PROYECTO PASANTÍA: MANEJO DE LOS RESIDUOS Y DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES GENERADAS EN LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA TOLCEMENTO.

ANDRÉS FERNANDO RUIZ GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO

2006

PROYECTO PASANTÍA: MANEJO DE LOS RESIDUOS Y DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES GENERADAS EN LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA TOLCEMENTO.

ANDRÉS FERNANDO RUIZ GONZÁLEZ

Directora
YELITZA AGUAS MENDOZA
Ingeniera Química
Magíster en Ingeniería y Tecnología Ambiental

LINEA DE PROFUNDIZACIÓN: PROCESOS AGROINDUSTRIALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE (PADES)

CAMPO: Desechos Agroindustriales y Gestión Ambiental

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO
2006

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I. 14

1. ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA PASANTÍA 14

1.1. Proceso Productivo Cementos Argos S.A. Planta Tolcemento 15

1.1.1. Descripción 15

1.2. Acompañamiento en la Evaluación de las Emisiones

1.2.1. Material Particulado 18

1.2.2. Dióxido de Azufre 19

1.2.3. Dióxido de Nitrógeno 20

1.3. Participación en las Evaluaciones de la Calidad del Aire 20

1.3.1. Material Particulado 22

1.3.2. Dióxido de Azufre 23

1.3.3. Dióxido de Nitrógeno 24

1.4. Realización de Inventario y Caracterización de los Residuos Industriales y Domésticos 25

1.4.1. Residuos Industriales 27

1.4.2. Residuos Domésticos 27

1.5. Diseño de un Sistema de Compostaje Aerobio 29

1.5.1. Memorias 31

CAPITULO II. 31

2. DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE AEROBIO PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA TOLCEMENTO. 33

2.1. Producción y Caracterización de los Residuos Generados 33

2.1.1. Producción 35

2.1.2. Características 35

2.2. Selección del Sitio de Compostaje 37

2.3. Diseño del Sistema de Compostaje 38

2.3.1. Aspectos Cualitativos 38

2.3.2. Aspectos Cualitativos 39

2.3.3. Unidad de Compostaje 39
2.3.4. Dimensión de los Cajones 40
2.3.5. El tiempo de Compostaje 40
2.3.6. Área y Dimensiones de la Cancha de Compostaje 42
2.3.7. Preparación de la Cancha de Compostaje 42
42
2.4. Manejo y Operación del Sistema de Compostaje
43
2.4.1. Aireación y Homogenización de la Pila de Compostaje
2.4.2. Riego y Control de Humedad 48
2.4.3. Control de Temperatura 49
2.4.4. Control de Aireación y Riego por Temperatura 50
2.4.5. Control Higiénico y Seguridad 51
2.4.6. Refinación y almacenamiento 51
52
2.5. Inversión y Operación
52
2.5.1. Infraestructura Física
2.5.2. Vehículos 52
2.5.3. Herramientas Manuales 53
2.5.4. Herramientas Técnicas 53
2.5.5. Mano de Obra 53
2.5.6. Elementos de Trabajo 54
55
2.6. Puesta en Marcha
55
2.7. Resultados
56
2.8. Conclusiones
58
BIBLIOGRAFÍA
59
ANEXOS
60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre la Emisión y la Norma para Material Partículado. 21

Tabla 2. Resultados de SO_x y NO_x 21

Tabla 3. Resultados para Material Partículado 26

Tabla 4. Resultados para SO_X Y NO_X 26

Tabla 5. Generación de Residuos Industriales. 28

Tabla 6. Generación Residuos Domésticos. 30

Tabla 7. Cantidad de Residuos y Precio de Venta. 31

Tabla 8. Producción de Residuos Sólidos Orgánicos. 36

Tabla 9. Condiciones Ideales para el Proceso de Compostaje. 37

Tabla 10. Cantidad, Densidad y Volúmenes de los Diferentes Materiales Utilizados en la Conformación de una Pila de Compost. 40

Tabla 11. Algunas Propiedades Fisicoquímicas de los Residuos. 43

Tabla 12. Costos de Inversión, Equipos e Insumos Empleados en el Sistema de Compostaje. 54

Tabla 13. Fecha de Instalación de las Pilas de Compostaje y Cantidad de Materiales Utilizados. 56

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 y 2. Muestreos Isocinético Chimenea Horno 1 19

Fotografía 3. Caseta de Muestreo Calidad de Aire 24

Fotografía 4. Cuerpos moledores 27

Fotografía 5. Banda transportador 27

Fotografía 6 Y 7. Cajones de madera para la instalación de las pilas de compostaje 41

Fotografía 8 Y 9. Aspecto Cancha de Compostaje. 42

Fotografía 10. Picado. 47

Fotografía 11. Material picado 47

Fotografía 12. Capturador de Microorganismos 47

Fotografía 13. Inóculo 47

Fotografía 14. Pilas de compostaje instaladas 48

Fotografía 15. Material en una pila de compostaje 48

Fotografía 16. Volteo 49

Fotografía 17. Control de temperatura 50

Fotografía 18. Riego 51

Fotografía 19. Refinación 52

Fotografía 20. Compost Refinado 52

Fotografía 21 y 22. Construcción nuevas jardineras 57

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Diagrama de Flujo Fabricación del Cemento 61
63
Anexo B. Tabla Registro Control Pila de Compostaje 68

Anexo C. Graficas Temperaturas Promedio

Únicamente el Autor es Responsable de las Ideas Expuestas en este Trabajo…

Nota de aceptación

_____

Jurado 1

_____

Jurado 2

_____

Jurado 3

_____

Fecha (día-mes-año)

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a:

La empresa Cementos Argos S.A. Planta Tolcemento, por haber permitido realizar la pasantía en sus instalaciones.

Ingeniero Jesús Domínguez Gamarra, por el constante apoyo brindado durante la realización de la pasantía.

Yelitza Aguas Mendoza, Directora del trabajo del grado, por su apoyo y dedicación en la realización de este trabajo.

A la Universidad de Sucre, a los profesores del programa de ingeniería Agroindustrial por su excelente formación académica.

A todos mis amigos y compañeros de la "U"

Gracias…

DEDICATORIA

A Dios:	*Por darme la vida y sabiduría*
A mí Madre:	*Julia González Morales*
A mí Padre:	*Dionisio Ruiz González*
A mis Hermanos:	*Emiro Ruiz González*
	Joice Ruiz González
A mi Novia:	*Lorena Jiménez G.*

Andrés F Ruiz González

INTRODUCCIÓN

CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA TOLCEMENTO, es una empresa manufacturera dedicada a la producción de cemento y agregados, se encuentra ubicada en el Norte del departamento de Sucre en zona rural del municipio de Toluviejo a cuatro kilómetros de la vía que conduce al Municipio de Santiago de Tolú.

Durante las actividades industriales dentro de los procesos de producción y consumo, se generan una serie de residuos que representan poco o ningún valor económico y que requieren de cierta inversión para su manejo y disposición final. Estos residuos son de procedencia industrial y doméstica (oficinas y casino), y constituyen un elemento que contribuye a la contaminación del medio ambiente.

Con el fin de disminuir la cantidad de residuos que van a disposición final y darle un mejor manejo a los residuos se pretende diseñar sistemas que permitan aprovechar las propiedades y características de la mayoría de estos residuos en la elaboración de productos nuevos o reciclándolos, incorporándolos nuevamente al ciclo productivo y así disminuir la carga de contaminantes al medio ambiente.

El inventario y caracterización de los residuos generados en la empresa, permitieron determinar la producción, frecuencia, fuentes de generación y el manejo apropiado que se debe realizar a los residuos para su disposición final.

Otra forma de contaminación que se presenta en esta industria son los causadas por las emisiones de material particulado, dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) durante el proceso de fabricación de cemento, a las cuales se le debe realizar un continuo monitoreo con el fin de dar cumplimiento a lo estipulado en el Decreto 02 de 1982 del

Ministerio de Salud, con vigencia transitoria según decreto 948 de 5 de Junio de 1995, expedida por el Ministerio del Medio Ambiente.

Se realizaron actividades de acompañamiento y colaboración durante la evaluación y muestreo en los puntos de emisión y áreas de influencia de la planta. Esta serie de actividades, pretende contribuir con el mejoramiento del medio ambiente del entorno laboral y de la calidad de vida, siendo gestores de la política de desarrollo sostenible y cumplir con lo estipulado en el plan de manejo ambiental de la empresa.

CAPITULO I.

1. ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA PASANTÍA

La formación profesional en Ingeniería Agroindustrial, con enfoque en producción sostenible, permite desarrollar la pasantía en el área de control ambiental de la empresa **CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA TOLCEMENTO**; la formación encaminada a desarrollar actividades de aprovechamiento de subproductos y manejo de residuos; diseñar, aplicar y controlar las operaciones y procesos requeridos para la transformación de materias primas agropecuarias en productos terminados, al igual que propender por establecer y mantener un manejo adecuado y apropiado de los recursos ambientales con el fin de generar las bases de la solidaridad social necesarias para un real desarrollo sostenible, coincidiendo en este aspecto con los principios y políticas ambientales de la empresa.

De igual importancia son los conocimientos adquiridos en la formación académica en el área de operaciones unitarias ya que permiten comprender los procesos y fenómenos que ocurren durante la fabricación de cemento facilitando determinar la fuente de generación de residuos, su clasificación y mejor manejo posible.

Los conocimientos sólidos en seguridad industrial son de gran importancia a la hora de realizar las actividades durante la pasantía, teniendo en cuenta que en esta industria el riesgo de accidentalidad es alto, por lo tanto se debe estar bien instruido y capacitado en cuanto al uso de los elementos de protección personal, en el manejo de normas de seguridad industrial que permitan analizar panoramas de riesgo, actuando de manera segura y apropiada durante la permanencia en la empresa. Y poder contribuir en el sistema de gestión integrado de la calidad, seguridad y medio ambiente.

El proceso de producción que se da en Cementos Argos S.A. Planta Tolcemento se describe a continuación y se muestra en el anexo A.

1.1. Proceso Productivo Cementos Argos S.A. Planta Tolcemento.

Almacenamiento de Materias Primas.

Las materias primas que son llevadas desde la zona de explotación y las que son importadas o traídas de otros lugares son almacenadas en patios a cielo abierto y en salones, desde donde son transportadas para su utilización en el proceso.

Trituración de Materias Primas.

El material es transportado por la flotilla de DUMPERS (vehículos de carga) desde las canteras, y es descargado en las tolvas de recepción de materiales con capacidad de 80 ton, donde pasa a la cámara de trituración primaria y es reducido a un tamaño de 19 milímetros y conducido por una banda de caucho a una criba o zaranda provista de dos tendidos de malla que clasifica el material, y el mayor a 19 milímetros, lo regresan de nuevo al proceso de trituración.

Molienda.

La molienda consiste en reducir el material de 19 milímetros hasta llevarlo a una harina con finura del 72 – 80% en el tamiz número 170.

Los molinos utilizan los gases de la torre de calcinación para el secado de los materiales, por lo que este tipo de molinos, además, de reducir el tamaño de los materiales, también los seca. La humedad de entrada de los materiales al molino es de máximo 10% y son secados hasta un 0.5%.

Para esta operación se dispone de dos molinos, uno de doble rotor de 10.25 metros de longitud y un diámetro de 3.2 metros y otro del tipo Tandem, con una longitud de 10.67 metros y un diámetro de 2.97 cargados de cuerpos moledores (bolas), que vas desde 30 milímetros hasta 100 milímetros de diámetro.

- **Homogenización y Almacenamiento.**

La harina producida es enviada a los silos donde se realiza la homogenización mezclando la harina neumáticamente, hasta lograr que ésta sea perfectamente regular en su composición, logrando almacenar 3.600 toneladas en la línea uno y 5000 toneladas en la línea dos.

- **Calcinación (Clinkerización).**

El sistema de calcinación en esta planta es por vía seca, con la utilización de hornos rotatorios provistos de un calentador de cuatro etapas de ciclones en los cuales se realizan las operaciones de secado y descarbonatación parcial de la harina cruda proveniente de los silos de almacenamiento y aprovechando los gases de combustión del horno que fluye en contracorriente.

Una vez entra el material al horno se completa la descarbonatación y a medida que avanza el material, los elementos ácidos (sílice, hierro, alúmina) comienzan a combinarse con la cal y al llegar a una temperatura de 1200 ºC se inicia la fase líquida, completándose la formación de los silicatos dicálcicos y tricálcicos que conforman fundamentalmente el clinker.

- **Enfriamiento.**

El clinker formado en el horno sale a una temperatura de 1200 ºC, el cual es enfriado mediante una corriente de aire fresco (ambiente) en un enfriador de parrilla, generándose gases secundarios que son aprovechados como comburente en el quemador del horno, haciendo más eficiente el proceso.

- **Almacenamiento.**

El clinker sale del transportador de cangilones a una temperatura que varía entre 60 y 100 ºC y es almacenado en un salón con capacidad de 20000 toneladas y luego es transportado hacia los molinos de cemento por medio de grúas viajeras.

- **Molienda de Cemento.**

El clinker, yeso y aditivos son retirados del salón de materias primas por grúas viajeras, las cuales los depositan en tolvas y por medio de bandas transportadoras alimentadoras (básculas), se llevan hasta el molino para su procesamiento y producción final del cemento. Se realiza esta operación en molinos tubulares con una carga de 113 toneladas de cuerpo moledores (bolas) y un porcentaje de llenado de 28%.

- **Ensilado, Empaque y Carga**

El producto terminado, cemento es almacenado en cuatro silos de concreto, con una capacidad de 4600 toneladas cada uno y dos silos metálicos de 500 toneladas cada uno, equipados con transporte mecánico y neumático.

Para la descarga de los silos se cuenta con dos sistemas, el primero permite el cargue de camiones a granel y el segundo mediante ensacadoras con boquillas facilita el llenado de sacos de 50 y 42 kg.

Durante el periodo de la pasantía se realizaron las siguiente actividades relacionadas con el manejo de los residuos, evaluación y monitoreo de emisiones.

1.2. Acompañamiento en la Evaluación de las Emisiones (Mediciones Isocinéticas).

Medición de los niveles de material particulado, óxidos de azufre y nitrógeno en los puntos de descarga de los hornos uno y dos (Fotos 1 y 2). Estas mediciones se realizan con y sin molino de harina operando, ya que durante el proceso se puede presentar estos casos. Así mismo se evaluaron las emisiones de material partículado en los enfriadores uno y dos y de los molinos de cemento uno y tres, igualmente la emisión de óxidos de nitrógeno de la planta generadora de energía. Estos resultados se tabularon en la tabla 1 y 2 diseñadas para tal fin, para realizar la comparación de los resultados con las normas vigentes en la legislación colombiana. Las normas de emisión que deben cumplir las diferentes fuentes fijas en la empresa se encuentran en los artículos 48 – 60 del decreto 02 de 1982, los cuales tienen vigencia transitoria según el Decreto 948 del 5 de junio de 1995, expedida por el Ministerio del Medio Ambiente.

Se emplearon las metodologías de cuantificación de emisiones reconocida por la legislación ambiental colombiana y por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. El procedimiento para las mediciones de material particulado fue el siguiente.

Foto 1. Foto 2.

Foto Nº 1 y 2 Muestreos Isocinético Chimenea Horno 1.

1.2.1. Material Partículado.

Las partículas transportadas por la corriente gaseosa a través de las chimeneas, son extraídas en forma isocinética y luego por gravimetría se determina su peso. Las partículas que son succionadas a través de la boquilla, son conducidas por la sonda hacia la parte caliente de la caja de muestreo en donde el ciclón actúa como retenedor del material particulado más grueso. Las partículas más pequeñas pasan por el filtro en donde se remueven de la corriente gaseosa.

El gas caliente pasa luego a la zona fría de la caja de muestreo, en donde están colocados cuatro impactadores (tubos), los dos primeros contienen cada uno 100 mililitros de agua, el tercero está completamente seco (vacío) y el último contiene aproximadamente 200 gramos de sílica gel. Estos impactadores se encuentran sumergidos en hielo y por transferencia de calor se produce una condensación que permite determinar la humedad del gas muestreado.

A través de un cordón umbilical, el gas frío es conducido al módulo de control, el cual contiene en su interior dos manómetros, uno para determinar la caída de presión a través de un orificio y otro que marca la

diferencia de presión del tubo pitot en S, colocado junto con la boquilla en el interior de la chimenea.

El módulo contiene, igualmente, una bomba de vacío a través de la cual se hace la succión y un medidor de gas en donde se registra el volumen de aire succionado.

1.2.2. Dióxido de Azufre (SO_2).

Para dióxido de azufre se utilizan los mismos principios que el de partículas, la diferencia fundamental está en que en lugar de usar agua destilada en los impactadores como medio de condensación, se utilizan soluciones absorbentes en los impactadores dos y tres en donde se colocan 200 mililitros de peróxido de sodio al 3%.

Después de realizar el muestreo, las muestras son llevadas al laboratorio para su posterior análisis.

1.2.3. Dióxido de Nitrógeno (NO_2).

Se toman 25 mililitros de solución absorbente (peróxido de hidrógeno y ácido sulfúrico) y se colocan en un balón de muestreo presurizado, luego se conecta la sonda y se pone en el punto de muestreo, después se gira la válvula del balón y se permite que el gas entre hasta que se igualen las presiones en la línea de muestreo, es decir entre la chimenea y el balón. Normalmente se requiere de 15 segundos de contacto entre el gas de salida y la solución absorbente.

Después de recoger la muestra se cierra la válvula del balón y se desconecta del tren de muestreo, por último se agita vigorosamente por espacio de cinco minutos y las muestras se depositan en frascos de vidrio para ser llevadas al laboratorio para su posterior análisis.

TABLA Nº 1. Comparación entre la Emisión y la Norma para Material Partículado.

Punto de Emisión	**Emisión Kg/hr**	**Norma de emisión Kg/hr**
Horno 1 con molino	60.256	258.8
Horno 1 sin molino	39.114	258.8
Horno 2 con molino	40.515	228.88
Horno 2 sin molino	55.605	228.88
Enfriador 1	20.797	77.72
Enfriador 2	27.110	57.14
Molino cemento 1	24.994	51.43
Molino cemento 3	33.671	64.011
Empacadora	7.688	70.86

TABLA Nº 2. Resultados de SO_x y NO_x

Punto de Emisión	**Emisión SO_x ($\mu g/m^3$)**	**Emisión NO_x ($\mu g/m^3$)**
Horno 1 con molino	2.503	131.224
Horno 1 sin molino	1.918	122.256
Horno 2 con molino	1.792	117.925
Horno 2 sin molino	1.844	125.006
Enfriador 1	N.A	N.A
Enfriador 2	N.A	N.A

Los resultados permiten establecer, que las emisiones de material partículado de todas las fuentes que fueron evaluadas mediante muestreo

isocinético cumplen con la norma establecida por el decreto antes mencionado.

Hay que tener en cuenta que estas mediciones al igual que las evaluaciones de calidad de aire son realizadas por un consultor externo a la empresa.

1.3. Participación en las Evaluaciones de la Calidad del Aire.

Con el objeto de dar cumplimiento a las disposiciones de la autoridad ambiental del departamento de Sucre, **CARSUCRE**, sobre la calidad del aire y con el objeto especifico de determinar de manera real los niveles de concentración de las partículas en suspensión, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, se efectuó un muestreo de estos contaminantes en el área de influencia de **CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA TOLCEMENTO**, los resultados de los muestreos se presentan en las tablas 3 y 4.

Para la selección de los sitios de muestreo de la calidad del aire, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Fuentes de contaminación existentes en el área.
- Áreas urbanas vecinas
- Seguridad y logística para los monitores
- Dirección predominante de los vientos

Luego de analizar estos aspectos se seleccionaron dos sitios para la ubicación de los equipos de medición de contaminantes atmosféricos los cuales fueron: Campamento Villa Carolina y alrededor de la represa El Escobalito.

Las evaluaciones de calidad de aire para material particulado, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, se efectuaron durante el período

comprendido entre el 27 de Julio y el 24 de Noviembre de 2005, empleando una frecuencia de muestreo diaria.

Siguiendo lo establecido por los Decretos 02 de 1982 y 948 de 1995, para la concentración de partículas, se empleo el método gravimétrico y para las determinaciones de SO_2 y NO_2 se emplearon métodos colorímetricos, los cuales se detallan a continuación.

1.3.1. Material Partículado.

Este método está basado en la medición de la cantidad de partículas en suspensión presentes en el aire ambiente, que pasan a través de un filtro durante un periodo de muestreo de 24 horas continuas.

El filtro es pesado antes y después de la toma de la muestra, para determinar la ganancia de peso. El volumen total muestreado es determinado a través de un medidor de flujo y el respectivo tiempo de muestreo.

El tamaño de los filtros es de 20.3 x 25.4cm. El material de fabricación de estos filtros es generalmente fibra de vidrio.

Se utiliza un medidor de alto volumen compuesto por una caseta de aluminio de 40 cm x 40 cm x 105 cm (foto 3). Igualmente, esta provisto de un motor succionador, el cual es capaz de operar en forma continua en periodos de 24 horas. Un porta filtros el cual permanece en forma horizontal al menos un metro por encima del suelo. La caseta tiene una cobertura que protege el filtro de posibles lluvias y otras contingencias meteorológicas.

Foto 3. Caseta de Muestreo Calidad de Aire

Para la realización del muestreo, se abre la caseta del medidor de alto volumen, levantando la tapa superior y se instala un filtro previamente pesado y numerado, en el portafiltros tomamos las precauciones necesarias para evitar daños en el filtro.

1.3.2. Dióxido de Azufre.

Este método se basa en la absorción de SO_2 del aire en una solución de tetracloromercurato de potasio (TCM). Se forma un complejo de diclorosulfitomercurato. El complejo se hace reaccionar con pararosanilina y formaldehído para formar el acido metilsulfónico de pararosanilina de color rojo púrpura intenso, que se determina por medio de un colorímetro, la intensidad del color producido esta relacionada con la concentración de SO_2.

Para la toma de muestra se utilizó el sistema que consiste de los siguientes elementos:

Tubos de absorción de polipropileno, de 162 mm de longitud por 32 mm de diámetro, equipados con tapones del mismo material. Dispensadores, que consisten en un tubo de vidrio de aproximadamente 8 mm de diámetro exterior, 6 mm de diámetro interior y 152 mm de longitud con una contracción en el extremo de 0.3 a 0.8 mm de diámetro externo. El tubo se

coloca de tal manera que quede un espacio libre entre 3 y 5 mm. desde el fondo del tubo de absorción.

Se utilizó también una bomba de aire capaz de mantener una diferencia de presión de al menos 0.7 atmósferas. A través del dispositivo de control de flujo capaz de mantener el flujo corriente a través de la solución de muestreo. En este caso, se usaron orificios críticos con capacidad promedia de 0.22 litros/minuto.

Se usan filtros como retenedores apropiados para remover partículas de la corriente de aire y proteger el dispositivo de control de flujo. En este caso se utilizó un filtro de membrana porosa.

Se colocan 50 ml de TCM en un absorbedor grande y se recolecta la muestra. Se debe proteger de la luz del sol directa durante la recolección y almacenamiento. Se determina el volumen total de aire multiplicando la velocidad de flujo de aire por el tiempo en minutos, y se registra esto y también la presión y temperatura atmosférica.

Para los cálculos se convierte el volumen de aire muestreado al volumen a condiciones de referencia de 0°C y 760 mm Hg.

1.3.3. Dióxido de Nitrógeno.

Para el caso del dióxido de nitrógeno se siguen los mismos procedimientos que para el dióxido de azufre.

El dióxido de nitrógeno es absorbido del aire por una solución acuosa de trietanolamina, el análisis posterior es realizado usando un reactivo que forme un compuesto azocolorante. El color producido por el reactivo es medido en un espectrofotómetro a 540 nm.

Las muestras recolectadas de SO_2 y NO_2 fueron refrigeradas y enviadas a los laboratorios de la empresa consultora para realizar los respectivos análisis.

Las actividades realizadas durante las evaluaciones de la calidad del aire fueron las siguientes:

- Preparación de reactivos
- Peso y marcación de filtros
- Cambio y recolección de muestras
- Llevar registro de tiempo de muestreo, presión y volumen de aire muestreado.

Tabla Nº 3. Resultados para Material Partículado

Sitio de muestreo	µg/m^3			Norma local para 24 horas
	máximo	mínimo	promedio	
Villa carolina	175.28	54.75	99.28	396.8
Represa	227.31	18.53	83.5	396.8

Tabla Nº 4. Resultados para SO_X Y NO_X.

Sitio de muestreo	SO_X (µg/m^3)			NO_X (µg/m^3)			Norma diaria
	máximo	mínimo	promedio	máximo	mínimo	Promedio	
Villa carolina	36.59	0.15	5.46	14.16	0	3.02	99.2
Represa	36.14	0.56	4.7	8.25	0	1.90	99.2

Los resultados mostrados en la tabla Nº 4 y 5 permiten establecer, que en los sitios evaluados, se presentan niveles de emisiones dentro de lo permitido por la autoridad ambiental del Departamento de Sucre (CARSUCRE)

1.4. Realización de Inventario y Caracterización de los Residuos Industriales y Domésticos.

Durante la caracterizaron e inventario de los residuos generados en la empresa, se pudo determinar las cantidades, frecuencia y tipos de residuos que se están generando actualmente, para esto se llevan registros como el mostrado en las tablas 5 y 6, donde se llevaban las cantidades generadas de residuos, al igual, que los residuos trasladados al relleno sanitario, todo esto con el fin de dar cumplimiento a lo estipulado en el plan de manejo ambiental de la empresa.

1.4.1. Residuos Industriales.

Los residuos de tipo industrial que se generan durante la actividad productiva son producto del mantenimiento de los equipos y vehículos utilizados durante todo el proceso, entre los cuales sobresalen los filtros de aceites, cuerpos moledores, ladrillos refractarios, bandas transportadoras y regueros de materiales (harinas, desechos de carbón) producidos en el proceso de fabricación de cemento. Foto 4 y 5.

Foto 4. Cuerpos Moledores

Foto 5. Banda Transportadora

La tabla Nº 5 nos muestra la generación de residuos industriales en la empresa.

Tabla Nº 5. Generación de Residuos Industriales.

Nombre del Residuo	**Cantidad Generada (kg/mes)**
Madera	474.9
Chatarra	496
Recipientes lubricantes	4636.98
Llantas	314.7
Partes eléctricas (cables, balastas)	59.25
Mangas de los filtros	55.24
Ladrillo refractario básico	7566.7
Ladrillo refractario acido.	1891.7
Wipes	124.73
papel de sacos	396
Filtros maquinaria pesada	137.6
Reactivos de laboratorio	151.48
EPP (elementos de protección personal)	24
Icopor	58.35
Regueros de materias primas o producto	462200
Vidrio	90.15
Perlas equipos Rx	25.8

Para la disposición final de los residuos industriales como chatarra, cuerpos moledores, grasas y aceites quemados, se cuenta con sitio

destinado para su almacenamiento temporal. Los residuos producidos por regueros de materiales durante el proceso, son trasladados a un sector especial donde se someten a un proceso de selección (cernido manual) por parte de la comunidad los cuales los aprovechan en pequeñas construcciones y mejoras de vivienda.

Los ladrillos refractarios y la chatarra son vendidos a diferentes empresas para ser reprocesados para su utilización en diferentes procesos industriales.

Los aceites y grasas usados, son coprocesados en el horno uno de la planta, utilizándolos como combustible. Esta actividad se realiza teniendo en cuenta lo estipulado en la resolución número 0415 de 1998 del Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, ya que se cumple con los requerimientos exigidos por dicha resolución.

Para el almacenamiento de los residuos industriales se recomienda adecuar el sitio de almacenamiento temporal de las chatarras, baterías y bandas transportadoras, construyendo un piso de concreto y bajo techo con el fin de llevar un mejor control sobre estos residuos y prevenir posibles derrames sobre el suelo por arrastre de materiales causados por las lluvias, además de darle un mejor aspecto físico.

1.4.2. Residuos Domésticos.

Dentro de los residuos domésticos se incluyen los generados en el campamento Villa Carolina, casinos y oficinas, al igual que los generados en el mantenimiento de los jardines y hojas caídas de los árboles.

En la tabla Nº 6 se muestran los resultados de la caracterización y cuantificación realizada a los residuos domésticos generados en estos

lugares durante los días comprendidos entre el 10 de Octubre y el 13 Noviembre del 2005.

TABLA Nº 6. Generación Residuos Domésticos.

Tipo de Residuo	(Kg./Mes)	Porcentaje %
Líquidos	523.78	5.8
Sólidos (orgánicos)	7109.23	78.1
Cartón y papel	616.16	6.8
Plástico	343.75	3.8
Madera	398.9	4.39
Metal	15.6	0.13
vidrio	88.05	0.98
Total	9092.47	100

Como nos indica la tabla Nº 6, cerca del 78% de los residuos domésticos son de origen orgánico, teniendo en cuenta que se incluyen los residuos de jardinería en los sólidos orgánicos. También se presentan cantidades importantes de papel y cartón que se deben tener en cuenta con el fin de desarrollar sistemas de reciclaje que permitan el aprovechamiento de estos residuos.

Actualmente estos residuos son trasladados al relleno sanitario de la empresa, los cuales son recogidos diariamente.

Con el fin de darle un mejor manejo y aprovechamiento a los residuos de oficina y casino, especialmente papel y cartón, al igual que los empaques desechados en la zona de envase se recomiendan la puesta en marcha

de un sistema de reciclaje con fin de disminuir la carga de residuos dispuesta en el relleno, al igual que obtener recursos que pueden ser utilizados en labores sociales, ya que estos pueden ser donados a personal de la comunidad para su aprovechamiento o venta, o ser vendidos directamente a centros de reciclaje de la ciudad de Sincelejo e invertir los recursos obtenidos en actividades antes mencionadas.

En la tabla Nº 7 podemos observar los recursos que se pueden obtener, teniendo en cuenta las cantidades generadas de los residuos y los precios de venta de los mismos.

Tabla Nº 7. Cantidad de Residuos y Precio de Venta.

Tipo de Residuo	**Kg/mes**	**Valor ($)/kg**	**Total ($)**
Papel	441	400	176.400
Cartón	456.5	120	54.780
Plástico	150	-	-
Vidrio	88	30	2460
Total	853		233.640

Para iniciar con esta actividad se deben instalar canecas marcadas en sitios estratégicos para la recolección y separación en la fuente de estos residuos, igualmente se deben realizar actividades educativas donde se concientice a todo el personal de la planta en el uso adecuado de las mismas. Es también de señalar la importancia de la adecuación de un sitio para el acopio de estos residuos.

1.5. Diseño de un Sistema de Compostaje Aerobio.

Consistió en desarrollar un sistema que permitiera un mejor manejo de los residuos sólidos orgánicos aprovechando sus propiedades fisicoquímicas para la elaboración de compost.

Teniendo en cuenta las cantidades de residuos sólidos orgánicos se diseñó un sistema de compostaje aerobio en donde se pretendía dar un mejor aprovechamiento a estos residuos, lo que permite disminuir la cantidad de residuos trasladados al relleno sanitario y por ende alargar la vida útil de éste y disminuir los costos en el manejo de los mismos.

El producto (compost) obtenido del proceso de compostaje puede ser utilizado en el mantenimiento de los jardines y zonas verdes de la planta, al igual que aprovecharlo en el vivero con que se cuenta en la siembra y propagación de plantas nuevas y puede ser de gran importancia a la hora de la adecuación y reforestación de las zonas mineras en donde se acaba el yacimiento mineral y se debe dar un cierre y readecuación del terreno.

CAPITULO II.

2. DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE AEROBIO PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA TOLCEMENTO.

El objeto fundamental de este diseño es brindar una herramienta práctica para transformar en forma razonable, equilibrada y fundamentalmente ecológica los residuos sólidos orgánicos generados en la empresa Cementos Argos S.A. Planta Tolcemento en compost. Este constituye un proceso ambientalmente deseable y amigable para dar tratamiento y aprovechamiento a la corriente más importante del total de residuos de la planta.

La generación de residuos y su posterior disposición son de gran importancia y cuidado debido a los posibles problemas ambientales que pueden surgir de su inadecuado manejo. Por esta razón se presenta el compostaje como una alternativa y gran oportunidad de mejora del actual manejo al que son sometidos los residuos orgánicos generados en la empresa. Actualmente estos son trasladados al relleno sanitario, propiedad de la misma, en donde no se aprovechan las propiedades con que cuentan estos residuos para la elaboración de productos que pueden ser utilizados en otras actividades benéficas, tal es el caso de la elaboración de abonos orgánicos (compost), los cuales serían aprovechados en las obras de mantenimiento y embellecimiento de las zonas verdes y jardines de la empresa. Además, en la empresa se cuenta con un vivero en donde se aprovecharía en gran cantidad a la hora de propagar y sembrar plantas nuevas.

Los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario se descomponen muy lentamente, porque en el proceso aislado del aire, se consume rápidamente el oxígeno existente, generándose una fase de

descomposición en ausencia de oxígeno (descomposición anaeróbica). En esta fase se produce la transformación del carbono contenido en la materia orgánica en gas metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) los cuales que se difunden en la atmósfera y en parte son responsables del efecto invernadero y el calentamiento global. Además de esta forma se pierden gran cantidad de nutrientes que podrían ser aprovechados por plantas o como mejoradores de suelos.

Teniendo en cuenta que cerca del 78% de los residuos domésticos generados en la empresa son de carácter orgánico, de estos cerca del 60% son trasladados al relleno sanitario, su aprovechamiento en la producción de abonos orgánicos (compost), disminuiría en gran medida la cantidad de residuos trasladados al relleno, aumentando significativamente su vida útil con los beneficios que esto trae a la empresa. Por lo tanto, se recomienda coordinar de una forma más adecuada las actividades de separación, recolección, clasificación y almacenamiento temporal de los residuos que no se utilizarán para la producción de compost, teniendo en cuenta que éstos en su gran mayoría son plásticos, papel, cartón y vidrio, no presentan problemas sanitarios de descomposición rápida ni generación de malos olores, por lo que pueden ser almacenados temporalmente para ser clasificados y reciclados o trasladarlos al relleno, lo que nos permite seguir disminuyendo la cantidad de residuos que finalmente sería llevada al relleno, igualmente la frecuencia de viajes y en consecuencia la construcción de nuevas trincheras y por ende los costos de operación.

También hay que tener en cuenta que los lugares donde se están realizando las explotaciones mineras de materias primas, luego de ser aprovechados en su totalidad deben ser recuperados mediante programas de reforestación en donde el compost será de gran utilidad debido a sus propiedades nutricionales que permiten la adecuación y

mejoramiento de los suelos para un óptimo desarrollo y propagación de la cobertura vegetal.
La transformación de los residuos orgánicos en compost es una técnica conocida y de fácil aplicación, que permite obtener un fertilizante de manera racional, económica y segura, a partir de diferentes residuos biodegradables, conservando y aprovechando los nutrientes presentes en estos residuos.

Puede definirse el compost como el producto que se obtiene al someter la materia orgánica a un proceso de fermentación aerobia que la transforma en una mezcla estable, lo más homogénea posible y guardando una relación entre sus componentes que le confieran un buen valor agronómico. Su producción trae beneficios directos e indirectos si consideramos los beneficios en la producción, la disminución de material a eliminar y su valor como elemento formativo ambiental.

Todo esto nos permitirá disminuir significativamente los impactos ambientales causados por la generación de estos residuos y contribuir en cierta forma al cuidado del medio ambiente y ser promotores de las políticas de sostenibilidad.

2.1. Producción y Características de los Residuos Generados.

2.1.1. Producción.

Cantidad Generada.

En la tabla No 8, Producción de Residuos Sólidos orgánicos, se presentan los kilogramos de desechos sólidos orgánicos que son generados en la empresa Cementos Argos S.A. Planta Tolcemento. Y que corresponden al área del campamento Villa Carolina, casinos y zonas de jardinería (incluyendo las hojas caídas de los árboles).

Tabla Nº 8. Producción de Residuos Sólidos Orgánicos.

OCTUBRE 2005		NOVIEMBRE 2005		
DIA	CANTIDAD (kg)	DIA	CANTIDAD (kg)	
10	79.74	1	119.6	
11	83.06	2	90.7	
12	120.74	3	91.3	
13	115.02	4	91.3	
14	175.5	5	87.4	
15	100.41	6	113.3	
16	100.41	7	147.5	
17	100.41	8	78.2	
18	90.66	9	78.2	
19	135.86	10	78.2	
20	125.4	11	96.1	
21	172.03	12	105.78	
22	113.73	13	131.69	
23	113.73			
24	151.15			
25	119.3			
26	114.23			
27	144.05			
28	90.66			
29	101.6			
30	101.6			
31	110.67			
TOTAL	2559.96		1309.27	3869.23

Según los datos mostrados en la tabla Nº 8 podemos establecer un promedio diario de 117 kg de residuos sólidos orgánicos, esto sin incluir

los generados en los jardines y zonas verdes, los cuales están alrededor de 120 kg diarios.

Composición.

La composición de los residuos sólidos de origen orgánico de la empresa Cementos Argos S.A. Planta Tolcemento, corresponde fundamentalmente a desperdicios de comida, restos de conchas de frutas, verduras y tubérculos, hojas de árboles y material vegetal procedente de la poda de jardines.

2. 1.2. Características.

En la tabla Nº 9. Se muestran algunas condiciones ideales para el proceso de compostaje.

Tabla 9. Condiciones ideales para el compostaje.

Condición	Rango aceptable	Condición optima
Relación C:N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 -65%	50 – 60%
Oxigeno	> 5%	8 %
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Temperatura	55 – 75	65 – 70
Tamaño partícula	0.5 – 1.0	variable

Fuente: Rynk, 1992; Tomado de Soto, 2003

2.2. Selección del Sitio de Compostaje

Para la selección de este sitio se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- Poca distancia entre el vivero y el sitio de origen de los residuos.
- Los terrenos no presentan riesgos de inundación lo que permitirá llevar acabo el proceso de descomposición sin la posibilidad de que el material compostable sea dispersado o destruido por el agua o se aumenten sus niveles de humedad requeridos.
- El lugar es fácilmente accesible ya que se cuenta con vías en un buen estado y a estas se les realiza un frecuente mantenimiento.
- El terreno es lo suficientemente amplio para la recepción de la cantidad de materia orgánica generada en la planta y el tratamiento de la misma.
- Se cuenta con suministro de agua permanente y condiciones ambientales favorables

El lugar seleccionado para la ubicación de sistema de compostaje será el vivero de propiedad de la empresa.

2.3. Diseño del Sistema de Compostaje.

Para el sistema de compostaje de Cementos Argos, Planta Tolcemento se implementará el de pilas móviles junto con una combinación de los sistemas en reactores o contenedores, ya que se utilizaran contenedores de madera móviles con el fin de aprovechar mejor el espacio, facilitar los volteos, evitar regueros de material por acción de los vientos y tener un mejor control del proceso.

Para el diseño del sistema de compostaje se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

2.3.1. Aspectos Cualitativos.

Caracterización adecuada de los residuos que se van a compostar, con el fin de obtener un adecuado balance de nutrientes entre los residuos con los cuales se garantice un óptimo proceso.

Dentro de los residuos sólidos generados en la empresa, se presenta una variedad de estos garantizando un adecuado suministro de nutrientes a los microorganismos, los cuales serán quienes realicen la degradación durante el proceso de compostaje.

También se utilizaran otros materiales diferentes a los generados en la empresa, como es el caso del estiércol de bovinos, tierra y melaza, los cuales facilitarán el proceso y garantizarán un producto de buenas condiciones nutritivas para el suelo y las plantas.

2.3.2. Aspectos Cuantitativos

La cuantificación de los volúmenes con que se dispone para compostar, así como la frecuencia de ingreso de los mismos, es de gran importancia, ya que permite calcular la necesidad de área de compostaje y determinar la unidad de compostaje.

La tabla Nº 8, muestra la cantidad de residuos generados, los cuales son del orden de 117 kg diarios, de los cuales cerca de 70 kg serán utilizados en la elaboración de compost, lo que representa aproximadamente 60 % de estos residuos, el resto de residuos es utilizado por personal de la comunidad para la alimentación de cerdos.

Se pretende instalar una pila de compostaje cada diez días, acumulando todos los residuos sólidos orgánicos generados en este tiempo en el sitio de compostaje.

2.3.3. Unidad de Compostaje.

Teniendo en cuenta la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados, disponible para el proceso de compostaje, la cual, está alrededor de 400 kg semanales, y si le sumamos los otros materiales utilizados para la conformación de los cajones, como son el estiércol y tierra, esto equivale a una cantidad de 520 kg aproximadamente.

2.3.4. Dimensión de los Cajones.

Para determinar la dimensión de los cajones fue importante conocer la densidad de cada uno de los residuos y materiales que ingresaran al sistema, al igual que la masa total de los mismos, con el fin de determinar el volumen que ocuparán, para de esta forma realizar el cálculo de las dimensiones más adecuadas de los cajones.

En la tabla Nº 10. Se muestran cada uno de los materiales utilizados con sus respectivas densidades y la cantidad utilizada en la conformación de una pila.

Tabla Nº 10. Cantidad, densidad y volúmenes de los diferentes materiales utilizados en la conformación de una pila de compost.

MATERIAL	CANTIDAD (kg)	DENSIDAD (kg/m^3)	VOLUMEN (m^3)
Conchas	300	440	0.68
Residuos de jardín	60	115	0.52
Estiércol	80	350	0.23
Tierra	50	550	0.09
TOTAL	490		1.52

Como nos muestra la tabla Nº 10, el volumen total ocupado por los residuos es de aproximadamente 1.52 m^3, por lo tanto, para la construcción de los cajones se establecieron las siguientes dimensiones:

- Largo: 1.1 metros

- Base: 1.1 metros

- Alto: 1,8 metros.

Estas dimensiones nos proporcionan una capacidad de 1.8 m^3, en donde se pueden manejar adecuadamente todos los materiales, destacando que este volumen es superior al que ocupan realmente los materiales, con el fin de tener una mayor capacidad instalada en caso tal de que se incremente la generación de residuos.

Se instalaron cuatro cajones; como se muestra en la foto 6 y 7 para el manejo de todos los residuos, teniendo en cuenta, que se conformará cada 10 días una pila, estimando un tiempo de compostaje de aproximadamente 40 días, dejando un cajón siempre vació para realizar los respectivos volteos, por lo tanto después de los primeros cuarenta días, se desocupará el primer cajón, quedando disponible para ser utilizado nuevamente.

Foto 6.

Foto 7.

Foto 6 y 7. Cajones de Madera para la Instalación de las Pilas de Compostaje.

2.3.5. El Tiempo de Compostaje.

En el sistema proyectado para Cementos Argos, Planta Tolcemento, teniendo en cuenta las condiciones ambientales actuales, se espera que el tiempo de compostaje sea de aproximadamente 40 días.

2.3.6. Área y Dimensiones de la Cancha de Compostaje.

Teniendo en cuenta el área ocupada por los cajones ($5m^2$), y las actividades que se realizarán, el área de compostaje destinada para la instalación del sistema será de 35 m^2 y sus dimensiones serán de 7 x 5 metros. Con el fin de tener el espacio suficiente para realizar todas las actividades necesarias durante el proceso de compostaje como son: picado y mezcla de los residuos, volteos y almacenamiento.

2.3.7. Preparación de la Cancha de Compostaje.

La cancha de compostaje se realizó en concreto (foto 8 y 9), con una altura sobre el nivel del suelo de aproximadamente 30 cm, con una inclinación de 3° con el fin de facilitar el desagüe del agua producto del riego de las pilas, aguas lluvias o producción de lixiviados y además para facilitar su recolección.

Foto 8.

Foto 9.

Foto 8 y 9. Aspecto Cancha de Compostaje

2.4. Manejo y Operación del Sistema de Compostaje.

Inicialmente se realizan una serie de procedimientos antes de la conformación de la pila en los cajones, y tiene como objeto acondicionar los materiales para optimizar el proceso.

Entre estos procedimientos encontramos:

- Balance de nutrientes
- Corrección del pH
- Picado

El balance de nutrientes se hace con el fin de que los microorganismos encargados de realizar el proceso de descomposición, cuenten con todos los requerimientos nutricionales necesarios para su reproducción y desarrollo. El balance de nutrientes esta directamente relacionado con la relación C/N.

Para determinar las cantidades adecuadas de cada material que nos permita obtener una relación Carbono – Nitrógeno óptima realizaremos el siguiente balance de materia con la ayuda de los siguientes datos presentados en la tabla 11.

Tabla Nº 11. Algunas Propiedades Fisicoquímicas de los Residuos.

RESIDUO	% HUMEDAD	% CARBONO	% NITROGENO	C/N
Conchas	65	30	1.2	25
Residuos jardín	15	40	1	40
Estiércol	20	25	1.4	18

Se determinaron las proporciones de cada componente para lograr una relación C/N de 25.

Determinación la composición porcentual de cada material.

Se asumió una base de cálculo de 1 kg de cada material.

a. Para 1 kg de conchas

Agua= 1 kg *(0.65) = 0.65 kg

Materia seca = 1 kg – 0.65 kg = 0.35 kg

N = 0.35 kg * (0.012) = 0.0042 kg de N

C = 25 * (0.0042 kg de N) = 0.105 kg de C

b. Para 1 kg de residuos de jardín

Agua 1 kg * (0.15) = 0.15 kg

Materia seca = 1 kg – 0.15 = 0.85 kg

N = 0.85 kg * (0.01) = 0.0085 kg de N

C = 40 * (0.0085) = 0.34kg de C

c. Para 1 kg de estiércol

Agua = 1 kg * (0.2) = 0.2 kg

Materia seca = 1kg – 0.2 kg = 0.8 kg

N = 0.8 kg * (0.014) = 0.0112 kg

C = 18 * (0.0112) = 0.2016 kg

Nota: Teniendo en cuenta que las conchas presentan una relación C/N de 25, se realizaron los cálculos con el estiércol y los residuos de jardín

Determinación de la cantidad de estiércol que hay que añadir a 1 kg de residuos de jardín para lograr una relación C/N de 25.

$$\frac{C}{N} = 25 = \frac{C\text{en 1kg de residuos de jardín} + \chi(C\text{en 1kg de estiercol})}{N\text{en 1kg de residuos de jardín} + \chi(N\text{en 1kg de estiercol})}$$

Donde: χ = cantidad de estiércol necesario

$$25 = \frac{0.34 + \chi(0.2016)}{0.0085 + \chi(0.0112)}$$

$\chi = 1.6 \cong 2$ kg de estiércol por cada kg de residuos de jardín

Comprobación la relación C/N y el contenido de humedad de la mezcla resultante incluyendo las conchas.

a. para 2 kg de estiércol:

Agua = 2 kg (0.2) = 0.4 kg

Materia seca = 2 kg (0.8) = 1.6 kg

N= 2 kg (0.0112) = 0.0224 kg

C = 2 kg (0.2016) = 0.4024 kg

b. para 2 kg de estiércol + 1 kg de residuos de jardín + 1 kg de conchas

Agua = 0.4 kg + 0.15 kg + 0.65 kg = 1.2 kg

Materia seca = 1.6 kg + 0.85 kg + 0.35 kg = 2.8 kg

N = 0.0224 kg + 0.0085 kg + 0.00525 kg = 0.03615 kg

C = 0.4024 kg + 0.34 kg + 0.105 kg = 0.8474 kg

c. Determinar la relación C/N:

$$\frac{C}{N} = \frac{0.8474kg}{0.03615kg} = 24.3$$

Nos da una relación C/N dentro del rango apropiado para iniciar el proceso.

d. encontramos el contenido de humedad de la mezcla resultante.

Humedad = $\frac{1.2 \text{ kg de agua}}{1.2 \text{ kg de agua} + 2.8 \text{ kg de materia seca}} = 0.3 \times 100 = 30\%$

Por lo tanto tendríamos que adicionar 0.6 lt de agua por cada 4 kg de mezcla con el fin de obtener una humedad de 45 % aproximadamente.

Para el control del pH, se toman muestras y se llevan al laboratorio de la empresa para realizar el respectivo análisis. Hay que tener en cuenta que la gran mayoría de los residuos presentan pH básico, con algunas excepciones como el caso de los cítricos. En caso de que se presenten pH ácido, se aplican cantidades determinadas de cal o polvillo de los hornos, para realizar la corrección.

Hay que resaltar que si se tiene una adecuada relación Carbono-Nitrógeno, se presentan condiciones adecuadas en el pH.

El picado se realizó con ayuda de machete o pala (foto 10 y 11), con el fin de aumentar el área superficial de los residuos y así de esta forma, exponer mucho más los residuos a la acción microbiana lo cual acelerará considerablemente el proceso de compostaje.

Foto 10. Picado

Foto 11. Material Picado

Con el fin de ayudar aún más a acelerar el proceso de compostaje, se preparó un inóculo con microorganismos benéficos, los cuales se obtuvieron de la materia orgánica semidescompuesta, utilizando como medio capturador arroz cocido. Luego el arroz impregnado de microorganismo es licuado en 2 lt de agua y 1 lt de melaza, lo que conforma finamente el inóculo. Foto 12 y 13.

Para su aplicación se diluyan 200 ml de inoculo en 20 lt de agua por cada m^3 de residuos aproximadamente.

Foto12. Capturador de Microorganismos.

Foto 13. Inóculo

Para la instalación de las pilas de compostaje (foto 14 y 15), se colocan capas intercaladas con los materiales que se van a utilizar, siguiendo el orden que se presenta a continuación:

1. Se comienza la preparación de la pila con una capa de unos 2 cm. de tierra o de compost terminado.
2. Luego se adicionan 20 cm. de la mezcla de hojas y residuos orgánicos de los casinos (conchas) ya picados.
3. Añadir una capa de 5 cm. de estiércol.
4. Añadir una capa de 2 cm. de la tierra o compost terminado.
5. Ahora se puede añadir un poco de polvillo del horno o cal.
6. Luego realizamos el riego con la solución preparada con el inóculo como se indicó anteriormente.
7. Se repiten todos los pasos hasta que se obtiene una altura de pila de 1 hasta 1,5 metros.

Hay que resaltar que no existen formulaciones predeterminadas que se deben seguir, sino que cada quien es autónomo para alterar la forma en que conforman las pilas, teniendo en cuenta los materiales y la cantidad de estos, siempre y cuando se mantengan los principios fundamentales del proceso.

Foto 14. Pilas de Compostaje Instaladas.

Foto 15. Material en una Pila de Compostaje

2.4.1. Aireación y Homogenización de la Pila de Compostaje.

Para realizar un control de la aireación y homogenizar las pilas de compostaje, se realizan volteos con la ayuda de palas y rastrillos (foto 16).

Foto 16. Volteo

Siempre se debe procurar que el material que se encuentra en el centro de la pila pase a formar parte de los bordes y estos del centro.

Para manejar el sistema empleado en Cementos Argos S.A., Planta Tolcemento se utiliza la siguiente metodología. Se debe realiza el primer volteo al quinto día después de instalada la pila, luego se realiza cada tres días, teniendo en cuenta que esto no se debe seguir estrictamente al pie de la letra ya que esto depende de factores externos como son la temperatura ambiente, vientos y humedad relativa, pero que sin embargo nos sirve como guía inicial para controlar el proceso.

2.4.2. Riego y Control de Humedad.

No existe frecuencia preestablecidas para el riego.

Para llevar un control de la humedad en el sistema de compostaje, se aplica el siguiente procedimiento:

1. Se toma con la mano un puñado del material.
2. Se cierra la mano y se aprieta fuertemente.
3. Si con esta operación sale un hilo continuo de agua del material, entonces se puede establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.
4. Si el material gotea intermitentemente, se puede establecer que el contenido de humedad es cercano a 40%.

5. Si el material no gotea y cuando abrimos el puño el material permanece moldeado, se puede estimar que la humedad está entre el 20 al 30%.
6. Finalmente si se abre el puño y el material se disgrega, se puede asumir que el material contiene una humedad inferior al 20%.

Se debe mantener una humedad alrededor de 35 al 45%, durante gran parte del el proceso, cuando este listo debe presentar una humedad alrededor de 25 y 30%, el compost se debe retirar de los cajones y extenderlo en capas de aproximadamente 30 cm de altura, lo que permite disminuir la humedad hasta un 20% aproximadamente, con el fin de facilitar el proceso de refinado en caso de que sea necesario realizarlo.

2.4.3. Control de la Temperatura.

La temperatura debe ser tomada en el núcleo de la pila, se deben tomar la temperatura en tres puntos equidistantes y tomar el valor promedio aritmético entre los tres puntos.

La temperatura de las pilas varían a lo largo de todo el proceso, presentándose incrementos significativos en los primeros días, alcanzado temperaturas de hasta 75° C. L a temperatura de la pila debe mantenerse alrededor de 55-65°C durante gran parte del proceso. En el anexos B se muestran las variaciones de la temperatura a lo largo del proceso de en diferentes pilas de compostaje.

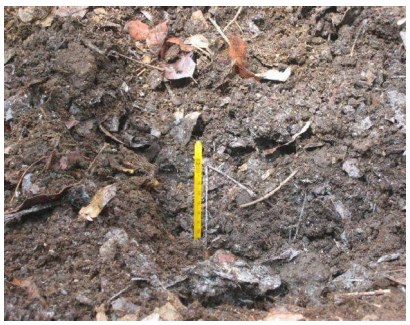


Foto 17. Control de Temperatura

2.4.4. Control de Aireación y Riego por Temperatura.

Se realizan las aireaciones cuando empieza a bajar la temperatura.

El riego debe ser lo más atomizado posible, para no producir cambios bruscos en la temperatura. Foto 18.

Foto 18. Riego

En el momento en que la temperatura descienda hasta alcanzar un valor cercano a la temperatura ambiente, podemos decir que el proceso ha terminado.

Otros indicadores que muestran la finalización del proceso es que el material presenta un color marrón oscuro y olor a tierra húmeda.

2.4.5. Control Higiénico y Seguridad

Consiste en mantener un control durante todo el proceso de posible generación de malos olores debido a condiciones de anaerobiosis causadas por exceso de humedad o falta de aireación. Estas pueden ocasionar la presencia de moscas y otros animales que pueden ser vectores en la transmisión de infecciones al personal que esté operando el sistema.

Para realizar las operaciones requeridas en el proceso se tendrán todos los cuidados necesarios para evitar posibles lesiones, suministrándoles a los operarios los elementos de protección personal necesarios para

desarrollar de forma segura todas sus actividades como son tapa bocas, gafas, botas, casco y guantes.

En caso de presentarse alguna lesión en la piel debe lavarse con agua y jabón, si se presenta contacto del material con los ojos se debe lavar con abundante agua.

2.4.6. Refinación y Almacenamiento

El compost listo, será refinado y almacenado bajo techo con el fin de protegerlo de la lluvia ya que por lavado puede perder nutrientes. Además se debe proteger del sol el cual puede ocasionar mucha pérdida de humedad, compactando el material y dificultando su manejo. Foto 19 y 20

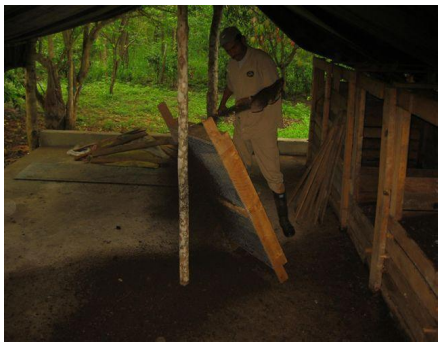


Foto 19. Refinación

Foto 20. Compost Refinado

2.5. Inversión y Operación.

2.5.1 Infraestructura Física.

Corresponde a la construcción de las instalaciones físicas creadas para la implementación del sistema, que debe contar con los requerimientos técnicos necesarios para su funcionamiento, los elementos más importantes son:

- Cancha de concreto

- Techo

- Adecuación de tomas de agua, etc.

- Adecuación de vías de acceso

2.5.2. Vehículos.

Los vehículos utilizados para el trasporte de los residuos desde los sitios de generación hasta el sitio de procesamiento serán los mismos utilizados actualmente para la recolección y traslado de los residuos al relleno sanitario y el lugar de procesamiento está en la misma vía que conduce al relleno sanitario, además con la implementación del sistema de compostaje se reduce la cantidad de residuo trasladada al relleno por lo cual el traslado al relleno se podrá realizar día por medio y no diariamente como se viene realizando.

2.5.3. Herramientas Manuales.

Palas, rastrillo, carretilla, tanques, Bomba de riego, manguera, machetes, etc.

2.5.4. Herramientas Técnicas

Generalmente utilizadas para el control técnico del proceso, tales como: termómetros, higrómetros, medidores de pH, etc.

En la tabla Nº 12 se muestran los costos de inversión, de equipos e insumos que se requirieron para la construcción y puesta en marcha del sistema de compostaje.

Tabla Nº 12. Costos de Inversión, Equipos e Insumos Empleados en el Sistema de Compostaje.

Materiales	**Cantidad**	**Valor unitario (pesos)**	**Total**
Cancha de concreto	1	200.000	200.000
Material Reciclable	_	20.000	20.000
* Pala	1	8.000	8.000
* Rastrillo	1	10.000	10.000
* Carretilla	1	80.000	80.000
* Bomba de riego	1	150.000	150.000
* Maches	2	7.500	15.000
Melaza	1 bulto	15.000	15.000
* Termómetro	1	10.000	10.000
Total			508.000

* Elementos con que se cuentan y son facilitados por la empresa.

Lo que nos indica que los costos reales invertidos para la construcción y puesta en marcha del sistema de compostaje de la empresa Cementos Argos, Planta Tolcemento fueron de $508.000 pesos.

2.5.5. Mano de Obra.

La mano de obra empleada para la construcción de la cancha y los cajones fueron realizados por parte del personal de la empresa contratista SODEXHO S.A.

La parte de diseño y dirección estuvo por cuenta del estudiante de Ingeniería Agroindustrial, pasante en esta empresa como requisito para optar el titulo en la carrera antes mencionada.

Por tanto no se incurrieron en costos para la operación del sistema debido a que esto se encuentra dentro de sus funciones y para lo cual se

contrataron, además con la puesta en marcha del sistema de compostaje, se redujo los viajes al relleno sanitario en un 40%, lo que permite tener una mayor disponibilidad de tiempo del personal encargado del manejo de los residuos, que puede ser empleado para realizar esta actividad.

2.5.6. Elementos de Trabajo.

Son todos los elementos de trabajo y protección para los operarios del sistema como son: guantes, mascarillas, botas, cascos, etc.

Estos elementos son sumistrados por la empresa a la cual hacen parte el personal operativo, en este caso SODEXHO. S.A. es quien debe suministrar estos elementos.

2.6. Puesta en Marcha

La construcción de la canchas de concreto y cajones de madera se realizaron entre los meses de Noviembre de 2005 y Febrero del 2006.
El 22 de Febrero del presente año entró en funcionamiento el sistema de compostaje con la instalación del primer cajón.

El personal encargado del manejo del sistema de compostaje es suministrado por la empresa contratista SODEXHO S.A. a quienes se les realizó la respectiva capacitación en la producción de compost y el manejo de residuos sólidos orgánicos.

El sitio seleccionado para la operación del sistema de compostaje, cuenta con buenas vías de acceso, a las cuales se les realiza un mantenimiento periódico ya que estas son las mismas utilizadas para el transporte de materias primas que son conducidas desde las minas, también se cuenta con permanente suministro de agua y energía, por lo tanto no se requiere la inversión adicionales en estos aspectos.

2.7. Resultados

En la tabla Nº 13 se muestran las cantidades de los materiales procesados y la fecha en la que se han conformaron las diferentes pilas.

Tabla Nº 13. Fecha de Instalación de las Pilas de Compostaje y Cantidad de Materiales Utilizados.

Fecha	Nº Pila	Residuos de casinos (kg)	Hojas Secas (kg)	Otros (Estiércol y Tierra) (kg)	Total (kg)
Febrero 22 de 2006	1	150	30	120	300
Febrero 24 de 2006	2	150	50	120	320
Marzo 03 de 2006	3	160	50	140	350
Marzo 10 de 2006	4	170	50	130	350
Marzo 28 de 2006	5	280	50	120	450
Abril 07 de 2006	6	300	60	150	510
Abril 28 de 2006	7	400	70	150	620
Total		1610	360	930	2900

Como nos muestra la tabla 13, en el sistema de compostaje se han manejado aproximadamente 1970 Kg de residuos producidos en los casinos y jardines; Se han conformado siete (7) pilas de compostaje y se

han producido aproximadamente 1150 Kg de compost, los cuales fueron producto de los cuatro primeros cajones donde ha terminado el proceso, lo cual nos muestra un rendimiento de aproximadamente 87%. Las perdidas que se presentaron se deben a los procesos de evaporación y en las operaciones de manejo como son los volteos.

Las fechas en que finalizaron el proceso las pilas uno, dos, tres y cuatro fueron respectivamente el 31 de Marzo, 5 ,12 y 23 de Abril de 2006.

El compost obtenido se ha empleado en el mantenimiento de jardines y construcción de nuevas jardineras. Foto 21 y 22.

Foto 21. Foto 22.

Foto 21 y 22. Construcción Nuevas Jardineras

La planilla de registro diseñada para llevar los valores de los diferentes parámetros a medir de cada una de las pilas de compostaje conformadas (anexo B), que nos permiten mantener un control permanente del proceso, nos muestra las fechas de conformación y finalización del proceso y las cantidades de residuos manejados. En el anexo C, se muestran las gráficas de las temperaturas promedio de las diferentes pilas de compostaje a lo largo de todo el proceso.

2.8. Conclusiones

El diseño del sistema de compostaje realizado en la empresa durante la pasantía permite alcanzar:

- Disminución de los niveles de contaminación que producen los residuos orgánicos por el proceso natural de descomposición, el mismo que genera gas metano, proliferación de vectores transmisores de enfermedades y roedores.

- Aprovechar de una manera ambientalmente segura los residuos orgánicos.

- Aumentar las posibilidades de producción en viveros, jardines y zonas verdes.

- Crear una conciencia ambiental en la empresa en cuanto a los hábitos de separación de desechos en origen y la utilización que éstos pueden tener.

- Reducir la tasa de ocupación del relleno sanitario, al darles aprovechamiento a parte de los residuos, aumentando con esto su vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

- TCHOBANOGLOUS, George. THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I. MCG Graw – Hill. 1994. p 341-348

- TCHOBANOGLOUS, George. THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen II. MCG Graw – Hill. 1994. p 770–779

- SETERN, Daniel. Manual Para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales y Procedimientos. p 18, 19, 21-24, 26-34

- PULIDO, Hernán. DOMINGUEZ, Jesús y RAMIREZ, Margarita. Diseño del Relleno Sanitario de Residuos Sólidos Domésticos Tolcemento. 2000. p 14-16, 18,48

- Manual de Compostaje. Corporación de Investigación Tecnológica de Chile. 1999

- MUÑOZ, José Sélmo. Compostaje en Pescador, Cauca: Tecnología Apropiada Para el Manejo de Residuos Orgánicos y su Contribución a la Solución de Problemas Medioambientales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Administración. 2005

- www.CESIA-foe.org/recursos/pdfs/composta.pdf.

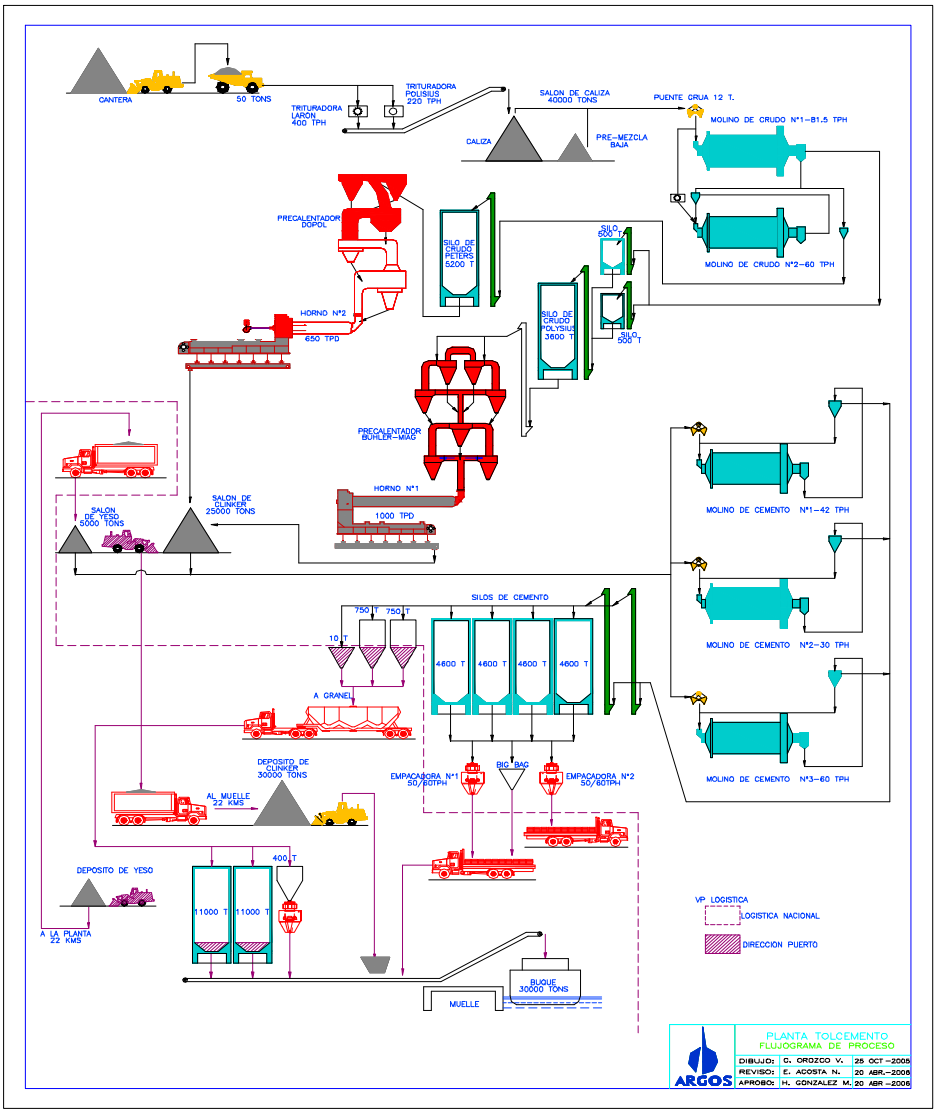
- www.emison.com/511.htm.

- www.cavasa.com.co/htm/resena.htm.

- www.ambientum.com/enciclopedia/residuo.

ANEXOS

Anexo A. Diagrama de Flujo Proceso Fabricación del Cemento


CANTERA
50 TONS
TRITURADORA LARON 400 TPH
TRITURADORA POLISIUS 220 TPH
SALON DE CALIZA 40000 TONS
PUENTE GRUA 12 T.
MOLINO DE CRUDO N°1–81.5 TPH
CALIZA
PRE–MEZCLA BAJA
PRECALENTADOR DOPOL
SILO DE CRUDO PETERS 5200 T
SILO 500 T
MOLINO DE CRUDO N°2–60 TPH
HORNO N°2
650 TPD
SILO DE CRUDO POLYSIUS 3600 T
SILO 500 T
PRECALENTADOR BUHLER–MIAG
HORNO N°1
1000 TPD
SALON DE YESO 5000 TONS
SALON DE CLINKER 25000 TONS
MOLINO DE CEMENTO N°1–42 TPH
SILOS DE CEMENTO
750 T
750 T
10 T
4600 T
4600 T
4600 T
4600 T
MOLINO DE CEMENTO N°2–30 TPH
A GRANEL
DEPOSITO DE CLINKER 30000 TONS
AL MUELLE 22 KMS
EMPACADORA N°1 50/60TPH
BIG BAG
EMPACADORA N°2 50/60TPH
MOLINO DE CEMENTO N°3–60 TPH
400 T
DEPOSITO DE YESO
11000 T
11000 T
A LA PLANTA 22 KMS
VP LOGISTICA
LOGISTICA NACIONAL
DIRECCION PUERTO
BUQUE 30000 TONS
MUELLE
ARGOS
PLANTA TOLCEMENTO
FLUJOGRAMA DE PROCESO
DIBUJO: C. OROZCO V. 25 OCT–2005
REVISO: E. ACOSTA N. 20 ABR.–2006
APROBO: H. GONZALEZ M. 20 ABR–2006

Anexo B. Tablas Registro Control Pilas de Compostaje

REGISTRO DE CONTROL DE PILAS DE COMPOSTAJE.

Pila Nº: 1 Fecha conformación: 02-22-06

Kg manejados: 300 Fecha de finalización: 03-31-06

Tiempo empleado: 41 días Kg de compost obtenidos: 270

Día Nº	Fecha	Temperatura ºC				% Humedad	Observaciones
		T_1	T_2	T_3	T_{PM}		
1	22 – 02 - 06	38	37	39	38	45	
2	23 – 02 - 06	40	41	39	40	45	
3	24 – 02 - 06	46	46	43	45	45	Volteo
6	27 - 02 - 06	55	64	59	59.3	40	
7	28 - 02 - 06	55	65	60	60	40	
8	01 - 03 - 06	60	58	60	59.3	50	Volteo y Riego
9	02 - 03 - 06	67	62	68	65.7	50	
10	03 – 03 - 06	69	65	72	68.7	45	
13	06 – 03 - 06	68	68	70	68.7	45	
14	07 – 03 - 06	66	67	66	66.3	45	Volteo
15	08 – 03 - 06	61	65	66	64	40	
16	09 – 03 - 06	62	64	67	64.3	40	
17	10 – 03 - 06	64	61	63	62.7	40	
20	13 – 03 - 06	65	67	64	65.3	50	Riego y Volteo
21	14 – 03 - 06	62	50	55	55.7	50	
22	15 – 03 - 06	50	58	55	54.3	50	
23	16 – 03 - 06	56	60	56	57.3	45	
24	17 – 03 - 06	58	58	57	57.7	45	
28	21 – 03 - 06	59	53	60	57.3	45	Volteo
29	22 – 03 - 06	57	54	52	54.3	45	
30	23 – 03 - 06	55	53	50	52.7	40	
31	24 – 03 - 06	50	49	48	49	40	
32	25 – 03 - 06	50	47	48	48.3	45	Volteo y Riego
34	27 – 03 - 06	49	42	48	46.3	45	
36	29 – 03 - 06	50	48	46	48	45	
39	31 – 03 - 06	50	49	46	48.3	45	
42	03 – 04 - 06	48	46	45	46.3	40	Volteo
43	04 – 04 - 06	45	43	40	42.7	40	
Promedio					55.2	42.7	

REGISTRO DE CONTROL DE PILAS DE COMPOSTAJE.

Pila Nº: 2 Fecha conformación: 02-24-06

Kg manejados: 350 Fecha de finalización: 04-05-06

Tiempo empleado: 41 días Kg de compost obtenidos: 310

Día Nº	Fecha	Temperatura ºC				% Humedad	Observaciones
		T_1	T_2	T_3	T_{PM}		
1	24 – 02 – 06	36	40	38	38	50	
4	27 – 02 – 06	65	56	59	60	50	Volteo
5	28 – 02 – 06	55	65	72	64	45	
6	01 – 03 – 06	58	71	72	67	45	
7	02 – 03 – 06	62	72	73	69	40	
8	03 – 03 – 06	73	74	77	74.7	50	Volteo y Riego
11	06 – 03 – 06	70	69	72	70.3	50	
12	07 – 03 – 06	66	63	72	67	50	
13	08 – 03 – 06	67	70	64	67	50	
14	09 – 03 – 06	66	65	62	64.3	45	
15	10 – 03 – 06	68	67	60	65	45	Volteo
18	13 – 03 – 06	66	61	55	60.7	40	
19	14 – 03 – 06	62	59	55	58.7	40	
20	15 – 03 – 06	54	58	61	58.3	40	
21	16 – 03 – 06	50	59	64	57.7	40	
22	17 – 03 – 06	60	60	61	60.3	45	Volteo y Riego
26	21 – 03 – 06	56	55	53	54.7	45	
27	22 – 03 – 06	53	54	50	52.3	45	
28	23 – 03 – 06	53	52	54	53	45	
29	24 – 03 – 06	51	50	52	51	45	
32	27 – 03 – 06	52	50	52	51.3	40	Volteo
33	28 – 03 – 06	52	51	53	52	40	
34	29 – 03 – 06	52	51	48	50.3	40	
35	30 – 03 – 06	50	46	48	48	40	
36	31 – 03 – 06	48	46	48	47.3	35	Volteo
39	03 – 04 – 06	48	45	45	46	35	
41	05 – 04 – 06	46	44	43	44.3	35	
Promedio					57.46	43.1	

REGISTRO DE CONTROL DE PILAS DE COMPOSTAJE.

Pila Nº: 3 Fecha conformación: 03-03-06

Kg manejados: 350 Fecha de finalización: 04-12-06

Tiempo empleado: 46 días Kg de compost obtenidos: 305

Día Nº	Fecha	Temperatura ºC				% Humedad	Observaciones
		T_1	T_2	T_3	T_{PM}		
1	03 – 03 – 06	40	39	41	40	50	
4	06 – 03 – 06	67	72	64	67.7	50	Volteo
5	07 – 03 – 06	59	57	64	60	50	
6	08 – 03 – 06	66	71	68	68.3	45	
7	09 – 03 – 06	71	70	72	71	45	
8	10 – 03 – 06	69	66	69	68	40	
11	13 – 03 – 06	76	60	70	68.7	40	Volteo y Riego
12	14 – 03 – 06	76	65	61	67.3	50	
13	15 – 03 – 06	75	55	68	66	50	
14	16 – 03 – 06	72	52	69	64.3	45	
15	17 – 03 – 06	68	55	64	62.3	45	
19	21 – 03 – 06	65	58	56	59.7	45	Volteo
20	22 – 03 – 06	63	58	56	57.3	40	
21	23 – 03 – 06	63	55	54	55.3	40	
22	24 – 03 – 06	54	48	50	50.7	40	
25	27 – 03 – 06	59	55	55	56.3	35	
27	29 – 03 – 06	52	58	56	55.3	45	Volteo y Riego
29	31 – 03 – 06	54	56	52	54	45	
32	03 – 04 – 06	48	47	47	47.3	45	
39	10 – 04 – 06	47	45	43	45	40	
41	12 – 04 – 06	46	42	43	43.7	40	Volteo
46	17 – 04 – 06	43	39	40	40.7	30	
Promedio					57.7	43.4	

REGISTRO DE CONTROL DE PILAS DE COMPOSTAJE.

Pila Nº: 4 Fecha conformación: 03-10-06

Kg manejados: 300 Fecha de finalización: 04-23-06

Tiempo empleado: 41 Kg de compost obtenidos: 260

Día Nº	Fecha	Temperatura				% Humedad	Observaciones
		T_1	T_2	T_3	T_{PM}		
1	10 – 03 – 06				40	45	
4	13 – 03 – 06	46	47	51	48	45	Volteo
5	14 – 03 – 06	60	58	60	59.3	45	
6	15 – 03 – 06	65	67	67	66.3	40	
7	16 – 03 – 06	70	61	66	65.7	40	
8	17 – 03 – 06	64	62	66	64	40	
12	21 – 03 – 06	68	62	55	61.7	50	Volteo y Riego
13	22 – 03 – 06	66	65	53	61.3	50	
14	23 – 03 – 06	60	55	60	58.3	45	
15	24 – 03 – 06	60	57	58	58.3	45	
18	27 – 03 – 06	57	56	54	55.7	45	Volteo
19	28 – 03 – 06	62	58	58	59.3	40	
20	29 – 03 – 06	56	60	56	57.3	40	
22	31 – 03 – 06	56	58	54	56	40	
25	03 – 04 – 06	55	54	53	54	45	Volteo y Riego
32	10 – 03 – 06	51	50	49	50	40	
39	17 – 04 – 06	43	41	46	43.3	35	
41	19 – 04 – 06	41	41	44	42	35	Volteo
42	20 – 04 – 06	40	38	42	40	30	
43	21 – 04 – 06	40	37	43	40	30	
Promedio					54	41.3	

Anexo C. Graficas Temperaturas Promedio Pilas de Compostaje