvieron la responsabilidad de monitorear constantemente el avance en la recolección de los residuos, así como de los materiales a reciclar. Este grupo de alumnos fueron los encargados del control y revisión de los residuos sólidos inorgánicos.

La metodología de los residuos inorgánicos fue aplicada en su totalidad, se recicló papel, plástico y cartón; se reutilizó material en arte y manualidades y se redujo la generación de residuos por parte de toda la comunidad educativa.

Se pudo establecer un análisis costo beneficio en el cual se indicaron todas las bondades que la implementación de este proyecto brindó, tanto a la institución, como al ambiente, convirtiéndose en un proyecto sustentable porque engloba al ambiente, el aspecto económico y lo social.

6.2 Recomendaciones

Las capacitaciones deben ser dictadas de forma separada, a estudiantes, profesores y personal de servicio. El contenido de cada capacitación varía según el nivel de educación.

Es importante retroalimentar los conocimientos impartidos a los estudiantes, el monitoreo constante y la capacitación continua ayudarán a mantener fresca la información que fue recibida.

No puede pasar más de un día sin recolectar los residuos orgánicos, pueden ser fuente de vectores no deseados.

La temperatura es el factor determinante para el control del desarrollo de compostaje, es primordial realizar mediciones seguidas para llevar un registro y actuar según el comportamiento de esta.

Tomando en cuenta la acción que mantuvo el pre-compostaje en el aumento de la temperatura de los lechos, utilizarlo como acelerador natural para mejorar el proceso sería óptimo y los resultados serían favorables.

El compost realizado puede ser utilizado para la fertilización de los jardines, así como también para mejorar la composición del suelo de los huertos escolares.

A partir de este documento el Municipio de Rumiñahui podría empezar un proyecto destinado a las escuelas del Cantón, incentivando a la conservación del ambiente mediante el manejo adecuado de residuos sólidos. El hecho de que el programa haya quedado entre los diez primeros lugares a nivel cantonal es un indicio de la eficacia y relevancia que representa. Empezar por los niños es una estrategia que promete incluir y envolver a diferentes actores de la sociedad a tomar acciones para disminuir el impacto ambiental.

REFERENCIAS

- Ángel, J. (2007). *Problemas sobre porcentaje*. México, D.F., México
- Agreda, R. y Deza, M. (2009). *Factores que condicionan el proceso del compostaje*. Recuperado el 20 de julio de 2014 de [http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/5%20FACTORES%20PROCESO%20\(2\).pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/5%20FACTORES%20PROCESO%20(2).pdf)
- Banchon, C. y Larreátegui, E. (2013) *Un modelo matemático para la reducción del tiempo de compostaje*. Enfoque UTE. Quito, Ecuador
- Barajas, C. (Junio, 2013). *Ideario*. Plantel Educativo Rumiñahui. Edición N°2. 3
- Bueno, M. (2010). *Cómo hacer un buen compost Manual para horticultores ecológicos*. (4ta edición). Navarra- España: Gráficas Lizarra.
- Bueno, P., Díaz, M. y Cabrera, F. 2010. Factores que afectan al proceso de compostaje. Recuperado el 20 de Agosto de 2014 de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- Cantanhede, A., Sandoval, L. y Caycho, C. (2005). *Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos*. Lima-Perú
- Ceustermans, A., Coosemans, J. y Ryckeboer, J. (2010). *Compost Microbial Activity Related to Compost Stability*. NYC-USA: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Colomer, F. y Gallardo, A. (2010). *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. México: Limusa.

- Cuadros, S. (2008). *Residuos agrícolas, forestales y lodos*. Recuperado el 8 de abril de 2014 de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45732/componente45730.pdf
- Darlington, W. (2010). *Compost A Guide for Evaluating and Using Compost Materials as Soil Amendments*. NYC-USA
- Dimambro, M., Lillywhite, R. y Rahn, C. (2006). *Biodegradable municipal waste compost: analysis and application to agriculture*. Warwickshire, Inglaterra.
- Diputación de Cádiz. (2010). *Guía de Buenas Prácticas en Educación Ambiental Local*. Cádiz-España
- Durán, H., Cubillos, G., Acuña, G., Otero, F., Giaimo, S., Friedmaann, C., Arteaga, J. y Leal, J. (1997) *Gestión Ambientalmente Adecuada De Residuos Sólidos*. Santiago-Chile: Edición Tiempo Nuevo Producciones Periodísticas y Publicitarias.
- EMC. (2013). *Rumiñahui aplica las 4R: reducción, recuperación, reutilización y reciclaje con la basura*. El Hoy, Quito, Ecuador.
- Esquinca, F., Escobar, J., Hernández, A. y Villalobos, J. (2010). *Caracterización y generación de los residuos sólidos de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Chiapas, México
- Gaggero, E. y Ordoñez, M. (2002). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Buenos Aires, Argentina.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. (2005). *Información de avalúos y catastros*. Sangolquí, Ecuador
- 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.

- Grez, R. y Gerding, V. (1995). *Application of sawdust from the forest industry in order to improve soils*. Valdivia, Chile.
- Guamán, F. (2004). *Los abonos orgánicos una alternativa para mejorar la fertilidad de los suelos en zonas secas*. Loja, Ecuador: U.N.L PROMSA.
- Lozada, P., Parra, C. y Martínez, G. (2008). *Alkali Stabilization of Composted Biosolids From Domestic Wastewater Treatment Plants For Agriculture Purpose*. Medellín, Colombia.
- Martin, P. (2010). *The molasses in the feeding of the bovine livestock*. La Habana, Cuba.
- Medina, M. (2013). *Reciclaje de desechos sólidos en América Latina*. Recuperado el 15 de septiembre del 2013 en <http://www.ecodar.net/2010/08/reciclaje-de-desechos-solidos-en-america-latina/>
- Ministerio de Educación. (2013). *Distrito 17D11.MEJIA-RUMIÑAHUI-EDUCACIÓN*. Ecuador
- Ministerio del ambiente. y Ministerio de educación y cultura. (2006). *Plan nacional de educación ambiental para la educación básica y bachillerato (2006.2016)*. Quito, Ecuador
- Mohd, L., Latifah, A. y Puziah, A. (2013). *Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality*. Malaysia
- Moreno J., Moral R. (2008) *Compostaje*. Madrid España: Ediciones Mundi-Prensa.
- O’Ryan, J. y Riffo, M. (2007) *El compostaje y su utilización en agricultura*. Santiago, Chile: Salviat impresiones

- Roben, E. (2003). *El reciclaje Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico*. Loja, Ecuador
- Rodríguez, M. y Córdova, A. (2006). *Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos*. (1a. ed.). México.
- Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago, Chile: FAO
- Ruiz, A. (Junio, 2012). *Reseña Histórica*. Plantel Educativo Rumiñahui. 5-6
- Shammas, N. y Lawrence, K. (2011). *Biosolids Composting*. New Jersey, USA
- Shilev S., Naydenov M., Vancheva V. y Aladjadjian A. (2012). *Compost of Food and Agricultural Wastes*. Plovdiv, Bulgaria
- Sztern, D. y Pravia, M. (1999) *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Montevideo, Uruguay.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. (1^{ra} edición). Madrid, España: McGRAW-HILL
- Termorshuizen, A., Moolenaar, S., Veeken, A.,by Blok, W. (2005). *The value of compost*. Wageningen, Holanda
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. (2008). *Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos*. Quito-Ecuador
- Tokuhama, T. y Bramwell, D. (2012). *Educación ambiental y desarrollo sostenible*. Quito, Ecuador
- Torraspapel S.A. (2000). *Fabricación de papel*. Barcelona, España.
- Recuperado el 13 de abril de 2014 de

<http://www.torraspapel.com/Conocimiento%20Tcnico/FormacionFabricacionPapel.pdf>

Unesco. Y Pnuma. (1997). *Actividades de educación ambiental para las escuelas primarias*. Santiago, Chile

Unidad Educativa Rumiñahui. (2014). *Control del personal docente*. Sangolquí, Ecuador

Universidad de Costa Rica. (2009) *Compostaje*. Recuperado el 21 de Julio del 2014 de <http://www.progai.ucr.ac.cr/documentos/brochures/folleto-compost-progai.pdf>

Vidasostenible. (2010). *Papel cartón y madera*. Recuperado el 13 de abril de 2014 de <http://www.larutadelaenergia.org/pdfvs/GFVSpapelymadera.pdf>

Yoshii, T., Moriya, T. y Oshima, T. (2013). *Bacterial and Biochemical Properties of Newly Invented Aerobic, High-Temperature Compost*. Tokyo, Japón

ANEXOS

Anexo 1

REGISTRO DE RESIDUOS CARACTERIZADOS

Componente	Peso kg	Porcentaje
Papel y cartón	0.59	52%
Plástico	0.22	19%
Vidrio	0.09	8%
Metal	0	0%
Otros	0.1	9%
Restos de alimentos	0.13	12%
Total	1.13	100%

ANEXO 2

REGISTRO DE PARAMETROS DE COMPOSTAJE A PILA ABIERTA

TEMPERATURA °C Y HUMEDAD %

Registro semanal de temperatura y humedad		
Semana	Temperatura °C	Humedad %
1	40	40
2	70	30
3	70	50
4	60	50
5	60	40
6	50	60
7	40	60
8	40	70
9	40	70
10	30	50
11	20	50
12	20	60

COMPOSICION QUIMICA COMPOST A PILA ABIERTA Y LECHO E

Datos del Cliente		Referencia	
Cliente : CEVALLOS GUERRERO SOLANGE		No. Doc: 47810	
Propiedad: CEVALLOS GUERRERO SOLANGE		Emisión: 04/07/2014	
Cultivo : COMPOST		Impreso: 04/07/2014	
Ingreso : 26/06/2014	Ensayo: 30/06/2014	Página: 1 de 1	
No. Lab : Desde: 2658	Hasta : 2659		

Nombre: M1 ESCUELA MUNICIPAL
No. Lab.: 2,658

N %											
0.35											
	M. O. %	C %			C/N						
	6.53	3.78			10.82						

Nombre: M2 CAJA
No. Lab.: 2,659

N %											
0.77											
	M. O. %	C %			C/N						
	23.18	13.44			17.46						

Simbolo 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 EXITO ES NUESTRO!


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

ANEXO 3

PROMEDIO DE PARAMETROS ANALIZADOS DE COMPOSTAJE EN REACTORES

TEMPERATURA °C

Promedio de las mediciones de temperatura									
LECHO	INICIAL	SEMANA1	SEMANA2	SEMANA3	SEMANA4	SEMANA5	SEMANA6	SEMANA7	SEMANA8
A	20.67	21.6	25.8	34.4	36.8	39.2	41	37.8	22.8
A'	21.00	20.8	25.2	34.6	38.4	40.6	41.6	37.2	24
B	20.67	21.2	23.6	33	37.6	40	41.8	38.8	22.8
B'	21.33	21.4	24.2	30.2	35.8	39	41.6	39.2	23.8
B''	21.67	22	24.4	31	35.4	39.2	41.4	38	23.6
C	21.67	21.8	24.8	30.6	36.2	39.8	42.6	38.4	22.6
C'	22.33	22.4	25.8	32.2	36	39	42.4	38.2	23.2
C''	20.33	21	24.8	32	35.4	39	41.6	38.2	22.8
D	21.67	21.8	24.2	30.6	35.4	39	41.4	37.8	22
D'	21.67	21.8	25.2	30.6	35.8	37.6	42.4	39.2	22.4
D''	21.00	22.6	25	31.6	36.4	41.4	43.4	38.8	23
E	20.33	22.2	24.6	29.8	40	51.6	54	48.8	22
E'	21.00	22.6	25.2	31.2	39	47.6	51.4	47.8	22.2
E''	20.67	21.2	24.2	30.4	39.4	49	53.6	48.4	23.4

pH

Promedio de las mediciones de Ph									
LECHO	INICIAL	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
A	6.15	6.2	6.7	8.1	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
A'	6.69	6.7	6.9	7.4	7.3	7.4	7.4	7.4	7.4
B	6.26	6.4	6.8	7.6	7.5	7.6	7.6	7.6	7.6
B'	6.31	6.3	6.9	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
B''	6.08	6.1	6.8	7.5	7.5	7.6	7.5	7.5	7.5
C	5.82	5.9	6.5	7.3	7.4	7.6	7.6	7.6	7.6
C'	5.97	6	6.4	7.3	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
C''	5.78	5.9	6.3	7.3	7.4	7.5	7.5	7.5	7.5
D	5.39	5.8	6.3	7.3	7.3	7.6	7.5	7.5	7.5
D'	5.24	5.6	6.2	7	7.1	7.4	7.4	7.4	7.4
D''	5.25	5.7	6.1	6.7	7.2	7.3	7.3	7.3	7.3
E	4.97	5.5	6.2	7	7.1	7.3	7.3	7.3	7.3
E'	4.53	5.2	6.1	6.4	7	7.4	7.4	7.4	7.4
E''	5.13	5.7	6.4	6.4	7	7.4	7.4	7.4	7.4

HUMEDAD %

Promedio de las mediciones de humedad									
LECHO	INICIAL	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
A	49.10	47	44.9	39.3	45.6	53.5	51.6	55.3	65.1
A'	31.80	27.4	30.7	42.8	59.2	47.6	43.2	60.2	63.2
B	41.60	47.9	47.7	44.8	42.1	50.8	48.6	47.2	44.9
B'	38.09	28.7	33.1	31.4	28.6	48.2	58.1	59.9	63.1
B''	39.08	57.2	36.4	47.4	42.5	46.3	55.8	56.9	42.3
C	44.94	37.5	54.8	36.4	53.5	44.5	44.8	49.5	56
C'	23.91	53.4	44.7	40.7	43.6	48.3	47.4	58.3	75
C''	21.75	45.9	38.8	35.2	47.5	41.1	40.7	50.7	52.9
D	27.63	38	67.7	25.1	45.2	47.8	43.7	46.8	54
D'	52.71	50.3	54.7	31.5	31.8	59.5	45.5	51.4	49.6
D''	31.51	27.9	59.5	31.1	34.2	58.5	45.4	69.7	67.4
E	28.71	28.2	33.2	39.9	55.8	46.8	44.3	44.3	71.8
E'	25.43	38.1	37.2	23	41	46.2	40.9	60.6	49.1
E''	25.30	37.9	60.2	34	64.6	55.8	47.5	34.5	36.3

DENSIDAD APARENTE g/L

Promedio de las mediciones de densidad aparente									
LECHO	INICIAL	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
A	1.00	1.14	0.98	1.19	1.37	1.46	1.21	1.32	1.36
A'	1.11	1.14	1.11	1.45	1.34	1.56	1.03	1.46	1.21
B	1.16	1.11	1.36	1.03	0.8	1.33	0.95	1.99	1.3
B'	1.10	1.15	1.14	0.74	1.17	1.54	1.04	1.97	1.38
B''	0.89	1.15	1.14	1.01	0.84	1.54	1.23	1.74	1.33
C	1.02	1.28	1.1	0.88	1.03	1.41	1.07	1.98	1.23
C'	0.73	1.15	1.11	1.02	0.98	1.38	1.1	1.68	1.25
C''	0.74	1.14	1.05	0.91	1.36	1.3	1.14	1.77	1.12
D	0.98	1.23	1.19	0.98	1.03	1.56	1.09	1.41	1.17
D'	1.06	1.31	1.08	1.03	0.9	1.34	1.23	1.55	1.18
D''	0.86	1.16	1.22	0.99	0.83	1.33	1.07	1.64	1.25
E	1.00	1.07	1.24	1.08	1.56	1.65	1.15	1.09	1.39
E'	0.77	1.17	1.02	0.81	0.84	1.13	1.18	1.6	1.16
E''	0.83	1.25	1.07	1.02	0.77	1.5	0.99	1.16	1.53

ANEXO 4

REGISTRO DE PESAJE FINAL

Registro de pesaje durante el programa			
Semana	Peso (kg)	Orgánico	Inorgánico
1	24.01	2.1	21.91
2	18	1.35	16.65
3	21.75	0.9	20.85
4	18.1	2.25	15.85
5	19.05	3.6	15.45
6	16.9	1.8	15.1
7	18.9	1.35	17.55
8	20	2.25	17.75
9	18	3.15	14.85
10	7.65	0.45	7.2
11	18.31	2.25	16.06
12	16.5	1.8	14.7
13	10.9	1.35	9.55
14	17.64	3.6	14.04
15	11.9	2.25	9.65
16	13.4	1.35	12.05
17	22.1	1.8	20.3
18	25.65	1.8	23.85
Total	318.76	35.4	283.36

ANEXO 5

ACUERDO DE PRESTACION DE SERVICIOS

ACUERDO DE PRESTACION DE SERVICIOS

El presente documento tiene como finalidad generar un acuerdo entre: la "Unidad Educativa Rumiñahui" representada por la Lic. Cristina Barajas y el "Gestor Ambiental" representado por la Sra. Luz María Díaz, para la prestación de servicios de recolección de residuos sólidos inorgánicos no peligrosos. En el presente acuerdo se presenta las actividades que llevarán a cabo el gestor ambiental y la institución.

Gestor ambiental

Estará a cargo de las siguientes actividades:

- Recolección de plástico
- Recolección de papel
- Recolección de cartón

La recolección se la llevará a cabo una vez que los recipientes en los cuales sean depositados los residuos estén llenos, se procederá a informar al gestor y este deberá acudir a la institución a recolectarlos.

Institución

La escuela estará encargada de recolectar el plástico, papel y cartón de manera separada para ser entregada al gestor ambiental, así como también tendrá la obligación de comunicar al mismo en el momento que sea necesario la recolección.

Una vez leídas y aceptadas las condiciones del acuerdo de prestación de servicios, se acepta las mismas y se comprometen a cumplir lo estipulado anteriormente:

Sangolquí, 1 de Julio de 2014


Lic. Cristina Barajas
U.E. Rumiñahui




Sra. Luz María Díaz
Gestor ambiental
CI ...1110482200-9....

ANEXO 6

DIPLOMAS DE RECONOCIMIENTO





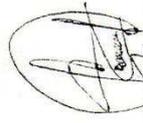
RUMIÑAHUI

Gobierno Autónomo
Descentralizado Municipal

Confieren el presente Diploma de Reconocimiento Educativo a:

PLANTEL EDUCATIVO MUNICIPAL RUMIÑAHUI

*Por su destacado desempeño educativo en la ejecución del Proyecto Salceños e
Planeta- Categoría Muertos Escolares 2012.*



St. César Vallejo
CONCEJAL

PRESCOMES. EDUC. CULT. Y DEPORTE



Sangolquí, junio del 2012.



Eda. Maura Dolores Gómez de la Torre
DIRECTOR EDUCACION CULTURA Y
DEPORTE

