# MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE DOS BIODIGESTORES ANAEROBIOS CON RESIDUOS ORGANICOS GENERADOS EN LA CENTRAL DE MERCADO "PLAZA KENNEDY" EN BOGOTA

**JULIANA BOGOTA TORRES**
**SANDRA YACKELINE DIAZ RICARDO**
**PRISCILA RAMOS OCAMPO**

**UNIVERSIDAD MANUELA BELTRAN**
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**
**BOGOTA, D.C**
**2008**

# MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE DOS BIODIGESTORES ANAEROBIOS CON RESIDUOS ORGANICOS GENERADOS EN LA CENTRAL DE MERCADO "PLAZA KENNEDY" EN BOGOTA

**JULIANA BOGOTA TORRES**
**SANDRA YACKELINE DIAZ RICARDO**
**PRISCILA RAMOS OCAMPO**

**Trabajo de Grado**

**Director**
**Msc. Ing. Juan Pablo Rodríguez**
**Docente Investigador**

**UNIVERSIDAD MANUELA BELTRAN**
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**
**BOGOTA, D.C**
**2008**

**Nota de aceptación**

_____

_____

_____

_____

**Presidente del Jurado**

_____

**Jurado**

_____

**Jurado**

_____

**Bogotá D.C., 04 de Febrero de 2009**

**AUTORIDADES ACADÈMICAS**

**Dr. GUIDO ECHEVERRY PIEDRAHITA**
**Rector**

**Dra. ALEJANDRA ACOSTA HENRIQUEZ**
**Vicerrectora Académica**

**LUZ MIRIAM BARRETO DE GONZALEZ**
**Vicerrectora de Investigaciones**

**Ing. MANUEL HUMBERTO JIMENEZ**
**Decano Facultad de Ingeniería**

**Ing. ADRIANA CUEVAS CASTAÑEDA**
**Directora del Programa de Ingeniería Ambiental**

## AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Juan Pablo Rodríguez por su asesoría, ayuda y contribución para el desarrollo de este trabajo y nuestro perfeccionamiento profesional.

A nuestras familias por su constante apoyo en el alcance de nuestras metas.

Y a todos los que de alguna manera contribuyeron para la realización de este trabajo.

**CONTENIDO**


| | pág. |
|---|---|
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| OBJETIVOS | 23 |
| Objetivo General | |
| Objetivos Específicos | |
| JUSTIFICACIÓN | 24 |
| ANTECEDENTES | 26 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 29 |
| 1.1 Residuos | 29 |
| 1.1.1 Residuos sólidos | 29 |
| 1.1.1.1 Clasificación de los residuos sólidos | 30 |
| 1.1.1.2 Clasificación de los componentes de residuos sólidos | 31 |
| 1.1.1.3 Propiedades Biológicas de los residuos sólidos urbanos | 31 |
| 1.1.1.4 Transformaciones biológicas | 32 |
| 1.1.1.5 Características de los residuos | 35 |
| 1.1.2 Residuos orgánicos | 37 |
| 1.1.2.1 Biodegradabilidad de los componentes de residuos sólidos orgánicos | 37 |
| 1.1.3 Residuos inorgánicos | 39 |
| 1.1.4 Cuarteo-Muestreo | 39 |
| 1.1.5 Biodigestores | 41 |
| 1.1.5.1 Ventajas de los Biodigestores | 44 |
| 1.1.5.2 Inconvenientes de los Biodigestores | 44 |
| 1.1.5.3 Eficiencia de los Biodigestores | 45 |
| 1.1.5.4 Clases de Biodigestores | 60 |
| 1.1.6 Estiércol | 61 |
| 1.1.7 Biogás | 62 |
| 1.1.7.1 Como se produce el biogás | 62 |
| 1.1.7.2 Materias primas para la producción de biogás | 62 |
| 1.1.8 Hidróxido de sodio | 63 |
| 1.1.9 Oxígeno disuelto | 64 |
| 1.1.10 Índice de biodegradabilidad | 65 |
| 1.2 MARCO LEGAL | 66 |
| 1.2.1 Decreto 3075 de 1997 | 66 |
| 1.2.2 Decreto número 1505 de 2003 | 67 |
| 1.2.3 Decreto 3440 de 2004 | 67 |

1.2.4 Decreto 1594 de 1984 68
1.2.5 Resolución 1074 de 1997 69

2. METODOLOGIA 71

2.1 EXPLORACIÓN BIBLIOGRÁFICA 71
2.2 GENERALIDADES 71
2.3 RECOLECCIÓN DE RESIDUOS Y MONTAJE DEL REACTOR 72
2.4 SEGUIMIENTO Y CONTROL DE PARÁMETROS 73
2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ENTREGA INFORME FINAL 73

3. DISEÑO Y MONTAJE DE LOS BIODIGESTORES 74

3.1 DISEÑO DEL BIODIGESTOR ANAERÓBICO (55 GALONES) 74
3.2 MONTAJE BIODIGESTOR 74
3.3 DISEÑO DEL BIODIGESTOR ANAERÓBICO (15 GALONES) 79
3.4 MONTAJE DE LOS BIODIGESTORES 80

4. COSTOS 84

5. DATOS DE LABORATORIO 87

5.1 DATOS SEMANALES Y MENSUALES DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS 87
5.2 RESULTADOS DEL LABORATORIO PRODYCON S.A 88
5.3 RESULTADOS PRODUCCIÓN DE LIXIVIADO 90
5.4 RESULTADOS REDUCCIÓN DE RESIDUO ORGÁNICO 90

6. CALCULOS Y RESULTADOS 92

6.1 ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD 93
6.1.1 Índice de biodegradabilidad Agosto 30/08 93
6.1.2 Índice de biodegradabilidad Noviembre 22/08 93
6.2 PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN TEÓRICA DE BIOGÁS PARA UN PERIODO DE 4 MESES 93
6.2.1 Proyección teórica del volumen del gas con datos de producción diaria de residuos orgánicos de la plaza de Kennedy según el trabajo de grado Cuervo, 2007 93
6.2.2 Proyección teórica del volumen de gas para los biodigestores de la práctica 94
6.3 ESTIMACIÓN DE VOLUMEN MENSUAL DE BIOGÁS PARA 12 PUESTOS DE RESTAURANTES 95
6.4 DIMENSIONAMIENTO DEL TERRENO PARA LA UBICACIÓN DEL BIODIGESTOR EN LA PLAZA DE MERCADO 96
6.5 GENERACIÓN DE LIXIVIADO PARA UN PERIODO DE 4 MESES 96

6.5.1 Generación de lixiviado de los biodigestores de la practica 96
6.5.2 Proyección teórica de la generación de lixiviado para la plaza de mercado 97

7. ANALISIS DE RESULTADOS 98

7.1 LABORATORIO UMB 99
7.1.1 Temperatura del reactor 99
7.1.2 pH y oxígeno disuelto 100
7.2 RESULTADOS LABORATORIO PRODYCON 103
7.2.1 DBO5 y DQO 104
7.2.2 Sólidos Suspendidos Totales 105
7.2.3 Coliformes totales 107
7.3 PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN TEÓRICA DE BIOGÁS PARA UN PERIODO DE 4 MESES 108
7.3.1 Generación teórica del volumen de biogás en la plaza de mercado y en el biodigestor de la práctica 108
7.3.2 Estimación de volumen mensual de biogás para 12 puestos de restaurante 109
7.4 GENERACIÓN DE LIXIVIADO EN UN PERIODO DE 4 MESES 109
7.4.1 Generación de lixiviado de los biodigestores de la practica 109
7.4.2 Proyección teórica de la generación de lixiviado para la plaza de mercado 109
7.5 RESULTADOS REDUCCIÓN DE RESIDUO ORGÁNICO 110

8. CRONOGRAMA 111

CONCLUSIONES 112

RECOMENDACIONES 113

BIBLIOGRAFIA 116

ANEXOS 122

## LISTA DE CUADROS

**pág.**


**Cuadro 1.** Datos Plaza de Kennedy 28

**Cuadro 2.** Clasificación de microorganismos 48

**Cuadro 3.** Clasificación de microorganismos según fuentes de energía y carbono 51

**Cuadro 4.** Algunos rangos de temperatura típicos para diversas Bacterias 53

**Cuadro 5.** Niveles de oxigeno disuelto 65

**Cuadro 6.** Estándares establecidos para vertimiento de residuos líquidos a la red de alcantarillado público y/o a un cuerpo de agua 70

**Cuadro 7.** Costos del proyecto primer montaje 84

**Cuadro 8.** Costos del proyecto segundo montaje 85

**Cuadro 9.** Costos del proyecto – Adicionales 86

**Cuadro 10.** Costos del proyecto - Laboratorios 86

**Cuadro 11.** Biodigestor con bioaumentador 87

**Cuadro 12.** Biodigestor sin bioaumentador 87

**Cuadro 13.** Datos del biodigestor con bioaumentador 88

**Cuadro 14.** Datos del biodigestor sin bioaumentador 88

**Cuadro 15.** Muestra con bioaumentador del 30/08/2008 tomadas por integrantes del grupo 89

**Cuadro 16.** Muestra sin bioaumentador del 30/08/2008 tomadas por integrantes del grupo 89

**Cuadro 17.** Muestra con bioaumentador del 22/11/2008 tomadas por integrantes del grupo 89

**Cuadro 18.** Muestra sin bioaumentador del 22/11/2008 tomadas por integrantes del grupo 90

**Cuadro 19.** Datos del lixiviado con bioaumentador 90

**Cuadro 20.** Datos del lixiviado sin bioaumentador 90
**Cuadro 21.** Datos peso residuo orgánico sin bioaumentador 90
**Cuadro 22.** Datos peso residuo orgánico con bioaumentador 91
**Cuadro 23.** Temperatura del reactor 99
**Cuadro 24.** pH y oxígeno disuelto del lixiviado con bioaumentador 100
**Cuadro 25.** pH y oxígeno disuelto del lixiviado sin bioaumentador 100
**Cuadro 26.** Datos Prodycon – Sin bioaumentador 103
**Cuadro 27.** Datos Prodycon – Con bioaumentador 103
**Cuadro 28.** Resultados volumen del residuo, reactor y biogás 108
**Cuadro 29.** Resultados estimación del volumen de biogás 109

## LISTA DE TABLAS

**pág.**

**Tabla 1.** Datos sobre la fracción biodegradable de componentes seleccionados de residuos orgánicos basándose en el contenido de lignina. 38

**Tabla 2.** Tiempos de retención de materia orgánica de origen animal 46

**Tabla 3.** Calidad del agua según NMP de coliformes 49

## LISTA DE GRAFICAS

**pág.**


**Gráfica 1.** Temperatura del reactor sin y con bioaumentador 99

**Gráfica 2.** pH del lixiviado 101

**Gráfica 3.** Oxígeno disuelto 102

**Gráfica 4.** Comparación $DBO_5$ Vs. Resolución 104

**Gráfica 5.** Comparación DQO Vs. Resolución 104

**Gráfica 6.** Comparación SST Vs. Resolución 105

**Gráfica 7.** Coliformes Totales (NMP/100mL) 107

## LISTA DE FIGURAS


| | pág. |
|---|---|
| **Figura 1.** Manejo alternativo para recuperación de RSU | 20 |
| **Figura 2.** Método de cuarteo para muestras de residuos sólidos | 41 |
| **Figura 3.** Perforación de las canecas | 75 |
| **Figura 4.** Tubería para gas | 75 |
| **Figura 5.** Llaves de paso para gas | 75 |
| **Figura 6.** Tubería para lixiviado | 76 |
| **Figura 7.** Llaves de paso para lixiviado | 76 |
| **Figura 8.** Plaza de Mercado | 76 |
| **Figura 9.** Peso de Residuos orgánicos | 76 |
| **Figura 10.** Mezcla de los residuos | 77 |
| **Figura 11.** Cuarteo | 77 |
| **Figura 12.** Trituración de residuos | 77 |
| **Figura 13.** Adición de residuos | 78 |
| **Figura 14.** Adición de estiércol | 78 |
| **Figura 15.** Sellado de botellas | 78 |
| **Figura 16.** Sellado biodigestores | 78 |
| **Figura 17.** Finalización montaje | 79 |
| **Figura 18.** Finalización montaje | 79 |
| **Figura 19.** Montaje del biodigestor Fase II | 81 |
| **Figura 20.** Adición lixiviado | 81 |
| **Figura 21.** Adición residuos orgánicos | 81 |
| **Figura 22.** Sellado de biodigestores | 82 |
| **Figura 23.** Instalación de manómetros y termómetro | 82 |
| **Figura 24.** Medición NaOH | 83 |
| **Figura 25**. Inyección de cal y lixiviado caliente | 102 |
| **Figura 26.** Comparación visual del lixiviado con y sin bioaumentador | 106 |
| **Figura 27.** Fuga en la tubería del lixiviado | 114 |

**Figura 28.** Derrame del lixiviado 114
**Figura 29.** Sellado de fugas 114
**Figura 30.** Sellado de fugas 114

## LISTA DE ANEXOS

**pág.**

**Anexo 1.** Resultados originales Laboratorio Prodycon 122

**Anexo 2.** Vistas Biodigestores 126

# INTRODUCCIÓN

Durante años las sociedades rurales han transformado la naturaleza para producir alimentos de fácil asimilación y descomposición, así como productos para el consumo a partir de materias primas escasamente transformadas como madera, algodón y cuero, entre otros; según López[1], estas materias cuando cumplen su fin se convierten en residuos fácilmente degradables por la naturaleza.

Cuando el hombre se urbanizó y creció desmesuradamente, los recursos de fácil asimilación y descomposición escasearon, motivo por el cual las sociedades rurales urbanas actuales producen gran cantidad de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que por sus características son de difícil asimilación, especialmente por el empleo de procesos químicos y mecánicos en la elaboración de productos de consumo masivo, los cuales implican transformaciones sustanciales de las materias primas en los cuales se modifican la estructura química básica de sus materiales por que se requiere de muchos años para ser degradados por la naturaleza. [2]

La problemática originada por la producción de residuos sólidos puede relacionarse principalmente con cuatro factores:

a. El aumento de la cantidad de residuos está relacionado directamente con el aumento de la población, la situación es tan alarmante que se estima que la producción por habitante es de 0,62 Kg. de residuos con lo cual se concluiría que en Colombia a diario se generan aproximadamente 23.600 toneladas diarias de residuos. [2]

---

1 LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151.

2 COLLAZOS, Héctor. Residuos sólidos. Bogotá D.C.: Acodal, 1998. 3-8, 170 p.

b. A medida que los países incrementan su desarrollo aumenta su producción de residuos por habitante, en todo el mundo se observa una tendencia de aumentar la producción de residuos por habitante a medida que aumenta el Ingreso Per Capita (IPC), el conocimiento de la relación entre la producción por habitante y el IPC está llevando a los países altamente desarrollados a estudiar la problemática de los residuos y por esto adoptan políticas para reducir el peso y volumen de los residuos.

c. La producción de basuras por habitante está relacionada con el tamaño de las ciudades: Las grandes ciudades están más industrializadas, lo que hace producir más para su consumo y para la exportación, produciendo también grandes volúmenes de residuos.

d. La mayor o menor biodegradabilidad de los residuos sólidos tiene relación con el desarrollo de las poblaciones: Entre menos recursos posea la población, mayor es la proporción de materia orgánica de los desechos. [3]

En Bogotá, se estiman los siguientes datos en cuanto a generación y composición de residuos sólidos:

- El volumen generado de residuos sólidos es de 6500 Toneladas / día.
- La producción per cápita es de 0.95 Kg./hab./día
- Composición de residuos: 65% orgánicos, 5% papel y cartón 14%, plásticos, 4% vidrio, 1% caucho, 1% metales, 3% textiles, 5% otros, 2% patógenos y peligrosos. [4]

La problemática originada en Bogotá por la producción de residuos sólidos se hace cada vez mayor debido a la alta tasa de crecimiento poblacional, la cual está estimada en un 2,8 % anual, con el fin de buscar una forma más adecuada de

---

[3] COLLAZOS, Héctor. Residuos sólidos. Bogotá D.C.: Acodal, 1998. 3-8, 170 p.

[4] SEMINARIO SOBRE APROVECHAMIENTO Y MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS. (5, mayo, 2004, Manizales, Colombia). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004.

manejo de residuos sólidos en la ciudad, se contrató a la Unión Temporal Fichtner/Cydep para elaborar el Plan Maestro de Manejo Integral de Residuos Sólidos de Bogotá. [5]

El Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos planteó objetivos como: Reducir la dependencia que tiene el Distrito con el relleno sanitario Doña Juana, Plantear estrategias alcanzables para el manejo integral de los residuos, Reducir los costos de manejo de los residuos; es decir, busca disminuir el volumen de residuos que llegan al relleno sanitario implementando el reciclaje. [5]

Aunque en el mundo entero el reciclaje se ha planteado como alternativa de manejo, en muchos países en vía de desarrollo se ha convertido en un problema antes de una solución, dado que la mezcla de RSU eleva los costos de selección y disminuye la eficiencia general del proceso; este hecho es generado por la inexistencia de políticas estatales que obliguen a una selección y separación de residuos desde la fuente de origen (Diputación Regional de Cantabria, 1991). Un problema adicional al aumento de los costos de operación es la presencia y descomposición de la materia orgánica contenida en los RSU, que afecta significativamente la salud del personal encargado y dificulta su manejo y reciclaje.[5]

Ante la problemática planteada algunos expertos en el tema proponen soluciones acordes al nivel de desarrollo de países latinoamericanos; el reciclaje integral, el cual consiste en la recuperación de cada uno de los diferentes tipos de residuos, estimando que entre el 70 % al 90 % de los materiales desechados son reciclables. [6]

---

[5] SILVESTRE, Ángela. Una mirada crítica al plan maestro para el manejo integral de residuos sólidos en Bogotá. ed. Bochica Ltda, 2004. 166 – 178 p.

[6] LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151

Los diferentes compuestos de los RSU se pueden clasificar en diferentes categorías:

- Materia orgánica, representada en los desechos de alimentos y parte de los desechos de jardín, los cuales se consideran material biodegradable a corto plazo, porque la naturaleza puede asimilarlos rápidamente.
- Plásticos y caucho, o material biodegradable a largo plazo.
- Papel, cartón, madera y cueros, o material biodegradable a mediano plazo.
- Textiles, desechos de construcción y otros como material inerte, metales, etc.

Para llevar a cabo este reciclaje integral se deben realizar grandes inversiones, contar con cambios de actitud en las sociedades y en sus hábitos de consumo, campañas promocionales, implementar tecnologías en las industrias que disminuyan la generación de residuos, etc.; de lo anterior se puede afirmar que el reciclaje integral requiere de un periodo largo para su implementación y en la ciudad de Bogotá hasta ahora se está iniciando dicho proceso, por lo anterior la única opción para disposición de residuos son los rellenos sanitarios en los cuales se efectúa un enterramiento de los residuos en un espacio técnicamente preparado para evitar, en teoría, el máximo de contaminación. Este objetivo es raramente alcanzado ya que los gases generados de la degradación de la materia orgánica fluyen hacia la atmósfera causando su contaminación, ya que están compuestos en esencia por metano ($CH_4$) y bióxido de carbono ($CO_2$), dos de los gases que más influyen en el efecto invernadero y los lixiviados que generan un alto riesgo de contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas. [7]

Como puede deducirse, el problema en el manejo de los RSU aún persiste, y es evidente en ciudades como Bogotá en donde se vierten más de 5.500 toneladas/ día, y se hace prácticamente imposible realizar procesos de reciclaje antes de depositar los residuos en el relleno, por el alto volumen de residuos mezclados. [7]

---

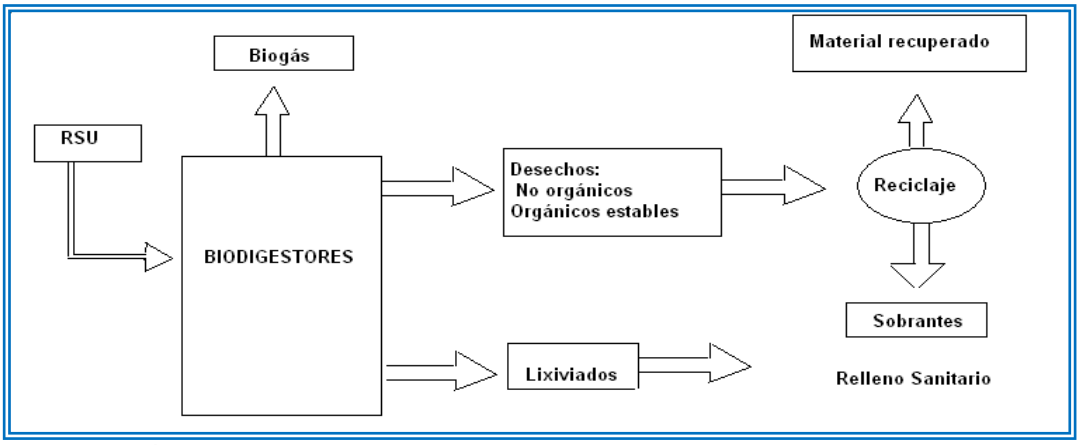
[7] LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151

Mientras se adoptan las medidas necesarias para implantar un verdadero proceso de recuperación de RSU, o reciclaje integral, existen procesos alternos al manejo que permitan recuperar parcialmente RSU; ellos pueden adaptarse, disminuyendo el impacto ambiental que hoy tienen los rellenos sanitarios y las plantas de incineración. Las alternativas deben partir de la condición actual de los RSU, caracterizada por un alto volumen de producción de residuos de diferentes características, sin seleccionar ni clasificar.[8]

Uno de estos procesos alternativos que debe ser materia de investigación, consiste en depositar los RSU tal como vienen de la recolección en biodigestores grandes, especialmente construidos para obtener los siguientes propósitos:

- Obtener el biogás de manera rápida y controlada.
- Separar y controlar los lixiviados generados.
- Permitir la recuperación posterior (fuera del biodigestor) de los desechos sobrantes, libres de materia orgánica inestable, por medio de procesos posteriores de reciclaje. [8]

Figura 1. Manejo alternativo para recuperación de RSU




Fuente: LÓPEZ, 2003

[8] LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151

El biodigestor acelera el proceso de digestión de la materia orgánica biodegradable a corto plazo, especialmente de desechos de alimentos, la cual representa más del 50% de los RSU (ICONTEC, 1999); de está forma se logran cumplir los tres primeros propósitos arriba anotados, de manera rápida y segura; el cuarto propósito se alcanza al reciclar los residuos que no se vean afectados en mayor medida por el proceso de digestión anaerobia: plástico, caucho, papel, cartón y metales entre otros. El material que no es posible recuperar se deposita en el relleno sanitario, mientras que los lixiviados de almacenan en depósitos apropiados par su posterior tratamiento de disminución de su efecto contaminante; también puede ser enviado al relleno sanitario, mientras se realizan más investigaciones para lograr su posterior recuperación y utilización.[9]

Teniendo como antecedente el proyecto de grado planteado por Cuervo, 2007[10] las plazas de mercado son una fuente principal de residuos; se sabe que Bogotá D.C tiene 36 plazas de mercado, 18 de propiedad del Distrito y 18 de carácter privado. En cuanto a la generación de residuos en las plazas de mercado se obtiene una alta participación del componente verduras (mayor al 50%), le siguen las frutas (promedio del l4%). De la misma forma, en CORABASTOS los sectores de verduras, frutas y hortalizas son los mayores generadores de residuos, más del 80% comprendiendo vegetales, papel y madera. En el sector de granos y procesados los residuos corresponden a empaques. De lo anterior se deduce que las plazas de mercado son una fuente principal productora de residuos tanto sólidos como líquidos, los cuales contaminan el medio ambiente y de igual manera afectan la calidad de vida de la población. La falta de una adecuada gestión para el tratamiento y disposición de los residuos generados es una de las mayores preocupaciones hoy día.

---

9 LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151

10 CUERVO, Andrés; CARDOZO Ruby y PIÑEROS Natalia. Dimensionamiento de un biodigestor para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de mercado Plaza Kennedy en Bogotá. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

Con base a la problemática ambiental actual asociada a la producción de Residuos Sólidos descrita y al manejo alternativo propuesto para la recuperación de RSU se realizó la ejecución del montaje y puesta en marcha de dos biodigestores anaerobios con residuos orgánicos generados en la central de mercado “plaza de mercado de Kennedy” , del cual se tiene como propósito el uso y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, con el objeto de minimizar la disposición de estos en el relleno sanitario.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Realizar el montaje y puesta en marcha de dos Biodigestores para el manejo de los residuos sólidos orgánicos para la central de mercado “plaza Kennedy” de Bogotá, D.C.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar y comparar la cantidad de biogás generado por el Biodigestor con y sin bioaumentador, para el manejo de los residuos sólidos orgánicos para la central de mercado “plaza Kennedy” de Bogotá.

- Calcular y analizar el índice de biodegradabilidad del lixiviado generado por los biodigestores.

- Analizar las variables físico-químicas de control muestreadas durante el proceso como: pH, temperatura interna de los Biodigestores, oxígeno disuelto.

## JUSTIFICACIÓN

En el trabajo de grado “Dimensionamiento de un biodigestor para el manejo de residuos sólidos orgánicos”, en la central de mercado plaza Kennedy se determinó la producción promedio de los residuos sólidos generados mediante el peso diario de los mismos y ejecutando el método de cuarteo para determinar el componente de mayor porcentaje generado por este tipo de actividad comercial realizando finalmente el dimensionamiento de un biodigestor para esta central de mercado.

Según Cuervo, 2007[11], como resultado se encuentra que el componente que obtuvo un mayor porcentaje en la determinación de la composición física de los residuos sólidos realizada por los autores fue la materia orgánica con un 79,33 %; teniendo en cuenta que el objetivo principal de este proyecto es tratar los residuos orgánicos generados por medio de la transformación biológica de la materia orgánica en un producto final estable por medio del biodigestor, es de gran importancia conocer que se tiene un alto porcentaje de residuos orgánicos para la implementación de este tipo de tratamiento.

Debido a la problemática ambiental actual generada por los residuos sólidos se debe incentivar la implementación de este tipo de tratamiento en las centrales de mercado ya que estas generan gran cantidad de residuos que son vertidos sin ninguna clasificación y tratamiento; con la implementación del biodigestor estos residuos orgánicos pueden ser transformados en material aprovechable, y se convertirían en una alternativa intermedia entre la situación actual de eliminación de los Residuos Sólidos Urbanos en rellenos sanitarios con problemas aún no resueltos y la utilización de esta biomasa como gran potencial energético.

---

[11] CUERVO, Andrés; CARDOZO Ruby y PIÑEROS Natalia. Dimensionamiento de un biodigestor para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de mercado Plaza Kennedy en Bogotá. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

Con el montaje y puesta en marcha de este proyecto, se afianzan los conocimientos adquiridos durante el programa de Ingeniería Ambiental y se da una alternativa al manejo de residuos sólidos generados en la central de mercado de Kennedy ubicada en la Localidad de Kennedy; el proyecto quiere brindar una alternativa eficiente a la problemática existente en el mundo entero en cuanto al manejo de los residuos sólidos, dado que las actuales soluciones como los rellenos sanitarios han tenido más desaciertos que aciertos en cuanto a la gestión integral de los residuos sólidos, existen experiencias negativas en este sentido. En el caso del relleno sanitario de Doña Juana, donde el 27 de septiembre de 1997 se deslizaron aproximadamente 800.000 $m^3$ de residuos que habían sido dispuestos en la parte activa del relleno, formando una avalancha que esparció dichos residuos sobre terrenos contiguos hasta llegar al cauce del río Tunjuelito.

## ANTECEDENTES

En el mundo se producen aproximadamente 1600 millones de toneladas por año de residuos sólidos, los cuales generan graves problemas, no sólo por el deterioro progresivo del medio ambiente, sino también desde el punto de vista económico, puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayor**.** [12]

En el caso de Colombia, las cifras del MAVDT indican que en un día el país produce 27300 toneladas de basura de las cuales el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos. Los componentes que constituyen la fracción orgánica de las basuras colombianas son residuos de alimentos, papel, cartón, madera y residuos de jardín. Sólo el 40% de los residuos sólidos municipales tiene un manejo adecuado, el 50% es manejado de forma indebida y el 10% es recuperado gracias al reciclaje.[12]

La mayor parte del comercio mayorista de productos agrícolas de consumo humano y gran parte del minorista, se lleva a cabo en las centrales de abastos de las ciudades colombianas**.** [12]

Bogotá D.C tiene 36 plazas de mercado, 18 de propiedad del Distrito y 18 de carácter privado. En cuanto a la generación de residuos en las plazas de mercado se obtiene una alta participación del componente verduras (mayor al 50%), le siguen las frutas (promedio del l4%). De la misma forma, en CORABASTOS los

[12] CARDONA, Carlos Ariel, *et al.* Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. En: Revista colombiana de biotecnología. Diciembre, 2004. vol. VI no. 2, p. 78-89.

sectores de verduras, frutas y hortalizas son los mayores generadores de residuos, más del 80% comprendiendo vegetales, papel y madera.[13]

En las plazas de mercado y CORABASTOS el tema ambiental y de salud ocupacional no ocupa un espacio predominante, por lo tanto se encuentran serias deficiencias administrativas frente a la normatividad. Si bien, el problema es más de orden estético o de presentación pues no existe evidencia de generación de efectos nocivos sobre la salud de la población expuesta. Las bajas condiciones de higiene producen riesgos potenciales de accidentes por caídas, malos olores, vectores como moscas o ratas**.** [14]

En la Plaza de Mercado de Kennedy cada puesto o local acumula sus residuos y un funcionario pasa recogiéndolos dos veces al día para depositarlos en un contenedor ubicado en la salida trasera de la plaza el cual es desocupado por el camión que presta el servicio de aseo. No se hace separación en la fuente ni existe ningún tipo de actividad de recuperación de residuos. Por lo que la totalidad de producción de residuos es enviada al Relleno Sanitario Doña Juana.

La mayoría de investigaciones sobre residuos orgánicos realizadas tanto en países desarrollados como en Colombia, han concentrado sus esfuerzos en la transformación de estos residuos a biogás y compost.

---

[13] COLOMBIA. DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE DAMA. Contrato PNUD (col/96/23) consorcio NAM Ltda.-VELZEA Ltda. Proyecto de gestión de los residuos orgánicos en las plazas de mercado de Santa Fe de Bogotá D.C. Informe no. 5. Factibilidad técnica y económica de las alternativas. Bogota D.C. 97 p.

[14] CUERVO, Andrés; CARDOZO Ruby y PIÑEROS Natalia. Dimensionamiento de un biodigestor para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de mercado Plaza Kennedy en Bogotá. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

Cuadro 1. Datos Plaza de Kennedy

| | |
|---|---|
| Ubicación | Calle 42 Sur No. 78m – 50 |
| Localidad | Kennedy |
| No. Puestos | 90 |
| No. Locales | 52 |
| Datos Octubre de 2006 | |
| Fuente: http://www.uesp.gov.co/paginas.aspx?cat_id=34&pub_id=18&pag=6 | |

# 1. MARCO TEORICO

## 1.1 RESIDUOS

Según la definición legal, es cualquier sustancia u objeto del que se desprende su poseedor o del que tiene la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones en vigor. [15]

**1.1.1 Residuos Sólidos.** Es el material que no representa una utilidad o un valor económico para el dueño, por ende el dueño se convierte en generador de residuos. Desde el punto de vista legislativo lo mas complicado respecto a la gestión de residuos, es que se trata intrínsecamente de un término subjetivo, que depende del punto de vista de los actores involucrados (esencialmente generador y fiscalizador). [16]

A los residuos se les considera un contaminante cuando por su cantidad, composición o particular naturaleza sea de difícil integración a los ciclos, flujos y procesos ecológicos normales. Los residuos sólidos cada vez aumentan más y cada vez tiene menos contenidos biodegradables y más contaminantes peligrosos.

Constituyen un problema medioambiental desde el momento en que su generación alcanza volúmenes importantes, producto de la actividad doméstica, comercial y de servicios, así como los procedentes de la limpieza de calles, parque y jardines. [17]

---

15 COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Actuaciones en infraestructuras para la gestión de residuos sólidos urbanos. ed. Bogotá D.C.: Centro de publicaciones secretaria general técnica, 1996. 11–12 p.

16 COLLAZOS, Héctor. Residuos sólidos. Bogotá D.C.: Acodal, 1998. 3-8, 170 p.

17 COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Actuaciones en infraestructuras para la gestión de residuos sólidos urbanos. ed. Bogotá D.C.: Centro de publicaciones secretaria general técnica, 1996. 11–12 p.

#### 1.1.1.1 Clasificación de los residuos sólidos.

❖ **De acuerdo con la fuente productora como**:

**Residenciales o Domésticos:** Son las generadas por actividades de la vivienda del hombre, o establecimiento similar y normalmente tienen alto contenido de materia orgánica.

**Comerciales:** Generados en almacenes y depósitos comerciales y generalmente presentan altos contenidos de papel y cartón.

**Comerciales de alimentos:** Estas presentan altos contenidos de materia orgánica ya que son producidas por las cafeterías, restaurante y hoteles.

**Plazas de mercado**: Están catalogadas como comerciales pero su alto volumen, concentrado en pocos lugares y su alto contenido de materia orgánica, normalmente de tipo vegeta, justifican su clasificación independiente.

**Industriales:** Los generados como resultado de los procesos de producción.

**Institucionales:** Son los generados en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, terminales aéreos, terrestres, fluviales o marítimos, normalmente tienen alto contenido de materia orgánica, papel y cartón.

**Especiales**: Son los producidos en espectáculos o ferias nacionales e internacionales, generalmente tienen alto contenido de papel y cartón.

**Barrido de calles:** Producto del barrido de calles y avenidas y presentan alto contenido de papel y cartón.

**Lugares Públicos:** Son los recogidos en parques o zonas de recreación, generalmente tienen alto contenido de papel y cartón.

❖ **De acuerdo con su composición pueden ser:**

**Patógenos:** Los que por sus características y composición pueden ser reservorio o vehículo de infección, generalmente con producidos en hospitales, clínicas, laboratorios y universidades.

**Tóxicos:** Los que por sus características físicas o químicas, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición pueden causar daño y hasta la muerte a los seres vivos o provocar contaminación ambiental.

**Combustibles:** los que en presencia de oxígeno arden por acción de cualquier fuente de ignición.

**Inflamables:** Son los que pueden arder espontáneamente en condiciones normales.

**Explosivos:** Son los que generan grandes presiones en su descomposición instantánea.

**Radioactivos:** Son los que emiten radiaciones nucleares (electromagnéticas o corpusculares) en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo.

**Volátiles:** Son los que por su presión de vapor, a temperatura ambiente, se evaporan o volatilizan. [18]

### 1.1.1.2 Clasificación de los componentes de los residuos sólidos.

- Materia Orgánica: Representada en los desechos de alimentos y parte de los desechos de jardín, los cuales se consideran material biodegradable a corto plazo, porque la naturaleza puede asimilarlos rápidamente.
- Plásticos y caucho o material biodegradable a largo plazo.
- Papel, cartón, madera y cueros, o material biodegradable a mediano plazo.
- Textiles, desechos de construcción (vidrio, cerámica, ladrillo, cenizas y minerales), otros como huesos, material inerte y metales. [19]

**1.1.1.3 Propiedades Biológicas de los residuos sólidos urbanos.** Excluyendo el plástico, la goma y el cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los RSU se puede clasificar de la forma siguiente:

---

[18] COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Actuaciones en infraestructuras para la gestión de residuos sólidos urbanos. ed. Bogotá D.C.: Centro de publicaciones secretaria general técnica, 1996. 11–12 p.

[19] LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151

- Constituyentes solubles en agua, tales como azucares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa, un producto de condensación de azucares con cinco y seis carbonos.
- Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.
- Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- Lignina, un material polímero que contiene anillos aromáticos con grupos metoxi ($OCH_3$), cuya formula exacta aun no se conoce (presente en algunos productos de papel como periódicos y en tablas de aglomerado).
- Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
- Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos.

Quizás la característica biológica más importante de la fracción orgánica de los RSU es que casI todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos relativamente inertes. La producción de olores y la generación de moscas están relacionadas también con la naturaleza putrefactible de los materiales orgánicos encontrados en los RSU (por ejemplo, residuos de comida). [20]

**1.1.1.4 Transformaciones biológicas.** Las transformaciones biológicas de la fracción orgánica de los RSU se pueden utilizar para reducir el volumen y el peso del material; para producir compost, una materia similar al humus que se puede utilizar como acondicionador del suelo, y para producir metano e hidrógeno.

Los principales organismos implicados en las transformaciones biológicas de residuos orgánicos son bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos. Estas

[20] TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw-Hill, 1994. vol. 1 p. 407– 421, 100-111.

transformaciones pueden realizarse aerobiamente o anaerobiamente, según la disponibilidad de oxigeno. Las principales diferencias entre las reacciones de conversión aerobia y anaerobia están en la naturaleza de los productos finales, y en el hecho de que sea necesario suministrar oxigeno para realizar la conversión aerobia. Los procesos biológicos que se han utilizado para la conversión de la fracción orgánica de los RSU son: el compostaje aerobio, la digestión anaerobia y la digestión anaerobia de sólidos en alta concentración.

Digestión anaerobia: la porción biodegradable de la fracción orgánica de los RSU se puede convertir biológicamente bajo condiciones anaerobias en un gas que contiene dióxido de carbono y metano ($CH_4$). Esta conversión se puede representar con la siguiente ecuación:

Materia orgánica + $H_2O$ + Nutrientes $\rightarrow$ Nuevas células + materia orgánica resistente + $CO_2$ + $CH_4$ + $NH_3$ + $H_2S$ + Calor

De esta forma, los principales productos finales son: dióxido de carbono, metano, amoniaco, sulfuro de hidrogeno y materia orgánica resistente. En la mayoría de los procesos de conversión anaerobios el dióxido de carbono y el metano constituyen más del 99 por 100 del gas total producido. La materia orgánica resistente (o lodos digeridos) debe ser deshidratada antes de evacuarse mediante su extensión en el suelo o mediante vertido. Los lodos deshidratados a menudo son comportados aeróbicamente para estabilizarlos mas, antes de su aplicación.

La fracción orgánica de los RSU puede ser convertida en productos utilizables y últimamente, en energía por varios métodos, incluyendo la combustión para producir vapor y electricidad; pirolisis para producir un gas sintético, combustible liquido o sólido; gasificación para producir un combustible sintético; conversión

biológica para producir compost y biodigestión para generar metano y producir humus orgánico estabilizado. [21]

❖ **Riesgo asociado al manejo de los residuos sólidos.**

Gestión negativa:

- Enfermedades provocadas por vectores sanitarios:

  Existen varios vectores sanitarios de gran importancia epidemiológica cuya aparición y permanencia pueden estar relacionados en forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas en el manejo de los residuos sólidos.

- Contaminación de aguas:

  La disposición no apropiada de residuos puede provocar la contaminación de los cursos superficiales y subterráneos de agua, además de contaminar la población que habita en estos medios. [22]

- Contaminación atmosférica:

  El material particulado, el ruido y el olor representan las principales causas de Contaminación atmosférica.

- Contaminación de suelos:

  Los suelos pueden ser alterados en su estructura debido a la acción de los líquidos percolados, dejándolos inutilizados por largos periodos de tiempo.

- Problemas paisajísticos y riesgo:

  La acumulación en lugares no aptos de residuos trae consigo un impacto Paisajístico negativo, además de tener en algunos casos asociados un importante riesgo ambiental, pudiéndose producir accidentes, tales como explosiones o derrumbes.

---

[21] TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994 vol. 1 p. 407– 421, 100-111.

[22] COLLAZOS, Héctor. Residuos sólidos. Bogotá D.C.: Acodal, 1998. 3-8, 170 p.

- Salud mental:

  Existen numerosos estudios que confirman el deterioro anímico y mental de las personas directamente afectadas. [23]

❖ **Composición de los residuos.** Trata de identificar en una base másica o volumétrica los distintos componentes de los residuos.

Usualmente los valores de composición de residuos sólidos municipales o domésticos se describen en términos de porcentaje en masa, también usualmente en base húmeda y contenidos ítems como materia orgánica, papales y cartones, escombros, plásticos, textiles, metales, vidrios, huesos, etc.

La utilidad de conocer la composición de residuos sirve para una serie de fines, entre los que se pueden destacar estudios de factibilidad de reciclaje, factibilidad de tratamiento, investigación, identificación de residuos, estudio de políticas de gestión de manejo. [24]

Es necesario distinguir claramente en que etapa de la gestión de residuos corresponden los valores de composición. Los factores de que depende la composición de los residuos son relativamente similares a los que definen el nivel de generación de los mismos:

### 1.1.1.5 Características de los residuos.

- **Humedad.** Es una característica importante para los procesos a que puede ser sometida la basura. Se determina generalmente de la siguiente forma: Tomar

[23] CUERVO, Andrés; CARDOZO Ruby y PIÑEROS Natalia. Dimensionamiento de un biodigestor para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de mercado Plaza Kennedy en Bogotá. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

[24] COLLAZOS, Héctor. Residuos sólidos. Bogotá D.C.: Acodal, 1998. 3-8, 170 p.

una muestra representativa, de 1 a 2 Kg., se calienta a 80ºC durante 24 horas, se pesa y se expresa en base seca o húmeda.

$$\textbf{Humedad=} \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final} * 100}{\text{Peso Inicial}}$$

Se expresa en porcentaje
Si el denominador es Peso Inicial, se habla de humedad en base húmeda.
Si el denominador es Peso Final, se habla de humedad en base seca.

- **Densidad.** La densidad de los sólidos rellenados depende de su constitución y humedad, porque este valor se debe medir para tener un valor más real.

Se deben distinguir valores en distintas etapas del manejo:
Densidad suelta: Generalmente se asocia con la densidad en el origen. Depende de la composición de los residuos.
Densidad transporte: Depende de si el camión es compactador o no y del tipo de residuos transportados. El valor típico es del orden de 0.6 Kg. /l.
Densidad residuo dispuesto en relleno: Se debe distinguir entre la densidad recién dispuesta la basura y la densidad después de asentado y estabilizado el sitio.

- **Poder calorífico.** Se define como la cantidad de calor que puede entregar un cuerpo. Se debe diferenciar entre poder calorífico inferior y superior. El Poder Calorífico Superior (PCS) no considera corrección por humedad y el inferior (PCI) en cambio si se mide en unidades de energía por masa, [cal/gr.], [Kcal. /Kg.], [BTU/lb.]. Se mide utilizando un calorímetro.

También se puede conocer a través de un cálculo teórico, el cual busca en la bibliografía valores típicos de PC por componentes y se combina con el conocimiento de la composición de los residuos:

$$PC = n0PC0 + n1PC1 + \ldots\ldots + nnPCn$$

En donde:

$N_1$ = porcentaje en peso del componente
$PC_1$ Poder calorífico de 1
Ejemplo: PC plástico es de 9000 (cal/g.), madera 5000 – 6000 (cal/g.)

**1.1.2 Residuos orgánicos.** Son residuos biodegradables (se descomponen naturalmente). Son aquellos que tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, sus cáscaras, carne, huevos.

**1.1.2.1 Biodegradabilidad de los componentes de residuos sólidos orgánicos.** El contenido en sólidos volátiles (SV), determinado a 550$^{o}$C, frecuentemente se utiliza como una medida de la biodegradabilidad de la fracción orgánica de los RSU. El uso de SV para la descripción de la fracción orgánica de los RSU es erróneo, porque algunos de los constituyentes orgánicos de los RSU son altamente volátiles pero bajos en biodegradabilidad (por ejemplo, el papel de periódico y algunos recortes de plantas). Alternativamente, se puede usar el contenido de lignina de un residuo para estimar la fracción biodegradable, mediante la relación siguiente:

BF= 0,83 – 0,0218 LC
Donde:
BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles (SV).
0,83= Constante empírica.
0,028= Constante empírica.
LC= Contenido de lignina de los SV expresado como un porcentaje en peso seco.

La biodegradabilidad de varios de los compuestos orgánicos encontrados en los RSU, basada en el contenido de lignina, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Datos sobre la fracción biodegradable de componentes seleccionados de residuos orgánicos basándose en el contenido de lignina

| Componente | **SV %de ST** | **Cont. Lignina, %de SV** | **Fracción Biodegradable** |
|---|---|---|---|
| Residuos comida | 7-15 | 0,4 | 0.82 |
| Papel periódico | 94,0 | 21,9 | 0,22 |
| Papel de oficina | 96,4 | 0,4 | 0,82 |
| Cartón | 94,0 | 12,9 | 0,47 |
| Residuos jardín | 50-90 | 4,1 | 0,72 |
| Fuente: TCHOBANOGLOUS, 1994. | | | |

La velocidad a la que los diversos componentes pueden ser degradados varía notablemente. Con fines prácticos, los componentes principales de los residuos orgánicos en los RSU a menudo se clasifican como de descomposición rápida y lenta.

- **Producción de Olores.** Los olores pueden desarrollarse cuando los residuos sólidos se almacenan durante largos periodos de tiempo *in situ* entre recogidas, en estaciones de transferencia, en vertederos. El desarrollo de olores en las instalaciones de almacenamiento in situ es más importante en climas cálidos. Normalmente la formación de olores se produce por la descomposición anaerobia de los fácilmente descomponibles componentes orgánicos que se encuentran en los RSU.

El color negro de los residuos sólidos que han experimentado descomposición anaerobia en un vertedero se debe principalmente a la formación de diversos sulfuros metálicos. Si no fuera por la formación de sulfuros, los problemas de olor en los vertederos podrían ser muy importantes.

- **Producción de moscas.** En el verano y durante todas las estaciones en climas calidos, la reproducción de moscas es una cuestión importante para el

almacenamiento in situ de residuos. Las moscas pueden desarrollarse en menos de dos semanas después de poner los huevos.

El problema del desarrollo de las moscas, desde la etapa larval (gusano), en los contenedores de almacenamiento, in situ depende de los siguientes hechos: si los gusanos se desarrollan, son difíciles de quitar cuando vacían los contenedores. Los que permanecen pueden desarrollarse hasta convertirse en moscas. Los gusanos también salen de los bidones destapados y se desarrollan hasta convertirse en moscas en el terreno circundante. [25]

**1.1.3 Residuos inorgánicos.** Son los que por sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta. Muchos de ellos son de origen natural pero no son biodegradables, por ejemplo los envases de plástico. Generalmente se reciclan a través de métodos artificiales y mecánicos, como las latas, vidrios, plásticos, gomas. En muchos casos es imposible su transformación o reciclaje; esto ocurre con el telgopor, que seguirá presente en el planeta dentro de 500 años. Otros, como las pilas, son peligrosos y contaminantes.

**1.1.4 Cuarteo – Muestreo.** Para estimar la composición física de los residuos, el RAS estipula que el muestreo debe realizarse por un método técnicamente recomendado por el Instituto Colombiano de Normas técnicas. El objetivo es contar con residuos de características homogéneas. [26]

---

[25] TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994 vol. 1 p. 407– 421, 100-111.

[26] COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. RESOLUCION 1096 (17, NOVIEMBRE, 2000). Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, 2000. Sección II. Título F. Sistemas de aseo urbano. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2000.

Esta norma nos sirve para identificar las características físicas de la basura, es decir, da la pauta para clasificar los residuos mediante los diferentes tipos de materiales que se encuentran en los residuos sólidos denominados subproductos.

❖ **Aparatos y Equipo**

- Báscula de piso, con capacidad de 200 Kg.
- Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.90 m y calibre mínimo del No. 200, - para el manejo de los subproductos (tantas como sean necesarias).
- Palas curvas
- Bieldos
- Overoles
- Guantes de carnaza
- Escobas
- Botas de hule
- Cascos de seguridad
- Mascarillas protectoras
- Papelería y varios (cédula de informe de campo, marcadores, ligas, etc.). [27]

❖ **Procedimientos.** Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas. La metodología a emplear es la siguiente:

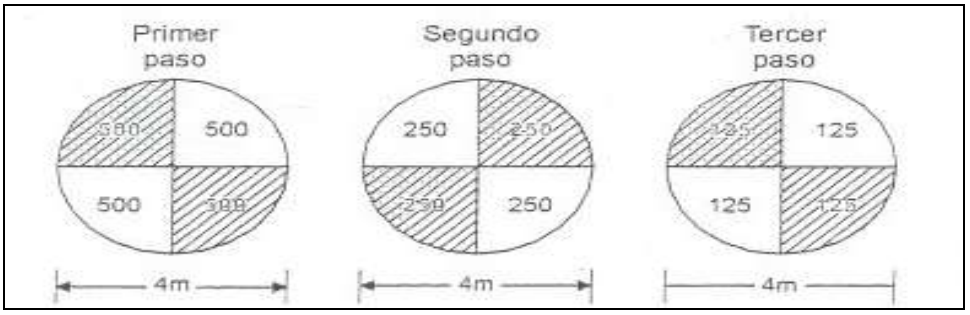
Se toman los residuos sólidos resultados del estudio de generación y se disponen sobre un área plana horizontal de cemento o similar y bajo techo, de 4m por 4 m. formando un montón o pila de manera circular.

[27] SECRETARIA DE GOBIERNO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Norma Oficial Mexicana. Protección al Ambiente-Contaminación del suelo - residuos sólidos Municipales-Generación. NOM-AA-61.

Se empieza a palear los residuos sólidos tratando de tener una homogeneización, una vez mezclados los residuos se dividen en cuatro partes iguales luego se eliminan las partes opuestas, esta operación se realiza hasta dejar un mínimo de 50 Kg de residuos sólidos, dichos residuos se proceden a la selección de subproductos.

Una vez obtenida la muestra y tomando como mínimo 50 Kg, se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotarlos.

Figura 2. Método de cuarteo para muestras de residuos sólidos




Fuente: COLLAZOS, 2002.

Se han considerado, las cantidades anteriores como óptimas, sin embargo, estas pueden variar de acuerdo a las necesidades. Sólo en el caso de que la cantidad de residuos sólidos sea menor a 50 Kg, se recomienda repetir la operación de cuarteo. [28]

**1.1.5 Biodigestores.** En su forma simple, es un contenedor el cual está herméticamente cerrado y dentro del cual se deposita material orgánico como excremento, desechos vegetales y cualquier tipo de materia orgánica (exceptuando los cítricos ya que éstos acidifican). Los materiales orgánicos se ponen a fermentar con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano y

[28] SECRETARIA DE GOBIERNO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Norma Oficial Mexicana. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Selección y Cuantificación de Subproductos. NOM-AA-22-1985.

fertilizantes orgánicos ricos en fósforo, potasio y nitrógeno. Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor. [29]

El objetivo principal de los biodigestores es la transformación biológica de la materia orgánica de los RSU, en un producto estable y el aprovechamiento del biogás y bioabono generado. La fracción orgánica de los RSU contienen normalmente cantidades adecuadas de nutrientes (orgánicos e inorgánicos), para soportar la conversión biológica de los RS.

La digestión anaerobia se estudia como una opción tecnológica para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos orgánicos. [30]

La materia orgánica biodegradable a corto plazo puede ser transformada por la naturaleza pero también aprovecharse como generadora de biogás, o como biomasa para gasificación. [29]

Un biodigestor es un depósito que permite la fermentación de la materia orgánica de manera anaeróbica produciendo biogás y estabilizando la materia procesada biológicamente. Tiene varias zonas a saber:

Zona de retención de materia orgánica
Zona de almacenamiento de biogás generado
Zona de cargue y descargue

---

[29] LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151

[30] CASTILLO, Edgar Fernando; CRISTANCHO Diego Edison y ARELLANO, Víctor. Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista colombiana de biotecnología. Diciembre, 2003. vol. II, p. 11-22

Los biodigestores se clasifican en continuos y estacionarios o tipo batch. Los continuos se cargan y descargan en forma periódica, por lo general todos los días; los estacionarios son cargados de una vez y se vacían por completo después del tiempo de retención prefijado.[31]

Un biodigestor es un sistema sencillo de conseguir, pues ayuda a solventar la problemática energética-ambiental, así como a dar un manejo adecuado de los residuos sólidos orgánicos generados por las actividades del hombre y la tecnología que utiliza. [31]

El proceso de biodigestión se da porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los excrementos que al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases (con alto contenido de metano) al cual se le llama biogás. El biogás es un excelente combustible y el resultado de este proceso genera residuos con un alto grado de concentración de nutrientes los cuales pueden ser utilizados como fertilizante. [32]

❖ **El biodigestor como descontaminador.** Lo más importante de recalcar es el efecto descontaminante que realiza el biodigestor a las excretas luego del proceso de fermentación, en términos generales comparando el influyente con el efluente se tienen reducciones de contaminación cercana al 80%.

❖ **Cómo se alimenta un biodigestor.** Aunque cualquier tipo de materia orgánica se puede utilizar, se recomiendan los estiércoles de los diferentes animales de granja e inclusive las heces fecales de los humanos por su eficiencia. Los animales monogástricos son los más metanogénicos. En general se considera que el porcentaje de materia seca de las excretas sólidas está al rededor del 20%

---

31 LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151

32 Disponible en Internet: <http://biodigestores.org/>

y debe ingresar al biodigestor en una mezcla de 5 partes de agua por una de estiércol. [33]

Es muy probable que la producción de gas proveniente de los residuos sólidos orgánicos no alcance para autoabastecer una ciudad, pero sí para favorecer el medio ambiente, brindando la alternativa de tratar los residuos, estabilizarlos y generar abono orgánico y producción de gas metano, el cual permitiría sustituir otro tipo de gases extraídos del residuo del petróleo, los cuales dejan mayor huella en el ambiente.

### 1.1.5.1 Ventajas de los biodigestores.

- Disminuye la tala de bosques al producirse nuevas fuentes de energía, como el gas.
- Evita la contaminación del agua, pues ya no se votaría a los ríos el material orgánico en descomposición.
- Mejora las condiciones de la vivienda porque se eliminan muchos problemas sanitarios.
- Mejoran las condiciones del suelo, porque se crían microorganismos benéficos.
- Enriquece los terrenos en forma natural y económica con el abono orgánico.
- Reemplazo de fertilizantes químicos por fertilizantes orgánicos.
- Disminución de la generación de vectores. [34]

**1.1.5.2 Inconvenientes de los biodigestores.** La construcción de biodigestores conlleva también una serie de inconvenientes:

- Su ubicación debe estar próxima a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo, tanto para acumular los desechos orgánicos como para abaratar los costes que supone la canalización del sistema.

---

[33] Disponible en Internet: <www.horizonteverde.org.co/biodigestores.htm - 32k

[34] FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. El maravilloso mundo del abono orgánico. 3 ed. Gerencia de producción y desarrollo, 1993.

- La temperatura debe ser constante y cercana a los 35° C, lo que puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- Puede generar como subproducto sulfuro de hidrógeno, un gas tóxico y corrosivo que puede además reducir la capacidad calorífica del biogás, encareciendo el proceso por la necesidad de depurarlo.
- Puede haber posibles riesgos de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles. [35]

**1.1.5.3 Eficiencia de los biodigestores.**

Está determinada por:

❖ **Temperatura.** Influye directamente sobre la velocidad de generación de biogás en los biodigestores. Existen tres intervalos de temperatura en las cuales las bacterias pueden operar:

- Temperaturas superiores a 35° C Termofílicos
- Entre 15° y 35° C Mesofílco
- Entre 0° y 15° C Psicrofílico

❖ **El tiempo de retención.** Es el número de días que determinada cantidad de desechos debe permanecer dentro del biodigestor. Este factor esta relacionado con la temperatura ambiente promedio del sitio; cuando esta es alta se puede aplicar un tiempo de retención corto y cuando es baja se requerirán tiempos de retención más largos.

Entre más largo es el tiempo de retención de la materia biodegradable al interior del biodigestor, más alto es el contenido de metano y con esto el poder calorífico del biogás; con tiempo de retención cortos el contenido de metano puede disminuir

[35] Disponible en Internet: www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2006/05/22/152178.php - 42k

hasta un 50%; con un contenido de metano inferior al 50%, el biogás deja de ser inflamable.

Tabla 2. Tiempos de retención de materia orgánica de origen animal

| Temperatura (°C) | Tiempo de retención (días) |
|---|---|
| 37 | 45 |
| 32 | 60 |
| 28 | 90 |
| Fuente: LÓPEZ, 2003 | |

❖ **pH.** En los biodigestores esta en función de la concentración bióxido de carbono en el gas y de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad o acidez de la materia. Las bacterias involucradas en el proceso son altamente sensibles a cambios en pH. La franja de operación está entre 6 y 8, teniendo como punto óptimo un pH de 7.

❖ **Contenido de humedad.** Afecta el tiempo de fermentación, unas temperaturas altas y constantes (más de 33°C), unos tiempos largos de retención (100 o más días) y un buen mezclado de materia orgánica influye positivamente en la producción de gas.

Temperaturas bajas y oscilantes (15 – 25°C), tiempos de retención cortos (menos de 30 días) y un mal mezclado de la materia orgánica influyen negativamente en la producción de gas.

❖ **Microorganismos.** Los microorganismos biológicos son de importancia primordial por necesitar de compuestos orgánicos como fuente de carbono y energía.

Los microorganismos presentes en los residuos sólidos consumen rápidamente el oxigeno del aire que queda atrapado en los espacios vacíos del biodigestor tornando el ambiente anaerobio. Bajo estas condiciones la descomposición de la materia orgánica presente se realiza por medio de fermentaciones que son realizadas por microorganismos que degradan las partículas orgánicas solubilizandolas y formando grandes cantidades de ácidos orgánicos como el ácido acético y desprendiendo sustancias como el amoníaco. Al solubilizarse y fermentarse la materia orgánica se pierde la estructura sólida que conforma los desechos y la pila de residuos se asienta consecuentemente. [36]

La biodigestión es una tecnología que se puede aplicar básicamente para cualquier tipo de materia orgánica originada por residuos de vegetales o animales. Se puede usar para lodos de plantas de tratamiento de aguas urbanas, estiércol de animales, residuos orgánicos de mercados municipales, despojos de animales, residuos agrícolas, desechos pos cosecha entre otros. Su empleo posibilita condiciones de inversión y costos de operación relativamente bajos, controla efectivamente la contaminación generada por estos residuos y la posibilidad de producir energía limpia o renovable desde la biomasa, además de ferlitizantes de gran calidad. Los dos productos son de gran valor económico, además de reducir los costos de tratamiento o disposición de los residuos. [37]

❖ **Tipos de microorganismos.** Los microorganismos normalmente se clasifican, según su estructura y función celular, como eucariontes, eubacterias y arqueobacterias. Como se muestra en el cuadro 2. los grupos procarióticos (eubacteria y arqueobacteria) son de una importancia primordial dentro de la

---

[36] LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151

[37] COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA. La biodigestión como tecnología de aprovechamiento de residuos y de generación de energía limpia. Boletín trimestral, n. 17, Julio – Septiembre, 2003.

conversión biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos y generalmente se denominan bacterias. El grupo eucariótico incluye plantas, animales y protistas. Los eucariontes más importantes en la conversión biológica de los residuos orgánicos incluyen hongos, levaduras y actinomicetos.

Cuadro 2. Clasificación de Microorganismos

| Grupo | Estructura Celular | Caracterización | Miembros representativos |
|---|---|---|---|
| Eucariotes | Eucariotica[b] | Multicelular con diferenciación extensa de células y tejidos.<br><br>Unicelular o coenocítico o micélico; poca o ninguna diferenciación de tejidos. | Plantas de semillas, helechos, musgos). Animales vertebrados e invertebrados.<br>Protistas (algas, hongos, protozoos). |
| Eubacteria | Procariótica[e] | Química celular similar a los eucariotes. | La mayoría de las bacterias. |
| Arqueobacterias | Procarióticas[e] | Química celular distinta. | Metanónegos, halófilicos, teroacidófilos. |
| Fuente: TCHOBANOGLOUS, 1994 | | | |

- **Bacterias.** Normalmente, las bacterias son unicelulares: esferas, barras o espirales. Las formas esféricas (cocos) varían de 0,5 a 4 m de diámetro; las barras (bacilos) son de 0,5 a 20 m de largo y de 0,5 a 4 m de ancho; las espirales (espirilos) pueden ser de mas de 10 m de largo y aproximadamente de 0,5 m de ancho. Las bacterias son de naturaleza ubicua y se encuentran en ambientes aerobios (en presencia de oxigeno) y anaerobios (en ausencia de oxígeno). Por la amplia variedad e compuestos orgánicos e inorgánicos que las bacterias pueden usar para sostener su crecimiento, se utilizan las bacterias extensamente en diversas operaciones industriales para acumular productos intermedios y finales del metabolismo.

- **Coliformes.** Los coliformes son un grupo de bacterias que incluye los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. Por constituir un grupo muy numeroso, $2x10^{11}$

organismos por persona día, en los excrementos humanos, se usan como indicadores de contaminación, por organismos patógenos, en el agua. Con la presencia de coliformes no siempre se puede afirmar que ésta se de a causa de contaminación fecal. [38]

Tabla 3. Calidad del agua según NMP de coliformes

| Clase | NMP/100mL |
|---|---|
| Agua apta para purificación con solo desinfección | <50 |
| Agua apta para purificación con tratamiento convencional | 50 - 5000 |
| Agua contaminada que requiere tratamiento especial | 5000 - 50000 |
| Agua contaminada que requiere tratamiento muy especial | ➢ 50000 |
| Fuente: ROMERO, 1999 | |

- **Hongos.** Los hongos se consideran como protistas multicelulares, no fotosintéticos, heterotróficos. La mayoría de los hongos tienen la capacidad de crecer en condiciones de baja humedad, que no favorecen el crecimiento de las bacterias. Los hongos pueden tolerar pH relativamente bajos. El valor óptimo para la mayoría de las especies de hongos parece ser de aproximadamente 5,6 pero el rango factible va de 2 a 9. El metabolismo de estos organismo es esencialmente aerobio y crecen en largos filamentos, llamados hifas, compuestos de unidades celulares nucleadas y variando en anchura de 4 a 20 *u*m.
- **Levaduras.** Las levaduras son hongos que no pueden formar filamentos (*miceloios*) y por tanto son unicelulares. Algunas levaduras forman células

[38] ROMERO, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingenieros, 1999.

elípticas de 8 a 15 *u*m por 3 a 5 *u*m, mientras que otras son esféricas, varían en tamaño de 8 a 12 *u*m de diámetro.

- **Actinomicetos.** Son un grupo de organismos con propiedades intermedias entre bacterias y hongos. Son similares a los hongos, excepto que la anchura de la célula es solamente de 0,5 a 1,4 *u*m. [39]

❖ **Necesidades nutricionales para el crecimiento microbiano.** Para seguir reproduciéndose y funcionando correctamente, un organismo precisa de una fuente de energía; de carbono para la síntesis de nuevo tejido celular, y de elementos inorgánicos *(nutrientes)* tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Quizás también se necesiten nutrientes orgánicos *(factores de crecimiento)* para la síntesis celular. En la siguiente presentación se describen las fuentes de carbono y de energía, normalmente llamados *sustratos,* así como las necesidades nutricionales y de factores de crecimiento.

- **Fuentes de carbono y energía.** Dos de las fuentes más comunes de carbono para el tejido celular son el carbono orgánico y el dióxido de carbono. Los organismos que utilizan carbono orgánico para la formación de tejido celular se llaman *heterótrofos.* Los organismos que obtienen carbono a partir de dióxido de carbono se llaman *autótrofos.* La conversión del dióxido de carbono en tejido celular orgánico es un proceso reductor que requiere una entrada de energía neta. Los organismos autotróficos, por lo tanto, deben gastar más de su energía para la síntesis que los heterótrofos, lo que provoca tasas de crecimiento generalmente más bajas entre los autótrofos.

La energía necesaria para la síntesis celular puede suministrarse con la luz o con una reacción química de oxidación. Aquellos organismos que son capaces de

[39] TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994. vol. 2, p. 757-767.

usar la luz como fuente de energía se llaman *fotótrofos.* Los organismos *fototrópicos* pueden ser heterotróficos (ciertas bacterias de azufre) o autotróficos (algas y bacterias fotosintetizantes). Los organismos que obtienen su energía mediante reacciones químicas se conocen como *quimiótrofos.* Como los fotótrofos, los quimiótrofos pueden ser heterotróficos (protozoos, hongos y la mayoría de las bacterias) o autotróficos (bacterias nitrificantes). Los quimioautótrofos obtienen energía de la oxidación de compuestos *inorgánicos* reducidos, como el amoniaco, el nitrito y el sulfito. Los quimioheterótrofos normalmente obtienen su energía de la oxidación de compuestos *orgánicos.* En el cuadro 3 se resume la clasificación de microorganismos según las fuentes de energía y según el carbono celular.

Cuadro 3. Clasificación general de microorganismo según fuentes de energía y carbono

| **Clasificación** | **Fuente de Energía** | **Fuente de Carbono** |
|---|---|---|
| Autotróficos | | |
| Fotoautróficos | Luz | **$CO_2$** |
| Quimioautotróficos | Reacción inorgánica de oxidación-reducción | **$CO_2$** |
| Heterotróficos | | |
| Quimioheterotroficos | Reacción orgánica de oxidación-reducción. | Carbono Orgánico |
| Fotoheterotróficos | Luz | Carbono Orgánico |
| Fuente: TCHOBANOGLOUS, 1994 | | |

❖ **Necesidades de nutrientes y factores de crecimiento.** Los nutrientes, en vez del carbono o de una fuente de energía, a veces pueden ser el material limitante para la síntesis y el crecimiento celular microbiano. Los principales nutrientes inorgánicos requeridos por los microorganismos son nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), hierro (Fe), sodio (Na) y cloro (Cl). Los nutrientes menores, pero de gran importancia, incluyen: cinc

(Zn), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), selenio (Se), cobalto (Co), cobre (Cu), níquel (Ni), y wolframio (W). Además de los nutrientes inorgánicos citados, algunos organismos también pueden necesitar nutrientes orgánicos. Los nutrientes orgánicos necesarios, conocidos como factores de crecimiento, son compuestos necesitados por un organismo como precursores o constituyentes del material celular orgánico, que no puede sintetizar a partir de otras fuentes de carbono. Aunque los requisitos de factores de crecimiento difieren de un organismo a otro, los principales factores de crecimiento entran en tres clases: aminoácidos, purinas y pirimidinas y vitaminas.

- **Nutrición microbiana y procesos de conversión biológica.** El objetivo principal en la mayoría de los procesos de conversión biológica es la conversión de la materia orgánica de los residuos en un producto final estable. Para llevar a cabo este tipo de tratamiento, los organismos quimioheterotroficos son de una importancia primordial por necesitar compuestos orgánicos como fuente de carbono y energía. La fracción orgánica de los RSU contienen normalmente cantidades adecuadas de nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos para soportar la conversión biológica de los residuos. Sin embargo con algunos residuos comerciales puede que los nutrientes no estén presentes en cantidades suficientes, en estos casos es necesaria la adición de nutrientes para el crecimiento correcto de las bacterias y la subsiguiente degradación de los residuos orgánicos.

❖ **Tipos de metabolismo microbiano.** Los organismos quimio-heterotróficos pueden agruparse adicionalmente según su tipo metabólico y sus necesidades de oxigeno molecular. Los organismos que generan energía mediante el transporte de electrones, mediado por enzimas, desde un donanante de electrones hasta un receptor de electrones externo (como oxigeno) tienen un metabolismo respiratorio. En contrasté, el metabolismo fermentativo no implica la participación de in receptor externo de electrones. La fermentación es un proceso productor de energía

menos eficaz que la respiración; en consecuencia por tasa de crecimiento y de producción celular menores que los heterótrofos respiratorios.

❖ **Requisitos ambientales.** Las condiciones ambientales de temperatura y de pH tienen un importante efecto sobre la supervivencia y sobre el crecimiento de los microorganismos. Por lo general, el crecimiento óptimo se produce dentro de una gama de temperatura y de valores de pH bastante estrecha, aunque los microorganismos pueden sobrevivir dentro de límites mucho más amplios. O sea, las temperaturas por debajo de las óptimas normalmente tienen un efecto más significativo sobre la tasa de crecimiento bacteriano que las temperaturas por encima de las óptimas. Se ha observado que las tasas de crecimiento se duplican aproximadamente con cada subida de 10 $^{o}$C de temperatura, hasta llegar a la temperatura optima. Según la gama de temperatura en que funcionen mejor, las bacterias pueden clasificarse como psicrófilas, mesófilas o termófilas. En el cuadro 4 se presentan gamas de temperaturas normales para bacterias en cada una de estas categorías.

Cuadro 4. Algunos rangos de temperatura típicos para diversas bacterias.

| TIPO | TEMPERATURA, $^{O}$C | |
|---|---|---|
| | RANGO | OPTIMO |
| Psicrofílicos[a] | -10 a 30 | 15 |
| Mesofílicos | 20 a 50 | 35 |
| Termofílicos | 45 a75 | 55 |
| Fuente: TCHOBANOGLOUS, 1994 | | |

La concentración de iones de hidrogeno, expresada como pH, no es un factor significativo en el crecimiento de microorganismos, en si mismo, dentro de la gama de 6 a 9 (que representa una diferencia de mil en la concentración de iones de hidrogeno). Generalmente el pH óptimo para el crecimiento bacteriano queda

entre 6,5 y 7,5. Sin embargo, cuando el pH sube por encima de 9,0 o baja por debajo de 4,5 parece que las moléculas sin disociar de los ácidos débiles o bases pueden entrar en la célula mas fácilmente que los iones de hidrogeno y oxidrilo y, alterando el pH interno, dañar la célula.

El contenido en humedad es otro requisito ambiental esencial para el crecimiento de microorganismos. Hay que saber el contenido de humedad de los residuos que se van a convertir. [40]

❖ **Trasformaciones biológicas anaerobias.** A continuación se describe la producción de metano a partir de residuos sólidos mediante digestión anaerobia, o *fermentación anaerobia.*

- **Microbiología del proceso.** Se piensa que la conversión biológica de la fracción orgánica de los RSU bajo condiciones anaerobias se produce en tres pasos. El primer paso en el proceso implica la transformación, mediada por enzimas (hidrólisis), de compuestos de masas moleculares más altas a compuestos aptos para usar como fuente de energía y tejido celular. EL segundo paso implica la conversión bacteriana de los compuestos resultantes del primer paso a compuestos intermedios identificables de masa molecular mas baja. El tercer paso implica la conversión bacteriana de los compuestos intermedios a productos finales sencillos, principalmente metano y dióxido de carbono.

En la descomposición anaerobia de los residuos, algunos organismos anaerobios trabajan juntos para llevar a cabo la conversión de la fracción de los residuos en un producto final estable. Un grupo de organismo se responsabiliza de hidrolizar los polímeros orgánicos y los lípidos en unidades estructurales como ácidos grasos, monosacáridos, aminoácidos y compuestos relacionados. Un segundo

[40] TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994. vol. 2, p. 757-767.

grupo de bacterias anaerobias fermenta los productos descomponibles del primer grupo en ácidos orgánicos simples, el más común de los cuales en la digestión anaerobia es el ácido acético. Este segundo grupo de microorganismos, descrito como no metanogénico, esta formado por bacterias anaerobias facultativas y obligadas identificadas como acidógenos o formadores de ácidos.

Un tercer grupo de microorganismos convierte el hidrogeno y el ácido acético, producido por los formadores de ácidos, en gas metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de esta conversión son anaerobios estrictos, llamados metanogénicos y se identifican como metanógenos o formadores de metano. Muchos de los organismos metanogénicos identificados en los vertederos y en digestores anaerobios son similares a aquellos que se han encontrado en los estómagos de animales rumiantes y en sedimentos orgánicos sacados de lagos y ríos. Las bacterias más importantes con las que utilizan hidrogeno y ácido acético. Tienen tasas de crecimiento muy lentas; en consecuencia su metabolismo normalmente se considera limitante en el tratamiento anaerobio de residuos orgánicos. La estabilización de residuos en la digestión anaerobia se lleva a cabo cuando se produce metano y dióxido de carbono. [41]

- **Rutas bioquímicas.** Es importante destacar que las bacterias de metano solamente pueden usar un numeró de sustratos limitado para la formación de metano. Actualmente, se conoce que los metanógenos utilizan los siguientes sustratos: $CO_2 + H_2$, formiato, acetato, metanol, metalinaminas y monóxido de carbono. Las reacciones típicas de conversión que producen energía involucrando a estos compuestos son las siguientes:

| | |
|---|---|
| $4H_2 + CO_2$ | $CH_4 + 2H_2O$ |
| $4HCOOH$ | $CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$ |
| $CH_3COOH$ | $CH_4 + CO_2$ |

[41] TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994. vol. 2, p. 757-767.

| | |
|---|---|
| $4CH_3OH$ | $3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$ |
| $4(CH_3)\ N + CH_2O$ | $9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$ |
| $4CO + 2H_2O$ | $CH_4 + 3CO_2$ |

En la fermentación anaerobia, las dos rutas principales en la formación de metano son: la conversión de dióxido de carbono y del hidrógeno en metano y agua y la conversión del formiato y del acetato en metano, dióxido de carbono y agua. Los metanógenos y acidógenos forman una relación simbiótica (comúnmente beneficiosa), en el cual los metanógenos convierten los productos finales de la fermentación en metano y dióxido de carbono. Los metanógenos son capaces de utilizar el hidrógeno producido por los acidógenos por la eficaz acción de la hidrogenasa. Como los metanógenos son capaces de mantener una presión parcial de $H_2$ extremadamente baja, el equilibrio de las reacciones de fermentación se mueve hacia la formación de más productos finales oxidados (por ejemplo, formiato y acetato). La utilización del hidrógeno producido por los acidógenos y por otros anaerobios por parte de los metanógenos se llama *transferencia de hidrógeno entre especies.* En efecto, las bacterias metanogénicas separan compuestos que inhibirían el crecimiento de acidógenos. [42]

- **Factores ambientales.** Para mantener un sistema de tratamiento anaerobio que estabilice eficazmente un residuo orgánico, las bacterias no metanogénicas y metanogénicas deben estar en un estado de equilibrio dinámico. Para establecer y mantener tal estado, los contenidos del reactor deberían estar libres de oxígeno disuelto y de concentraciones inhibidoras de amoniaco libre y de constituyentes como metales pesados y sulfitos. También, el pH del ambiente acuoso debería variar entre 6,5 y 7,5. Asimismo la alcalinidad será suficiente para asegurar que el pH no caerá por debajo de 6,2, porque las bacterias de metano no pueden funcionar por debajo de este umbral. Cuando se realice la digestión

[42] TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994. vol. 2, p. 757-767.

adecuadamente, la alcalinidad normalmente variará de 1.000 a 5.000 mg/1 y los ácidos grasos volátiles estarán por debajo de 250 mg/1. Los valores de la alcalinidad y de los ácidos grasos volátiles en el proceso de digestión anaerobio de sólidos en altas concentraciones pueden ser tan altos como 12.000 y 700 mg/1, respectivamente. Una cantidad suficiente de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo, también han de estar disponibles para asegurar el crecimiento correcto de la comunidad biológica. Según la naturaleza de los fangos o de residuos que van a digerirse, quizás también se requerirán factores de crecimiento. Otro parámetro ambiental importante es la temperatura. Las gamas de temperaturas óptimas son las mesofílicas, 30 a 38.C (85 a l00.F) y las termofílicas, 55 a 60.C (131 a 140.F). [43]

- **Producción de gas.** Puede describirse la transformación anaerobia general de residuos sólidos mediante la siguiente ecuación:

Materia orgánica + H20 + Nutrientes -+ Células nuevas + Materia orgánica resistente + CO2 + CH4 + NH3 + H2S + Calor

En operaciones donde los residuos sólidos han sido mezclados con fangos de aguas residuales, se ha encontrado que el gas recogido de los digestores contiene entre el 50% y 60% de metano. También se ha encontrado que aproximadamente se producen de 0,6 a 1 m3 de gas por Kg. de sólidos volátiles biodegradables destruidos. [43]

- **Actividad Metanogénica específica (AME).** El ensayo de la actividad metanogénica específica (AME) es una importante herramienta para el monitoreo de la digestión anaerobia. El ensayo de AME consiste en evaluar la capacidad de los microorganismos metanogénicos en convertir substrato orgánico en CH4 y CO2. De esta forma, a partir de cantidades conocidas de biomasa, bajo

[43] TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994. vol. 2, p. 757-767.

condiciones establecidas, se puede evaluar la producción de CH4 a lo largo de un periodo de tiempo. Algunos métodos utilizados para la medición de la producción de CH4 en el ensayo de AME son desplazamiento de líquido, cromatografía gaseosa y respirometría*.* [44]

La actividad metanogénica también puede ser definida como un parámetro que mide la tasa de conversión de substratos a metano por microorganismos metanogénicos presentes en lodos anaerobios. Cuando esta tasa se refiere a la cantidad de biomasa de esos lodos, el parámetro de denominara actividad metanogénica específica (AME).[45]

Varios métodos fueron propuestos para medir esta actividad metanogénica especifica, pero según CHERNICHARO (1997), algunos problemas se detectaron, como datos imprecisos, procedimientos demasiados sofisticados y dificultad de obtención de lodo en cantidad suficiente, a partir de reactores en escala de laboratorio, para el desarrollo de ensayos convencionales.

A seguir STEL (2001) describe algunas de estas metodologías:

Los primeros ensayos para la actividad metanogénica específica fueron hechos por De Zeeuw (1984), que consistía en medir la tasa de producción de metano de muestras a través de un sistema de desplazamiento de líquido, tipo frasco mariotte. La carga orgánica y la concentración de sólidos suspensos volátiles eran conocidas. El substrato utilizado consistía en una mezcla de ácidos (acético, propiónico e butírico) o en la adición de apenas un ácido, generalmente el acético.

---

44 CHERNICHARO, Cal. Principio do tratamiento biológico de aguas residuárias: reactores anaerobios. ed. Brasil: Departamento de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Universidad Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 1997. vol. 5 Cap. 3.

45 ANZOLA, Medila del Pilar. Actividad metanogénica especifica (AME) de un lodo anaerobio bajo diferentes condiciones de oxigenación en un reactor anaerobio – aerobio de lecho fijo, operado de modo continuo, con recirculación de la fase liquida, aplicado al tratamiento de aguas residuales domesticas. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

Eran adicionadas soluciones de metales y nutrientes a las muestras ensayadas con el objetivo de evitar limitaciones nutricionales para la producción de metano.

En la metodología propuesta por Dolfing & Bloemen (1985) la producción de metano era medida por cromatografía gaseosa en muestras retiradas del volumen libre de frascos de suero (frascos-reactores), donde el lodo era ensayado. Se utilizaba una jeringa con traba de presión para que el gas de muestra se mantuviera en la misma presión del frasco reactor. Los substratos testados fueron los ácido acético, propiónico y butírico, que eran adicionados en conjunto o separadamente. Además del substrato se adicionaba una solución tampón.

Vazoller (1989) propuso la metodología de Duborguier (1989) semejante a la de Dolfing & Bloemen (19859, con la diferencia que, en este caso, no fue utilizada la solución tampón, ni solución de nutrientes o de metales. El resultado de la actividad, es entonces, denominada, actividad metanogénica específica absoluta o real, siendo obtenida por la diferencia entre la actividad metanogénica aparente del substrato (frasco – reactor con lodo y substrato) y la actividad del frasco control (frasco reactor apenas con la muestra testada).

James (1990) desarrolló un método simplificado a partir de una adaptación de funcionamiento del respirómetro Warburg. Entre tanto, un mejor desempeño de este método dependía de la automación del sistema de medición de gases y de la optimización del sistema de monitoreo del ensayo como un todo, como fue resaltado por los propios autores. En este sentido, el trabajo desarrollado por Monteggia (1991), incorporando manómetros con sensores eléctricos para el monitoreo continuo de la producción de biogás fue un importante avance para el ensayo de actividad metanogénica específica.

Recientemente fue establecido en el ámbito PROSAB (Programa de Investigación en Saneamiento Básico- Brasil) un protocolo para el desarrollo del ensayo. Fue

sugerida la adición de solución tampón y de nutrientes. El substrato utilizado como fuente de carbono fue el ácido acético. La determinación de la tasa de producción de metano puede ser hecha por cromatografía gaseosa a través del desplazamiento del líquido a través de mini manómetros o transductores de presión tras el paso del biogás por una solución alcalina para retención de CO2 presente en el biogás.

La mayoría de los métodos empleados en la determinación de AME toman por base la cantidad de biomasa presente en el lodo, generalmente asociada a la concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV). En general la unidad utilizada para expresar la AME es [CH4-DQO (g o mol)]. [SSV (g)]-¹. )]. [día]-¹, o sea, la cantidad de metano producida (en gramos o moles), o DQO consumida (en gramos), por peso de biomasa (en gramo) por día (De Zeeuw, 1984; ARAUJO, 1995). Entretanto, dependiendo de los objetivos del ensayo y del tipo de lodo utilizado pueden ser realizadas adaptaciones metodológicas y diferentes unidades pueden ser utilizadas para expresar la AME*.* [46]

**1.1.5.4 Clases de Biodigestores.** En general se definen de dos tipos según la forma de llenado:

❖ **De flujo discontinuo:** Son llamados también de bache. Son llenados una vez y vaciados después que se termina la producción de gas. Se utilizan para experimentos o cuando no se dispone de una cantidad constante de materia orgánica.

❖ **De flujo continuo**: Se requiere una carga y descarga constante.

---

[46] ANZOLA, Medila del Pilar. Actividad metanogénica especifica (AME) de un lodo anaerobio bajo diferentes condiciones de oxigenación en un reactor anaerobio – aerobio de lecho fijo, operado de modo continuo, con recirculación de la fase liquida, aplicado al tratamiento de aguas residuales domesticas. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

- De estructura sólida. Utilizan para la construcción de la cámara de digestión y de almacenamiento, materiales rígidos como bloques de ladrillo y cemento.

-Sólida fija: Tiene una sola cámara de digestión y almacenamiento de gas. Soporta altas presiones.

-Sólida móvil. O llamados de campana, la cual flota y permite mantener una presión constante del gas. Estos dos últimos tipos de construcción son costosos y requieren mano de obra calificada. Los de campana necesitan un buen mantenimiento que evite su corrosión.

- De estructura flexible. En términos generales consisten de una cámara de digestión cilíndrica horizontal de algún material flexible, impermeable a gases y líquidos. De este tipo es el que esta montado en las fincas.
- De plástico de flujo continuo. Por su bajo costo, su facilidad de construcción y montaje y la sencillez del manejo, este es el tipo de biodoigestor que mejor se acomoda a las condiciones de las fincas de nuestro medio rural.

**1.1.6 Estiércol.** Es el nombre con el que se denominan los excrementos animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. En ocasiones el estiércol está constituido por excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja.

En agricultura se emplean principalmente los estiércoles de oveja, cabra, de ganado vacuno, de caballo, de gallina, murciélago.[47]

El manejo del estiércol animal se define como un proceso de toma de decisiones que apunta a combinar la producción agrícola rentable con pérdidas mínimas de nutrientes del estiércol, tanto en el presente como en el futuro. El buen manejo del estiércol minimizará los efectos negativos y estimulará los efectos positivos sobre el medio ambiente. La emisión de gases y el lavado de nutrientes, la materia orgánica y los olores tienen efectos indeseables sobre el medio ambiente.

[47] Disponible en Internet: (http://biodigestores.org/, November 04th, 2007).

La contribución del estiércol a la nutrición de las plantas y a la acumulación de materia orgánica en el suelo es considerada como efecto positivo. Un efecto positivo indirecto es que el uso del estiércol puede ahorrar recursos no renovables usados en la producción de fertilizantes inorgánicos. [48]

**1.1.7 Biogás.** El biogás es un gas inflamable producido por microorganismos cuando las materias orgánicas son fermentadas dentro de determinados límites de temperatura, humedad y ácidos en un ambiente impermeable del aire. El metano, principal componente del biogás no tiene olor, color, sabor, pero los otros gases presentes le confieren un ligero olor de ajo o de huevo podrido. [49]

**1.1.7.1 Como se produce el biogás.** Cuando se descomponen las materias vegetales y el estiércol, desprenden un gas que se puede recoger y utilizar. Existe un grupo de microorganismos que al actuar sobre desechos orgánicos, sean vegetales o animales, producen una mezcla de gases que en conjunto han recibido el nombre de biogás. Dichos organismos son anaeróbicos estrictos, es decir solamente pueden vivir y proliferar en un medio exento de aire y, por lo tanto de oxigeno (fermentación anaeróbica).

El biogás se produce por la fermentación de bacterias que se descomponen en ausencia de aire, el material orgánico; el material inorgánico no sufre modificación alguna en el proceso de fermentación. [49]

**1.1.7.2 Materias primas para la producción de de biogás.**

- Restos de Cultivo: En toda población del sector rural existen restos de cultivo para el abastecimiento del biodigestor. El problema esta en que estos productos generalmente contienen residuos ingeribles (entre ellos la lignina) El

---

48 Disponible en Internet: <www.epa.gov/oecaagct/ag101/impacts.html - 19k>

49 MESA, José y MESA Osman. Biodigestores. ed. Bogotá D.C.: Fundación para la biodiversidad, 1999. (Colección Agropecuaria)

empleo correcto de plantas que no contengan lignina como el cactus, algas y frutas.

- Estiércol: El Estiércol tiene la ventaja de ser recolectado con facilidad pero debe mezclarse bien con agua además de producir biogás es buen fertilizante rico en nitrógeno.
- Heces: Constituye un excelente material, pero son de difícil captación.

Se ha demostrado en realidad que la fermentación con un solo tipo de material no da resultado. Es conveniente para acelerar el ritmo de la fermentación hacer una pre-fermentación con la materia orgánica, antes de colocarse en el biodigestor, sobre todo el material fibroso como la paja, grama y pauca del maíz debido a que la descomposición de estos materiales es muy tardía y si se coloca muy temprano esta flotaría en la planta.

Un dato importante de mencionar es que las cantidades iguales de desechos del cultivo producen más biogás que los desechos de los animales.[50]

### 1.1.8 Hidróxido de sodio.

**Generalidades.**

Nombre sistemático**:** Hidróxido de sodio

Otros nombres: Hidróxido sódico, sosa cáustica, soda cáustica

Fórmula: NaOH

**Propiedades físicas.**

Estado de agregación: Sólido

Apariencia: Blanco

Densidad: 2100 Kg/m.

---

[50] CUERVO, Andrés; CARDOZO Ruby y PIÑEROS Natalia. Dimensionamiento de un biodigestor para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de mercado Plaza Kennedy en Bogotá. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

Masa: 39,99713u

Punto de fusión: 596K ($323^0$C)

Punto de ebullición: 1.663K ($1.390^0$C)

**Riesgos.**

Ingestión: Puede causar daños graves y permanentes al sistema gastrointestinal.

Inhalación: Irritación con pequeñas exposiciones, puede ser dañino o mortal en altas dosis.

Piel: Peligroso. Los síntomas van desde irritaciones leves hasta úlceras graves.

Ojos: Peligroso. Puede causar quemaduras, daños a la córnea o conjuntiva.

**1.1.9 Oxígeno disuelto.** El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.[51]

La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) también depende de la temperatura. Asimismo, una diferencia en los niveles de OD puede ser aparente a diferentes profundidades del agua si hay un cambio significativo en la temperatura del agua.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 - 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Además, los niveles de OD a veces se expresan en términos de Porcentaje de Saturación.

---

[51] MANAHAN, Stanley E. Introducción a la química ambiental. ed. México: Reverté Ediciones, 1999.

Cuadro 5. Niveles de Oxigeno Disuelto

| **Nivel de OD** *(in ppm)* | **Calidad del Agua** |
|---|---|
| **0,0 - 4,0** | **Mala:** Algunas poblaciones de peces y macroinvertebrados empezarán a bajar. |
| **4,1 - 7,9** | **Aceptable** |
| **8,0 - 12,0** | **Buena** |
| **12,0 +** | **Repita la prueba:** El agua puede airearse artificialmente. |
| Fuente: MANAHAN, 1999 | |

A 20º C (temperatura ambiente) y presión atmosférica estándar (nivel del mar), la cantidad máxima de oxígeno que puede disolverse en agua dulce es 9 ppm. Si la temperatura del agua está por debajo de 20º C, puede haber más oxígeno disuelto en la muestra. En general, un nivel de oxígeno disuelto de 9-10 ppm se considera muy bueno.

**1.1.10 Índice de biodegradabilidad.** La carga orgánica tiene mucha importancia para calcular la composición de los lixiviados.

Índice de Biodegradabilidad = DBO / DQO

<0.2 Biodegradable → Tratamiento fisicoquímico
0.2 > 0.4 Biodegradable → Tratamiento Biológico
> 0.4 Muy Biodegradable → Tratamiento Biológico

Los parámetros más importantes para ello, son la DQO y la $DBO_5$. Adicionalmente la relación $DBO_5$/DQO denominada índice de biodegradabilidad, refleja el grado de degradación de los lixiviados y con ello los procesos de reacción bioquímica. La fase acidogénica está caracterizada por valores del índice de biodegradabilidad > 0.4, mientras que los valores del mismo índice para la fase metanogénica son < 0.1, lo que indica que las sustancias orgánicas tienen problemas para continuar su

degradación. Este resultado es relevante para elegir el método de tratamiento para los lixiviados, en especial tiene influencia en la velocidad de degradación.[52]

## 1.2 MARCO LEGAL

**1.2.1 Decreto 3075 de 1997.** Por el cual se reglamenta parcialmente la ley 09 de 1979.

**ARTICULO 1.- AMBITO DE APLICACIÓN.** La salud es un bien de interés público. En consecuencia, las disposiciones en el presente Decreto son de orden público, regulan todas las actividades que puedan generar factores de riesgo por el consumo de alimentos, y se aplicarán:

a. A todas las fábricas y establecimientos donde se procesan los alimentos; los equipos y utensilios y el personal manipulador de alimentos.

b. A todas las actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos en el territorio nacional.

c. A los alimentos y materias primas para alimentos que se fabriquen, envasen, expendan, exporten o importen, para el consumo humano.

d. A las actividades de vigilancia y control que ejerzan las autoridades sanitarias sobre la fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución, importación, exportación y comercialización de alimentos, sobre los alimentos y materias primas para alimentos.

**1.2.2 Decreto número 1505 de 2003.** PGIRS. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

---

[52] MENDEZ, Roger Iván, *et al.* Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario. En: Ingeniería revista académica. Mayo – Agosto, 2002. vol 6, no. 002, p. 7-11

**Artículo 1º.** Adiciónase el artículo 1° del Decreto 1713 de 2002, con las siguientes definiciones:

Aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.

Aprovechamiento en el marco del servicio público domiciliario de aseo. Es el conjunto de actividades dirigidas a efectuar la recolección, transporte y separación, cuando a ello haya lugar, de residuos sólidos que serán sometidos a procesos de reutilización, reciclaje o incineración con fines de generación de energía, compostaje, lombricultura o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

**1.2.3 Decreto 3440 de 2004.** Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2004.

**Artículo 1.** El artículo 3 del Decreto 3100 de 2003 quedará así:

"**Artículo 3.- Del cobro de la Tasa Retributiva**. Las Autoridades Ambientales Competentes cobrarán la tasa retributiva por los vertimientos puntuales realizados a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción, de acuerdo a los Planes de Ordenamiento del Recurso establecidos en el Decreto 1594 de 1984 o en aquellas normas que lo modifiquen o sustituyan.

Para el primer quinquenio de cobro, en ausencia de los Planes de Ordenamiento del Recurso, las Autoridades Ambientales Competentes podrán utilizar las evaluaciones de calidad cualitativas o cuantitativas del recurso disponibles."

**1.2.4 Decreto 1594 de 1984.** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

**Artículo 72.** Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

| Referencia | Usuario Existente | Usuario Nuevo |
|---|---|---|
| pH | 5 a 9 unidades | 5 a 9 unidades |
| Temperatura | < 40°C | < 40°C |
| Material flotante | Ausente | Ausente |
| Grasas y aceites | Remoción > 80% en carga | Remoción > 80% en carga |
| Sólidos suspendidos, domésticos o industriales | Remoción > 50% en carga | Remoción > 80% en carga |
| Demanda bioquímica de oxígeno: | | |
| Para desechos domésticos | Remoción > 30% en carga | Remoción > 80% en carga |
| Para desechos industriales | Remoción > 20% en carga | Remoción > 80% en carga |

Carga máxima permisible (CMP), de acuerdo con lo establecido en los artículos 74 y 75 del presente Decreto.

**1.2.5 Resolución 1074 de 1997.** Por la cual se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos.

**Artículo 1.** A partir de la expedición de la presente providencia, quien vierta a la red de alcantarillado y/o a cuerpo de agua localizado en el área de jurisdicción del DAMA deberá registras sus vertimientos ante este Departamento.

**Artículo 2.** El DAMA podrá expedir el respectivo permiso de vertimientos con base en la evaluación y aprobación de la información allegada por los usuarios. Su vigencia será hasta de cinco años.

**Artículo 3.** Todo vertimiento de residuos líquidos a la red de alcantarillado público y/o a un cuerpo de agua, deberá cumplir con los estándares establecidos en la siguiente tabla:

Cuadro 6. Estándares establecidos para vertimiento de residuos líquidos a la red de alcantarillado público y/o a un cuerpo de agua

| PARAMETRO | EXPRESADA COMO | NORMA (mg/l) |
|---|---|---|
| Arsénico | As (mg/l) | 0,1 |
| Bario | Ba (mg/l) | 5,0 |
| Cadmio | Cd (mg/l) | 0,003 |
| Carbonatos | Agente Activo (mg/l) | 0,1* |
| Cianuro | CN (mg/l) | 1,0 |
| Cinc | Zn (mg/l) | 5,0 |
| Cloroformo Extracto de carbón | ECC (mg/l) | 1,0 |
| Cobre | Cu (mg/l) | 0,25 |
| Compuestos fenólicos | Fenol (mg/l) | 0,2 |
| Compuestos Organoclorados | Concentración de agente Activo | 0,05* |
| Compuestos Organofosforados | Concentración de agente Activo | 0,1* |
| Cromo hexavalente | Cr+6 (mg/l) | 0,5 |
| Cromo total | Cr total (mg/l) | 1,0 |
| $DBO_5$ | (mg/l) | 1000* |
| Dicloroetileno | Dicloroetileno | 1,0 |
| Difenil Policlorados | Concentración de agente Activo | ND** |
| DQO | (mg/l) | 2000 |
| Grasas y Aceites | (mg/l) | 100 |
| Manganeso | Mn (mg/l) | 0,12 |
| Mercurio | Hg (mg/l) | 0,02 |
| Mercurio orgánico | Hg (mg/l) | ND** |
| Níquel | Ni (mg/l) | 0,2 |
| PH | Unidades | 5-9 |
| Plata | Ag (mg/l) | 0,5 |
| Plomo | Pb (mg/l) | 0,1 |
| Selenio | Se (mg/l) | 0,1 |
| Sólidos Sedimentables | SS (mg/l) | 2,0 |
| Sólidos Suspendidos Totales | SST (mg/l) | 800 |
| Sulfuro de carbono | Sulfuro de carbono (mg/l) | 1,0 |
| Tetracloruro de carbono | Tetracloruro de carbono (mg/l) | 1,0 |
| Tricloroetileno | Tricloroetileno (mg/l) | 1,0 |
| Temperatura | Grados Centígrado (°C) | <30° |
| Tensoactivos (SAAM) | (mg/l) | 0,5 |

* Concentración de tóxico que produce la muerte del organismo.

** Se entenderá por valor No Detectable (ND) a la concentración de la sustancia que registra valores por debajo de los límites de detección empleando los métodos del manual Standard Method for Examination of Water and Wastewater (Última Edición).

Fuente: Resolución 1074,1997

# 2. METODOLOGIA

## 2.1 EXPLORACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Este proyecto es el montaje del trabajo de grado titulado “Dimensionamiento de un biodigestor para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de mercado Plaza Kennedy en Bogotá”**,** realizado en la Universidad Manuela Beltrán.

Se revisó la información bibliográfica sobre residuos sólidos, biodigestores y sus ventajas; estudios sobre la problemática que se ocasiona por la alta generación de residuos sólidos orgánicos y mala disposición de los mismos en las plazas de mercado de Kennedy de Bogotá D.C. y la legislación nacional que cobija el tema de los residuos sólidos urbanos.

Adicionalmente, se realizó una planificación del desarrollo del proyecto, que incluye objetivos, diseño del biodigestor, costos y cronograma.

## 2.2 GENERALIDADES

Se utilizaron dos reactores tipo flujo discontinuo (Batch), a uno de ellos se le agregó bioaumentador (estiércol + agua residual, 1/3) y al otro sólo se le adicionaron 3 litros de agua residual; bajo estas condiciones se comparó la eficiencia de los biodigestores. Los dos sistemas se operaron de manera anaerobia.

En la parte inferior cada sistema contó con una salida para el efluente líquido, y en la parte superior con una salida para el biogás producido. Se planteó medirlo por el desplazamiento de una solución de  Hidróxido de Sodio (10%) en una botella de

1000 mL, el cual purifica el biogás resultante mediante la remoción de $CO_2$ por absorción.

En la primera fase (3 meses), se realizó el montaje del sistema con canecas de 55 galones, siguiendo las recomendaciones del trabajo de grado mencionado anteriormente.

Para la segunda etapa, se preparo de nuevo el sistema de biodigestores disminuyendo el tamaño de las canecas, teniendo en cuenta que en la primera fase no se alcanzaron los resultados esperados, con esta nueva condición se facilitaría el manejo y control de las diferentes condiciones para el arranque de los biodigestores.

Este periodo fue experimental, se variaron las condiciones de pH, temperatura, se realizaron análisis físico – químicos del efluente líquido, y se llevo a cabo el seguimiento del comportamiento de los sistemas en cuanto a variables como la presión y volumen de biogás generado.

## 2.3 RECOLECCIÓN DE RESIDUOS Y MONTAJE DEL REACTOR

Se compraron los materiales necesarios para proceder al montaje de dos biodigestores.

Alternamente se gestionó en la Plaza de Kennedy la visita para recolección y realización del cuarteo de los residuos sólidos orgánicos; ésta se realizó el día mayor generación de residuos.

Fue necesario, adicionalmente, recoger seis litros de agua residual y dos kilogramos de estiércol para agilizar el proceso de fermentación. La mezcla únicamente se utilizará en uno de los biodigestores.

Después de recolectados, seleccionados y triturados, los residuos orgánicos de la Plaza de mercado de Kennedy, se llevaron al lugar de instalación, Laboratorios de investigación de la UMB ubicados en la Carrera 20B No. 75A – 24, donde se realizo el montaje de los biodigestores.

## 2.4 SEGUIMIENTO Y CONTROL DE PARÁMETROS

A partir del primer mes después de la instalación, se hizo un control semanal de volumen de biogás, presión, temperatura interna y externa del reactor; uno mensual, en el que se midieron parámetros de pH, oxigeno disuelto, conductividad y sólidos totales suspendidos de cada uno de los biodigestores. Adicionalmente al inicio y al final del proceso se realizó un análisis de laboratorio físico - químico del efluente líquido, midiendo los parámetros: DBO, DQO, coliformes totales y sólidos totales.

## 2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ENTREGA INFORME FINAL

Con los resultados obtenidos se analizó la eficiencia de cada uno de los biodigestores; de acuerdo a la producción de gas se determina que tan viable es implementar un sistema de digestión anaeróbico en la plaza de mercado de Kennedy sin exceder los costos para su montaje y teniendo en cuenta la cantidad de residuos orgánicos utilizados en esta práctica. De igual forma a partir de los resultados obtenidos de los laboratorios de las muestras de lixiviados se podrá determinar si éstos necesitan algún tipo de tratamiento en caso de que excedan el límite permitido por la normatividad para vertimientos en Bogotá D.C.

# 3. DISEÑO Y MONTAJE DE LOS BIODIGESTORES

## FASE I

## 3.1 DISEÑO DEL BIODIGESTOR ANAERÓBICO (55 GALONES)

Las canecas que se van a usar tienen un capacidad de 55 galones.

- Volumen = 55 galones * (3.78 Litros/1 Galón) = 207.9 Litros
- Volumen 80% = 207.9 Litros * 80 % = 166.32 Litros
- 166.32 Litros * 1 $m^3$ /1000 Litros = 0.16632 $m^3$

La caneca se llenará hasta el 80% con residuos orgánicos.

- Altura de la caneca: 90 cm
- Altura 80%: 90 cm * 80 % = 72 cm

La caneca se llenará hasta alcanzar una altura de 72 cm

- Densidad = masa / volumen

  Densidad = 72 Kg. / 0.16632 $m^3$

  Densidad = 432.9 Kg. / $m^3$

## 3.2 MONTAJE BIODIGESTOR

❖ **Compra de materiales e insumos necesarios para el montaje.** En esta etapa nos dedicamos a la compra de las canecas de 55 galones, tubería, botellas de 1000 ml, pegante para tubería, accesorios, silicona, mallas, entre otros.

❖ **Perforación de las canecas.** Se perforo con taladro la parte inferior y superior de cada uno de los tanques con el fin de acoplar en cada orificio la tubería de PVC de ½ pulgada, las válvulas y registros que conducirán y permitirán el paso del gas en la parte superior y lixiviado en la parte inferior.

Figura 3.  Perforación de las canecas



Fuente: Autores

❖ **Instalación de tuberías y llaves de paso.** Se instaló la tubería en la parte superior del tanque y se adecuaron las válvulas y registros para la conducción y salida del gas que se producirá, de igual forma se instala a la salida de la tubería la botella de 1000 mL que se llenó con 500 ml de NaOH (10%).

Igualmente se instaló la tubería de la parte inferior del tanque, se adecuaron las válvulas y registros de para la conducción y salida del lixiviado, de igual forma se ubicó a la salida de la tubería la botella de 1000 ml con la cual se mediría la cantidad de lixiviado generado.

Figura 4. Tubería para gas



Fuente: Autores

Figura 5. Llaves de paso para gas



Fuente: Autores

Figura 6. Tubería para lixiviado



Fuente: Autores

Figura 7. Llaves de paso para lixiviado



Fuente: Autores

❖ **Recolección de residuos.** El día 10 de Mayo de 2008 nos dirigimos a la plaza de mercado de Kennedy para recolectar los residuos que se utilizarían en el llenado de los biodigestores; durante la recolección se utilizo el método de cuarteo para la selección de los residuos orgánicos.

Figura 8. Plaza de mercado




Fuente: Autores

Figura 9. Peso de residuos orgánicos



Fuente: Autores

Figura 10. Mezcla de los residuos



Fuente: Autores

Figura 11. Cuarteo



Fuente: Autores

**Trituración:** Luego de la recolección de los residuos se procedió a la trituración de los mismos.

Figura 12. Trituración de residuos



Fuente: Autores

❖ **Instalación de los biodigestores.** Con los residuos listos nos dirigimos al Laboratorio de Investigaciones de la UMB, ubicado en la Carrera 20B No. 75A – 24, a instalar los biodigestores, en este proceso a uno de los biodigestores se le agrego la dilución de un kilogramo de estiércol de vaca en un litro de agua residual, y finalmente se sellaron y pegaron los biodigestores para que quedaran herméticos.

Relación 1Kg de estiércol – 1L De agua residual:

(1Kg/1L) * (1000gr/1L) * (1000mg/1gr) = 1.000.000mg/L

Figura 13. Adición de residuos



Fuente: Autores.

Figura a 14. Adición de estiércol



Fuente: Autores.

Figura 15. Sellado de botellas



Fuente: Autores.

Figura 16. Sellado biodigestores



Fuente: Autores.

Figura 17. Finalización montaje



Fuente: Autores

Figura 18. Finalización montaje



Fuente: Autores

**FASE II**

## 3.3 DISEÑO DEL BIODIGESTOR ANAERÓBICO (15 GALONES)

El volumen de las canecas utilizadas tiene una capacidad de 15 galones.
La altura total de las canecas es de 63 cm.
La altura de llenado de cada caneca es de 47 cm que corresponden al 75% de la altura total de las canecas.

**$\forall$ = 15 galones**.

- Volumen = 15 galones * (3.78 Litros/1 Galón) = 56.7 Litros
- Volumen 75% = 56.7 Litros * 75 % = 42.5 Litros
- 42.5 Litros * 1 $m^3$ /1000 Litros = 0.0425 $m^3$

La caneca se llenará hasta el 75% con residuos orgánicos.

- Altura de la caneca: 63 cm
- Altura 75%: 63 cm * 75 % = 47 cm

La caneca se llenará hasta alcanzar una altura de 47 cm

**Verificación matemática del volumen de las canecas:**

**$\forall = \pi . r^2 . h$**

D = 34 cm

h = 63 cm

r = 17 cm

**$\forall = \pi . r^2 . h$**

$\forall = 3.1416 (17^2) (63)$

$\forall = 57199{,}1\ cm^3$

$\forall = 57, 19\ L$

**$\forall = 15{,}13$ galones**

Densidad R. = Masa / volumen

$$\text{Densidad R.} = \frac{20\ Kg.}{0.0425\ m^3}$$

Densidad R. = 470.58 Kg. / $m^3$ ≈ 0.4 Toneladas / $m^3$

### 3.4 MONTAJE DE LOS BIODIGESTORES

❖ **Recolección de residuos.** El día 2 de Agosto de 2008 nos dirigimos a la plaza de mercado de Kennedy para recolectar nuevamente los residuos que se utilizarían para llenar los biodigestores, durante la recolección se utilizo el método de cuarteo para la selección de los residuos orgánicos.

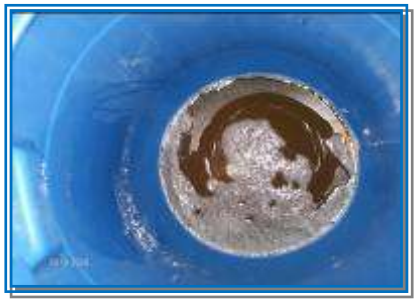
Figura 19. Montaje del Biodigestor  fase II



Fuente: Autores

En la parte inferior se acondicionó la tubería y las botellas para la salida de los lixiviados de cada Biodigestor.  Para dar mayor seguridad al sistema y evitar cualquier escape de gas, se llenó la caneca con el lixiviado recogido de los biodigestores anteriores hasta cubrir el orificio que conecta con el tubo PVC para la salida de lixiviado (aproximadamente 3 litros); de esta manera el gas no tendría salida por la parte inferior de las canecas.

Figura 20. Adición lixiviado



Fuente: Autores

Figura 21.Adición residuos orgánicos



Fuente: Autores

En esta oportunidad se le instaló a cada biodigestor un manómetro de 0 – 30 psi, un termómetro de sonda de 0 a 120 grados; y en el laboratorio se colocó un termómetro para medir las temperaturas máximas y mínimas del ambiente.

Figura 22. Sellado de biodigestores



Fuente: Autores

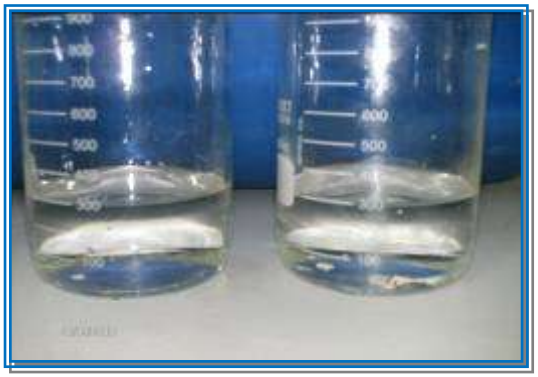
Figura 23. Instalación de manómetro y termómetro



Fuente: Autores

❖ **Medición de NaOH.** En la parte superior del biodigestor se acoplo la botella de 1000 ml, la cual se llenó esta vez con 300 ml de NaOH (5%).

Figura 24. Medición de NaOH



Fuente: Autores

❖ **Instalación de los biodigestores.** El segundo montaje se realizó en la Gerencia de Investigaciones de la UMB, ubicado en la Carrera 20B No. 75A – 24; a diferencia del primer montaje, a uno de los biodigestores se le agregó la dilución de un kilogramo de estiércol de vaca en tres litros de agua residual, finalmente se sellaron y pegaron los biodigestores para que quedaran herméticos.

Relación 1Kg de estiércol – 3L de afluente de los biodigestores anteriores:

(1Kg/3L) * (1000gr/3L) * (1000mg/1gr) = 1.000.000mg/3L

# 4. COSTOS

A continuación se relacionan los costos generados con el desarrollo del proyecto:

Cuadro 7. Costos del proyecto – Primer Montaje

| COSTOS PRIMER MONTAJE | | |
|---|---|---|
| **MATERIAL/ EQUIPO** | **CANTIDAD** | **VALOR ($)** |
| Caneca de 55 galones | 2 | 130.000 |
| Botella de vidrio milimetrada de un litro | 4 | 80.000 |
| Tubo PVC ½" | 6 metros | 92.800 |
| Llaves (registros) ½" | 6 | |
| Conexiones hembra ½" de tubo PVC | 16 | |
| Conexiones macho ½" de tubo PVC | 18 | |
| Silicona Fría | 2 | |
| Soldadura PVC | 1 | |
| Limpiador PVC | 1 | |
| Teflón | 2 | |
| Uniones lisas PVC | 24 | |
| Neumático | 1 | 4000 |
| Boxer | 1 | 1.400 |
| Uniones T | 2 | 1.600 |
| Ganchos Adhesivos | 4 | 4.800 |
| Cinta doble faz | 1 | 5.000 |
| Plástico | 4 Metros$^2$ | 5.000 |
| Bolsas Negras | 15 | 6.000 |
| Guantes | 5 Pares | 9.000 |
| Ladrillos | 30 | 20.000 |
| Transporte Canecas | 2 | 58.500 |
| Fuente: Autores | | |

Cuadro 7. (Continuación)

| COSTOS PRIMER MONTAJE | | |
|---|---|---|
| **MATERIAL/ EQUIPO** | **CANTIDAD** | **VALOR ($)** |
| Pegante Cemento PVC | 1 Tarro | 16.000 |
| Útiles de aseo (limpiador, desinfectante) | 2 tarros | 4.500 |
| Pegante Rali PVC | 2 cajas | 3.000 |
| Pegante Poliuretano | 1 | 25.000 |
| Transportes | | 56.000 |
| Varios | | 15.700 |
| **Subtotal 1** | | **524.800** |
| Fuente: Autores | | |

Cuadro 8. Costos del proyecto – Segundo Montaje

| COSTOS SEGUNDO MONTAJE | | |
|---|---|---|
| **MATERIAL/ EQUIPO** | **CANTIDAD** | **VALOR ($)** |
| Caneca de 15 galones | 2 | 60.000 |
| Manómetros Glicerina | 2 | 100.000 |
| Termómetro de sonda | 2 | 110000 |
| Conexiones hembra ½" de tubo PVC | 8 | 37.900 |
| Conexiones macho ½" de tubo PVC | 10 | |
| Empaques | 12 | |
| Tapón ½" | 7 | |
| Racor hembra, macho | 4 | |
| Aros Metálicos ½" | 5 | |
| O ´ring | 2 m | |
| Codos | 2 | |
| Varios | | 23.900 |
| **Subtotal 2** | | **331.800** |
| Fuente: Autores | | |

Cuadro 9. Costos del proyecto – Adicionales

| COSTOS ADICIONALES | | |
|---|---|---|
| **MATERIAL/ EQUIPO** | **CANTIDAD** | **VALOR ($)** |
| Jeringas | 4 | 4.000 |
| Agujas | 4 | 500 |
| Cal | 1Kg | 1.000 |
| Resistencias | 2 | 4.000 |
| Tarros | 2 | 1.000 |
| Termómetro | 1 | 8.500 |
| Varios | | 45.000 |
| **Subtotal 3** | | **64.000** |
| Fuente: Autores | | |

Cuadro 10. Costos del proyecto – Laboratorios

| COSTOS LABORATORIOS | | |
|---|---|---|
| **PARAMETROS** | **CANTIDAD** | **VALOR ($)** |
| DBO5 | 4 | 34.800 |
| DQO | 4 | 29.000 |
| Sólidos Totales | 4 | 12.760 |
| Coliformes Totales | 4 | 25.520 |
| **Subtotal 4** | | **408.320** |
| Fuente: Autores | | |

# 5. DATOS DE LABORATORIO

## 5.1 DATOS SEMANALES Y MENSUALES DE PARÁMETROS FISICO-QUIMICOS

❖ **Mensuales. Parámetros físicos y químicos Lixiviado.**

Cuadro 11. Biodigestor con bioaumentador

| PARAMETROS | FECHA | | | |
|---|---|---|---|---|
| | AGOST. 8 | SEPT. 6 | OCT. 4 | NOV. 22 |
| pH | 4.08 | 4.3 | 4.5 | 4.7 |
| Conductividad (µs/cm) | 8.27 | 117.2 | 810 | 4.66 |
| O2 Disuelto (mg/L) | 1.9 | 1.1 | 0.2 | 0.7 |
| Temperatura (°C) | 19.4 | 18.8 | 19 | 18.3 |
| Volumen (mL) | 1400 | 700 | ---- | ---- |
| Fuente: Autores | | | | |

En el tercer y cuarto mes no se tomo la medida del volumen del lixiviado, para descartar que el biogás se estuviera saliendo por la salida inferior del biodigestor.

Cuadro 12. Biodigestor sin bioaumentador

| PARAMETROS | FECHA | | | |
|---|---|---|---|---|
| | AGOST. 8 | SEPT. 6 | OCT. 4 | NOV. 22 |
| pH | 4.08 | 3.9 | 4.2 | 4.8 |
| Conductividad (µs/cm) | 8.27 | 103.8 | 15.3 | 4.52 |
| O2 Disuelto (mg/L) | 1.9 | 1.2 | 0.7 | 0.4 |
| Temperatura (°C) | 19.4 | 18.7 | 19 | 18.4 |
| Volumen (mL) | 1400 | 300 | --- | ---- |
| Fuente: Autores | | | | |

En el tercer mes no se tomo la medida del volumen del lixiviado, para descartar que el biogás se estuviera saliendo por la salida inferior del biodigestor.

❖ **Semanales.** Durante las siete primeras semanas los parámetros de presión, temperatura interna, temperatura externa, volumen de biogás, no variaron

Cuadro 13. Datos del Biodigestor con bioaumentador

| **PARAMETROS** | **FECHA** | | |
|---|---|---|---|
| | **Agost. –Sept.** | **Oct. – Nov.** | **Nov. – Dic.** |
| Temperatura Ambiente (°C) | 18-26 | 18-26 | 19-20 |
| Temperatura reactor (°C) | 23-22 | 20-17 | 18 |
| Presión (psi) | 0 | 0 | 0 |
| Volúmen Biogás (mL) | 0 | 0 | 0 |
| Fuente: Autores | | | |

Cuadro 14. Datos del biodigestor sin bioaumentador

| **PARAMETROS** | **FECHA** | | |
|---|---|---|---|
| | **Agost. –Sept.** | **Oct. – Nov.** | **Nov. – Dic.** |
| Temperatura Ambiente (°C) | 18-26 | 18-26 | 19-20 |
| Temperatura reactor (°C) | 23-22 | 20-17 | 18 |
| Presión (psi) | 0 | 0 | 0 |
| Volúmen Biogás (mL) | 0 | 0 | 0 |
| Fuente: Autores | | | |

## 5.2 RESULTADOS DEL LABORATORIO PRODYCON S.A.

Los datos que se relacionan, son los obtenidos de la primera muestra enviada al laboratorio Prodycon para el análisis fisicoquímicos, los parámetros medidos fueron: $DBO_5$, DQO, Sólidos Totales y Coliformes totales.

Cuadro 15. Muestra con Bioaumentador del 30/08/2008 tomada por integrantes del grupo

| Parámetro de Análisis | Método | Limite Detección | Incertidumbre | Resultado | Unidades |
|---|---|---|---|---|---|
| A-DB05 | S.M. 5210-B | 2 | 0.1 | 10500 | Mg/L O 2 |
| A-DQO | S.M. 5220-D | 5 | 0.93 | 20607 | Mg/L O 2 |
| A-Sólidos T. | S.M. 2540-G | 1 | 0.055 | 16050 | Mg/L |
| M-Coliformes T. | S.M. 9221-B | 2 | 2 | 1.1E09 | NMP/100mL |
| Fuente: Laboratorio Prodycon | | | | | |

Cuadro 16. Muestra sin bioaumentador del 30/08/2008 tomada por integrantes del grupo

| Parámetro de Análisis | Método | Limite Detección | Incertidumbre | Resultado | Unidades |
|---|---|---|---|---|---|
| A-DB05 | S.M. 5210-B | 2 | 0.1 | 4750 | Mg/L O 2 |
| A-DQO | S.M. 5220-D | 5 | 0.93 | 8621 | Mg/L O 2 |
| A-Sólidos Totales | S.M. 2540-G | 1 | 0.055 | 12080 | Mg/L |
| M-Coliformes T. | S.M. 9221-B | 2 | 2 | 5.3E07 | NMP/100mL |
| Fuente: Laboratorio Prodycon | | | | | |

Cuadro 17. Muestra con Bioaumentador del 22/11/2008 tomada por integrantes del grupo

| Parámetro de Análisis | Método | Limite Detección | Incertidumbre | Resultado | Unidades |
|---|---|---|---|---|---|
| A-DB05 | S.M. 5210-B | 2 | 0.1 | 110000 | Mg/L O 2 |
| A-DQO | S.M. 5220-D | 5 | 0.93 | 203571 | Mg/L O 2 |
| A-Sólidos T. | S.M. 2540-G | 1 | 0.055 | 4500 | Mg/L |
| M-Coliformes T. | S.M. 9221-B | 2 | 2 | 1E11 | NMP/100mL |
| Fuente: Laboratorio Prodycon | | | | | |

Cuadro 18. Muestra sin Bioaumentador del 22/11/2008 tomada por integrantes del grupo

| Parámetro de Análisis | Método | Limite Detección | Incertidumbre | Resultado | Unidades |
|---|---|---|---|---|---|
| A-DB05 | S.M. 5210-B | 2 | 0.1 | 52500 | mg/L O 2 |
| A-DQO | S.M. 5220-D | 5 | 0.93 | 100214 | mg/L O 2 |
| A-Sólidos T. | S.M. 2540-G | 1 | 0.055 | 1200 | mg/L |
| M-Coliformes T. | S.M. 9221-B | 2 | 2 | 5.3E09 | NMP/100mL |
| Fuente: Laboratorio Prodycon | | | | | |

## 5.3 RESULTADOS PRODUCCIÓN DE LIXIVIADO

Cuadro 19. Datos de lixiviado con bioaumentador

| ENTRADA (mL) | SALIDA (mL) | SOBRANTE (mL) | PRODUCCION (mL) |
|---|---|---|---|
| 3000 | 4250 | 550 | 1800 |
| Fuente: Autores | | | |

Cuadro 20. Datos de lixiviado sin bioaumentador

| ENTRADA (mL) | SALIDA (mL) | SOBRANTE (mL) | PRODUCCION (mL) |
|---|---|---|---|
| 3000 | 4250 | 650 | 1900 |
| Fuente: Autores | | | |

## 5.4 RESULTADOS REDUCCIÓN DE RESIDUO ORGÁNICO

Cuadro 21. Datos peso residuo orgánico sin bioaumentador

| PESO INICIAL (%) | PESO FINAL (%) | REDUCCION RESIDUO (%) |
|---|---|---|
| 100 | 65% | 35% |
| Fuente: Autores | | |

Cuadro 22. Datos Peso Residuo Orgánico con Bioaumentador

| PESO INICIAL RESIDUO (%) | PESO FINAL (%) | REDUCCION RESIDUO (%) |
|---|---|---|
| 100 | 77.5% | 22.5% |
| Fuente: Autores | | |

# 6. CALCULOS Y RESULTADOS

A continuación se presentan los cálculos realizados en el desarrollo del proyecto:

- Índice de biodegradabilidad de los residuos sólidos orgánicos de cada biodigestor al inicio y al final del proceso en donde se relacionaron los datos de $DBO_5$ y DQO de cada muestra.
- Proyección de la generación teórica de biogás a escala real y de banco para un periodo de 4 meses. Para cada escala, inicialmente se calculó el volumen de residuo teniendo en cuenta la relación masa - densidad de éstos, posteriormente se halló el volumen teórico del reactor y con este dato finalmente se proyectó el volumen de gas a escala real y de banco.
- Al implementar el uso de biodigestores para la reducción de residuos sólidos orgánicos de la Plaza de mercado de Kennedy se generaría el volumen teórico de biogás a escala real proyectado en el ítem anterior, teniendo en cuenta que actualmente la plaza de mercado cuenta con 12 puestos de restaurantes en los cuales se utiliza gas para la preparación de alimentos, se realizó la estimación de volumen mensual de biogás para dichos puestos a escala real, con el fin de proponer el uso eficiente del biogás generado por el biodigestor.
- Con el volumen estimado a escala real de la generación de biogás en la Plaza de mercado se realizó un dimensionamiento del terreno para la ubicación del biodigestor en la plaza.
- Generación real de lixiviado de los biodigestores de la práctica por un periodo de 4 meses
- Proyección teórica a escala real de la generación de lixiviado para la plaza de mercado.

## 6.1 INDICE DE BIODEGRADABILIDAD

### 6.1.1 Índice de biodegradabilidad Agosto 30/08.

**Muestra sin estiércol**

$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{4750}{8621} = 0.55$

**Muestra con estiércol**

$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{10500}{20607} = 0.50$

### 6.1.2 Índice de biodegradabilidad Noviembre 22/08.

**Muestra sin estiércol**

$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{52500}{100214} = 0.52$

**Muestra con estiércol**

$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{110000}{203571} = 0.54$

## 6.2 PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN TEÓRICA DE BIOGÁS A ESCALA REAL Y DE BANCO PARA UN PERIODO DE 4 MESES

### 6.2.1 Proyección teórica a escala real del volumen del gas con datos de producción diaria de residuos orgánicos de la Plaza de Kennedy según el trabajo de grado Cuervo, 2007.

Tasa de generación de residuos por mes = 16860,5 Kg

Promedio diario = 526,9 Kg

ρ de los residuos = 470,58 Kg/m³

- Volumen de residuo para un periodo de 4 meses:

Tasa de generación de residuo por 4 meses = (16860,5 Kg*4 meses) = 67442 Kg

$\forall$ residuo = m / ρ

$\forall$ residuo = 67442 / 470,58 Kg/m³

**$\forall$ residuo = 143,31 m³**

- Volumen del reactor = $\forall$ residuo * θ

θ= tiempo de retención = 120 días

$\forall$ reactor = 143,32 m³ * 120 días

**$\forall$ reactor = 17198,4 m³**

- Volumen del gas = $\forall$ reactor * Factor de almacenamiento

$\forall$ gas = 17198,4 m³ * 1.30

**$\forall$ gas = 22357,92 m³**

### 6.2.2 Proyección teórica a escala de banco del volumen de gas para los biodigestores de la práctica.

- Volumen del residuo para un periodo de 4 meses

$\forall$ residuo = m / ρ

$\bar{\forall}$ residuo = (20 Kg) / 470,58 Kg/m³

**$\bar{\forall}$ residuo = 0,042m³**

- Volumen del reactor = $\bar{\forall}$ residuo * θ

$\bar{\forall}$ reactor = 0,042 m³ * 120 días

**$\bar{\forall}$ reactor = 5,1 m³**

- Volumen del gas = $\bar{\forall}$ reactor * Factor de almacenamiento

$\bar{\forall}$ gas = 5,1 m³ * 1,30

**$\bar{\forall}$ gas = 6,63 m³**

## 6.3 ESTIMACIÓN DE VOLUMEN MENSUAL DE BIOGÁS PARA 12 PUESTOS DE RESTAURANTES A ESCALA REAL

- Volumen de biogas estimado diario/ persona = 0,47 m³ (Estudio universidad Nacional)

Para 30 personas por puesto: 0,47 m³ * 30 personas = 14,1 m³

- Volumen de biogás estimado para 12 puestos / día = 14,1 m³*12 =169,2 m³

- Volumen de biogas para los 4 meses = 169,2 m³ * 120 días = 20304 m³

La proyección a escala real del volumen teórico de gas generado en la plaza es de 22357,92 m³, este valor es mayor a la proyección a escala real de 20304 m³

que se necesitarían para suplir la necesidad de los 12 restaurantes que tiene la plaza de mercado; por lo tanto, en este sentido, sería viable la implementación de este sistema.

## 6.4 DIMENSIONAMIENTO DEL TERRENO PARA LA UBICACIÓN DEL BIODIGESTOR EN LA PLAZA DE MERCADO A ESCALA REAL

Volumen del reactor = A * h

17198 $m^3$ = A * h

h = 8 m (supuesta)

A **=** 17198 $m^3$ / 8 m

A **= 2149,75 $m^2$**

## 6.5 GENERACIÓN DE LIXIVIADO EN UN PERIODO DE 4 MESES

### 6.5.1 Generación de lixiviado de los biodigestores de la practica.

Promedio de producción lixiviado de los biodigestores = 1850 mL ≈ 1,85 L

- 1,8 L lixiviado / 20 Kg residuo = 0,09 L/Kg

- 0,09 L/Kg * (20 Kg / 4 meses) * (1 mes/ 30 días) = 0,015 L/día

### 6.5.2 Proyección teórica a escala real de la generación de lixiviado para la plaza de mercado.

- (1,85 L lixiviado  * 67442 Kg) / 20 Kg = 6406,99 L

# 7. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta el análisis de resultados, con los que se pretende por una parte demostrar las razones por la cual los biodigestores no generaron biogás, basadas en que las condiciones no fueron óptimas para el desarrollo de todas las fases del proceso de la digestión anaerobia. Los resultados nos permiten analizar que los biodigestores entraron en la fase acidogénica y no evolucionaron a la siguiente etapa.

Por otra parte, en vista que no se obtuvieron los resultados esperados, se proyectó teóricamente la generación de gas a escala real y de banco, para tener datos que sirvan de indicadores teniendo en cuenta la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados en la plaza.

De igual manera se analizó la producción de lixiviados por kilogramo y por día de cada biodigestor, se proyecto teóricamente a escala real la generación de los lixiviados en la plaza de mercado por kilogramo teniendo en cuenta la producción diaria de residuos sólidos orgánicos de la plaza de Kennedy.

Finalmente analizamos la reducción de los residuos sólidos orgánicos de cada uno de los biodigestores al final de la práctica.

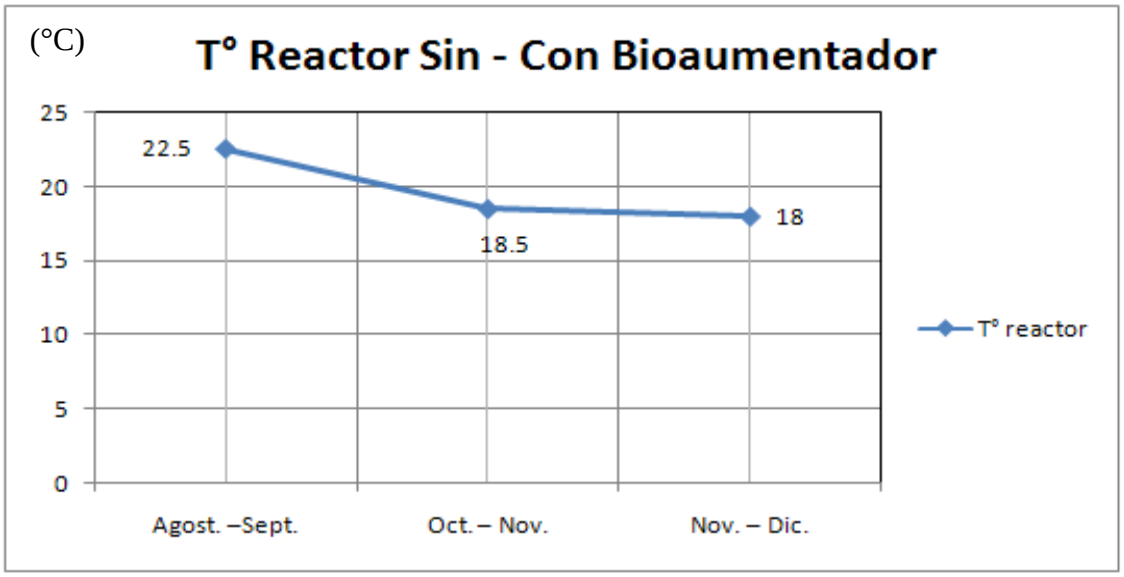
## 7.1 LABORATORIO UMB

### 7.1.1 Temperatura del reactor.

Cuadro 23. Temperatura del reactor

| CON - SIN BIOAUMENTADOR | | | |
|---|---|---|---|
| Parámetro | Agost. –Sept. | Oct. – Nov. | Nov. – Dic. |
| T° reactor (°C) | 22.5 | 18.5 | 18 |
| Fuente: Autores | | | |

Grafica 1. Temperatura del reactor sin y con bioaumentador




Fuente: Autores

Al iniciar el montaje, el biodigestor contaba con una temperatura de 22.5°C, durante los meses siguientes disminuyó a 18°C. La temperatura ideal para que ocurra la digestión anaerobia deber estar alrededor de 35°C, como se observa en la gráfica 1. la temperatura no alcanzó este valor, esto tuvo un efecto negativo en el crecimiento de los microorganismos, la actividad bacteriana fue disminuyendo y

se inhibió la producción de biogás, dado que las bacterias metanogénicas nunca contaron con las condiciones aptas para desarrollarse, convertir el hidrógeno y los ácidos orgánicos presentes en metano y dióxido de carbono.

### 7.1.2 pH y oxigeno disuelto.

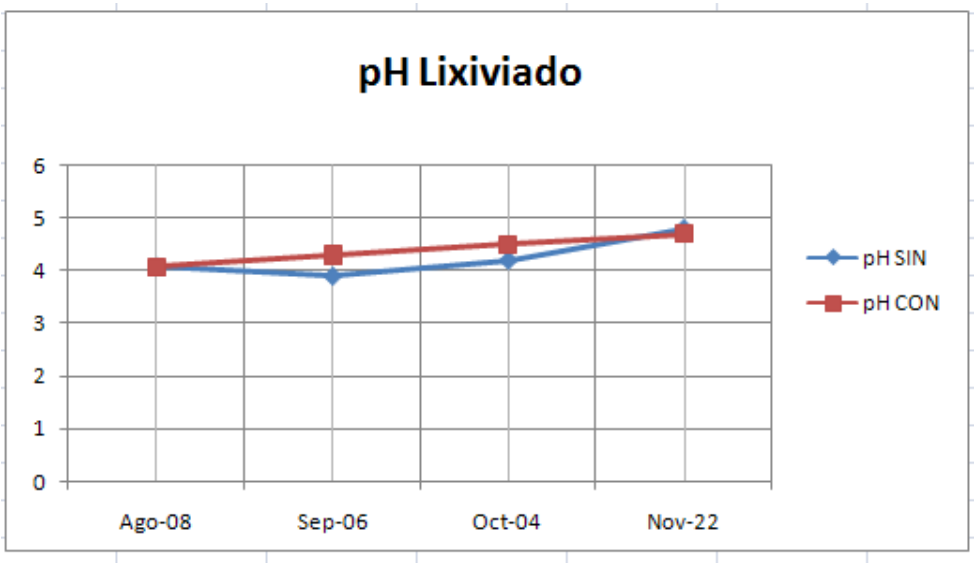
Cuadro 24. pH y Oxigeno Disuelto del lixiviado con bioaumentador

| CON BIOAUMENTADOR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Parámetro | Ago-08 | Sep-06 | Oct-04 | Nov-22 |
| pH | 4.08 | 4.3 | 4.5 | 4.7 |
| O2 Disuelto (mg/L) | 1.9 | 1.1 | 0.2 | 0.7 |
| Fuente: Autores | | | | |

Cuadro 25. pH y Oxigeno Disuelto del lixiviado sin bioaumentador

| SIN BIOAUMENTADOR | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Parámetro | Ago-08 | Sep-06 | Oct-04 | Nov-22 |
| pH | 4.08 | 3.9 | 4.2 | 4.8 |
| O2 Disuelto (mg/L) | 1.9 | 1.2 | 0.7 | 0.4 |
| Fuente: Autores | | | | |

Grafica 2. pH del lixiviado




Fuente: Autores

En el tiempo de retención de los biodigestores con y sin bioaumentador, el pH se encontró en un rango de 3.9 – 4.8. En teoría el pH ideal para la digestión anaerobia debe estar en un rango de 6.5 a 8.0 debido a que las bacterias son altamente sensibles a los cambios de pH, de acuerdo con lo anterior, al disminuir el pH en el sistema se obtuvo una fermentación ácida debido a la producción de ácidos grasos volátiles y otros productos, lo cual no generó las condiciones óptimas para el inicio de la fase metanogénica que requiere un pH cercano al neutro.

Dentro del desarrollo de la práctica, se inyecto en tres oportunidades cal con lixiviado caliente a cada biodigestor para intentar mejorar las condiciones de pH y temperatura, sin embargo no se obtuvieron los resultados esperados debido a que no se logró estabilizar las condiciones, haciendo que el sistema no iniciara la segunda etapa del proceso.

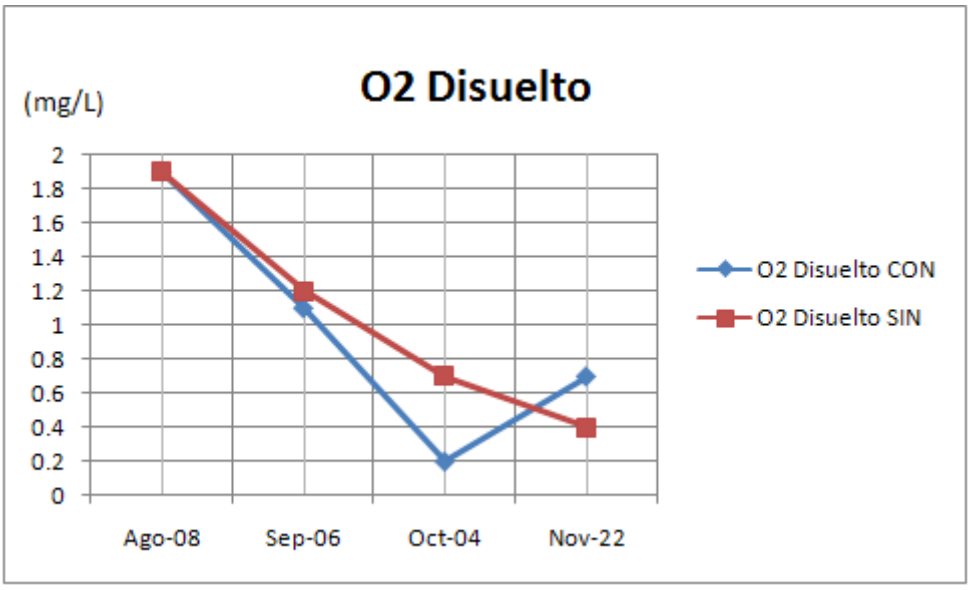
.

Figura 25. Inyección de cal y lixiviado caliente



Fuente: Autores

Grafica 3. Oxigeno disuelto




Fuente: Autores

Los anteriores resultados muestran una disminución de 1.9 a 0.4 en el biodigestor sin bioaumentador y de 1.9 a 0.7 en el biodigestor con bioaumentador; este

comportamiento se debe al consumo de oxigeno que realizan los microorganismos al utilizarlo como fuente de energía para su metabolismo, al aumentar el tiempo de retención los microorganismos se multiplican y hay mayor cantidad de requerimiento de oxigeno.

## 7.2 RESULTADOS LABORATORIO PRODYCON

Cuadro 26. Datos Prodycon sin bioaumentador

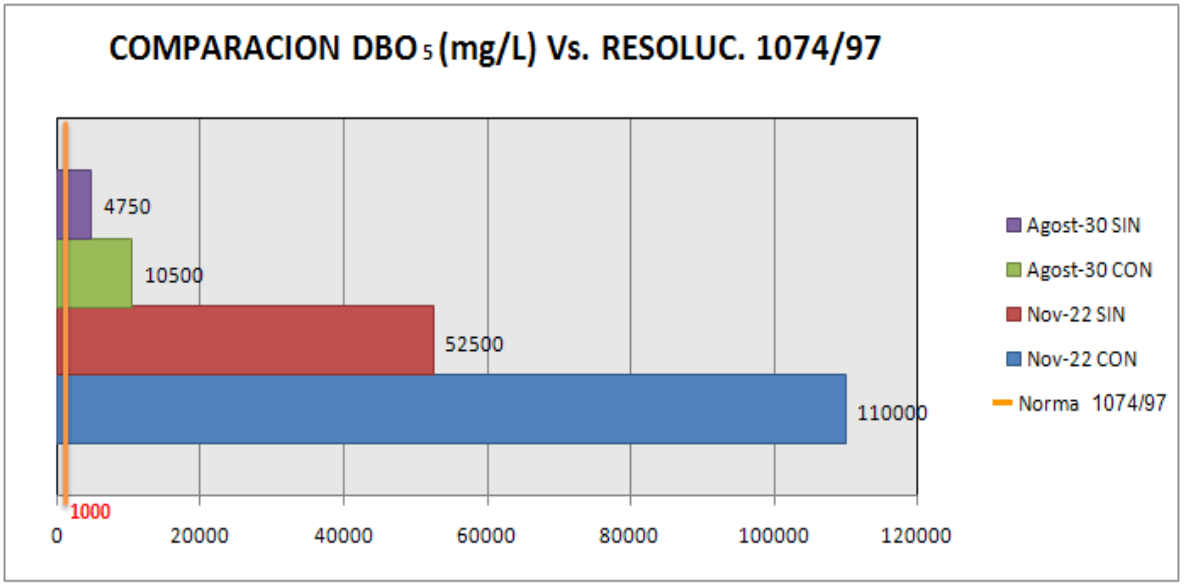
| Parámetros | Norma 1074 de 1997 | Lab. Agosto 30 | Lab. Noviembre 22 |
|---|---|---|---|
| DBO5 (mg/L) | 1000 | 4750 | 52500 |
| DQO (mg/L) | 2000 | 8621 | 100214 |
| SST (mg/L) | 800 | 12080 | 1200 |
| Coliformes T. (NMP/100mL) | - | 5.3E07 | 5.3E09 |
| Fuente: Autores | | | |

Cuadro 27. Datos Prodycon con Bioaumentador

| Parámetros | Norma 1074 de 1997 | Lab. Agosto 30 | Lab. Noviembre 22 |
|---|---|---|---|
| DBO5 (mg/L) | 1000 | 10500 | 110000 |
| DQO (mg/L) | 2000 | 20607 | 203571 |
| SST (mg/L) | 800 | 16050 | 4500 |
| Coliformes T. (NMP/100mL) | - | 1.1E09 | 1E11 |
| Fuente: Autores | | | |

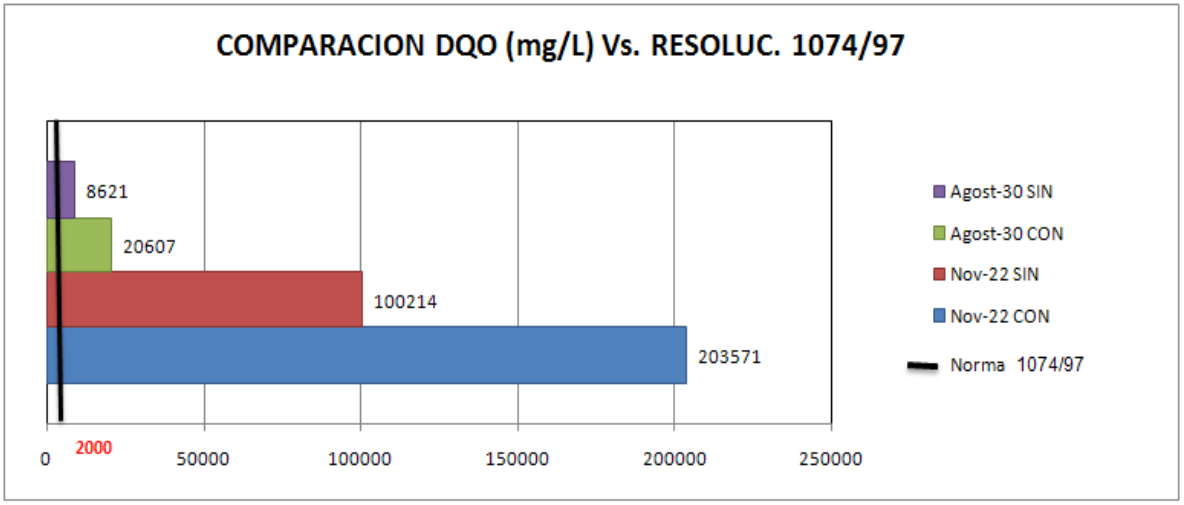
### 7.2.1 DBO$_5$ y DQO

Grafica 4. Comparación DBO$_5$ Vs Resolución




Fuente: Autores

Grafica 5. Comparación DQO Vs Resolución



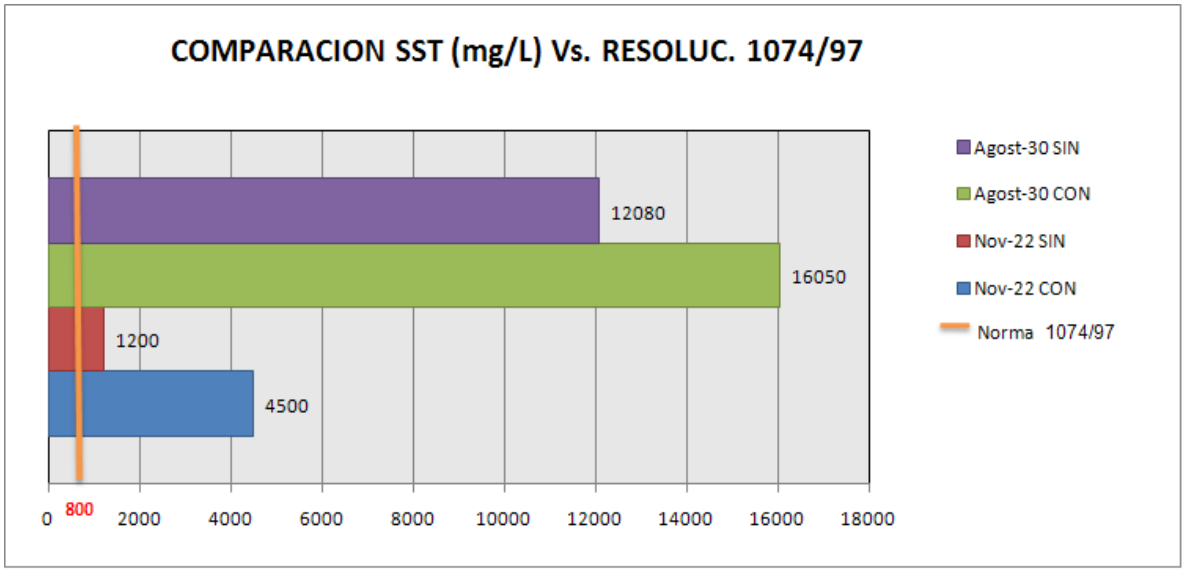

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica 4., los valores de $DBO_5$ en el biodigestor con y sin bioaumentador aumenta del muestreo 1 al 2, este comportamiento se debe a que el consumo de oxigeno por la acción bacteriana de sustancias orgánicas biodegradables es más alto con el paso del tiempo.

Los parámetros más importantes para analizar la carga orgánica son la $DBO_5$ y DQO, la relación entre estos dos se denomina índice de biodegradabilidad, al calcularlo al inicio y al final del proceso, se encontraron valores mayores a 0.4 lo cual indica que el sistema se encuentra en la fase acidogénica y que los residuos son muy biodegradables.

### 7.2.2 Sólidos suspendidos totales.

Grafica 6. Comparación SST Vs Resolución




Fuente: Autores

Los sólidos suspendidos totales como se puede observar en la grafica 6. presentaron reducción teniendo en cuenta el muestreo tomado el 30 de agosto y el del 22 noviembre. Este comportamiento se debe a que a medida que transcurrió el

tiempo de retención los microorganismos degradaron los residuos orgánicos solubilizándolos o formando ácidos orgánicos.

A pesar de la reducción de SST aún se presentan valores por encima de la norma.

Adicionalmente, como se puede evidenciar en la figura No. 26 y en la gráfica No. 6, el lixiviado del biodigestor con bioaumentador presento más concentración de sólidos que el biodigestor sin bioaumentador.

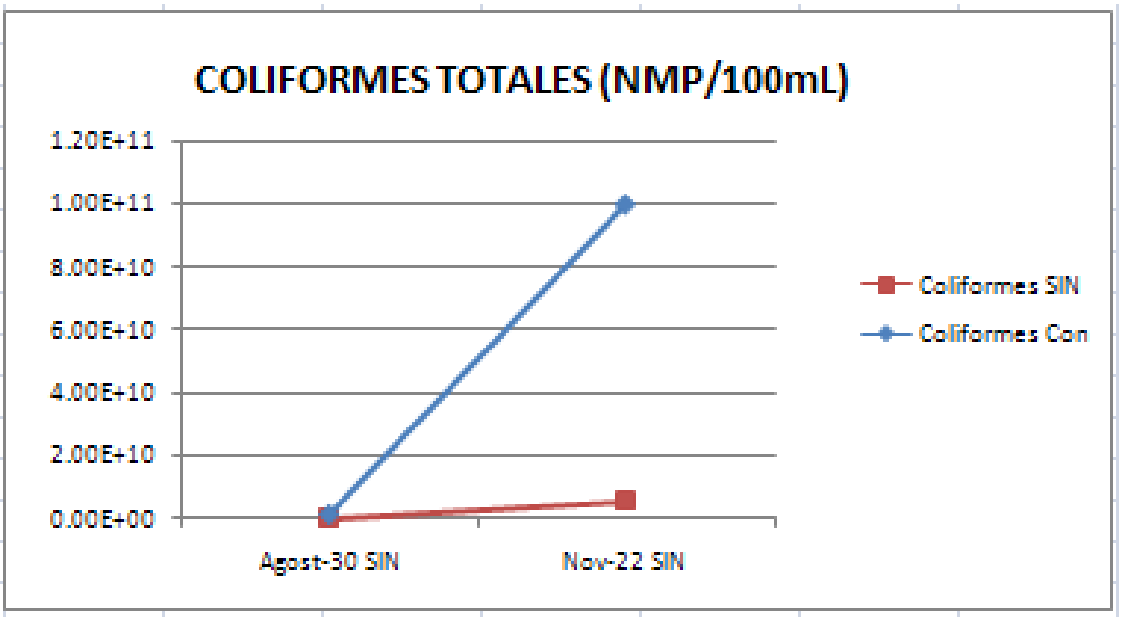
Figura 26. Comparación visual de lixiviado con y sin bioaumentador




Fuente: Autores

### 7.2.3 Coliformes Totales.

Gráfica 7. Coliformes Totales (NMP/100mL)




Fuente: Autores

Como se puede observar en la gráfica 7., en los dos biodigestores existe presencia de coliformes totales, sin embargo el biodigestor con bioaumentador cuenta con mayor cantidad de microorganismos debido a que el bioaumentador es una solución que contiene estierco de vaca + agua residual, podemos afirmar que en su mayoría éstos coliformes son fecales por su procedencia; con el paso del tiempo aumentan considerablemente, debido a la reproducción de las bacterias.

El biodigestor sin bioaumentador a diferencia del que trabaja con bioaumentador presento coliformes pero en menor cantidad, sin embargo también se evidenció su aumento con el paso del tiempo. Consideramos que estas bacterias, en su mayoría no son origen fecal, ya que estas bacterias se pueden encontrar en forma natural en los residuos.

## 7.3 PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN TEÓRICA DE BIOGÁS PARA UN PERIODO DE 4 MESES

### 7.3.1 Generación teórica del volumen de biogás a escala real en la plaza de mercado y en el biodigestor de la práctica a escala de banco.

Cuadro 28. Resultados volumen del residuo, reactor y biogás.

| Volumen ($m^3$) | Plaza | Biodigestor |
|---|---|---|
| Residuo | 143,31 | 0,042 |
| Reactor | 17198,4 | 5,1 |
| Gas | 22357,2 | 6,63 |
| Fuente: Autores | | |

Al calcular el volumen de gas a escala real con las tasas de generación teoría de la plaza de Kennedy para cuatro meses de retención, se obtuvo un volumen de 22358 $m^3$ de biogás; realizando los mismos cálculos con el volumen de residuos colocado en los biodigestores se obtiene un volumen a escala de banco de 6.63 $m^3$ de biogás por cada biodigestor.

En la práctica el sistema desarrollo la fase de acidificación en la cual permaneció durante todo el tiempo de retención, a esto se atribuye una de las principales fallas de operación pues no se obtuvieron las condiciones óptimas para que el sistema pasara a la etapa metanogénica, en donde las bacterias metanogénicas separarían compuestos que inhibirían el crecimiento de bacterias acidogénicas y a partir de este punto, se hubiera iniciado la producción estimada de biogás.

### 7.3.2 Estimación de volumen mensual de biogás para 12 puestos de restaurantes a escala real.

Cuadro 29. Resultados estimación del volumen de Biogás.

| Parámetro | Volumen ($m^3$) |
|---|---|
| Persona | 0,47 |
| 12 Puestos | 169,2 |
| Volumen de Biogás en los 4 meses | 20304 |
| Fuente: Autores | |

Al tomar como base un volumen teórico estimado diario de biogás utilizado por persona, se calculo el estimativo para 30 personas por puesto, en la plaza existen 12 lugares dedicados a la preparación de comidas, estos utilizarían durante los cuatro meses un volumen a escala real estimado de biogás de 20304 $m^3$, teniendo en cuenta que el volumen de biogás a escala real generado por el biodigestor en la plaza es de 22357,2 $m^3$ el proyecto seria viable para los 12 puestos con un tiempo de retención de 4 meses, en condiciones ideales de funcionamiento, adicionalmente se requeriría un terreno con un área estimada de 2149,75 $m^2$ y profundidad de 8m.

## 7.4 GENERACIÓN DE LIXIVIADO EN UN PERIODO DE 4 MESES

**7.4.1 Generación de lixiviado de los biodigestores de la practica.** Por cada kilogramo de residuo se produjo 0,09 L de lixiviado, y cada día se genero 0.015 L de lixiviado por cada biodigestor.

**7.4.2 Proyección teórica de la generación de lixiviado para la plaza de mercado.** Para una producción de residuos de 67442 Kg correspondientes a un periodo de 4 meses en la plaza se generarían 6406,99 L de lixiviado los cuales se podrían utilizar para el arranque del biodigestor del siguiente periodo.

## 7.5 RESULTADOS REDUCCIÓN DE RESIDUO ORGÁNICO

A pesar de que los biodigestores no generaron biogás, los residuos sólidos orgánicos de los biodigestores con y sin bioaumentador se redujeron considerablemente en 22.5% y 35%, respectivamente. Esta disminución en la cantidad de residuos se debe a la degradación orgánica de los residuos sólidos, y a la conversión de éstos en ácidos orgánicos, por lo tanto al perder la textura sólida el peso de éstos varia considerablemente.

# 8. CRONOGRAMA

A continuación se presenta el cronograma que se siguió para el desarrollo del trabajo de grado.

| CRONOGRAMA DESARROLLO PROYECTO | | |

# CONCLUSIONES

La relación DBO/DQO denominada índice de biodegradabilidad en el entorno o mayor a 0.6 muestra que buena parte de la fracción oxidable es biodegradable, la fracción biodegradable esta representada fundamentalmente por los Ácidos Grasos Volátiles.

Al realizar el análisis de variables fundamentales en el arranque y desarrollo de reactores anaerobios como el pH y la temperatura, se encontró que el pH monitoreado en los reactores tiende a bajar debido a la producción de ácidos grasos volátiles, en el sistema se inhibió el crecimiento de bacterias metanogénicas con lo cual se concluye que esta acidificación es una de las principales fallas operacionales en el reactor.

Al evidenciar el pH bajo e inestabilidad en el sistema se requirió adicionar cal con el fin de estabilizar y obtener un mejor comportamiento en este parámetro que permitiera llegar al rango óptimo para el arranque de la fase metanogénica.

La temperatura no alcanzó un valor promedio de 35°C, la cual es ideal para que la digestión anaerobia ocurra, al estar por debajo de este valor la actividad bacteriana decayó y de igual manera no existió producción de biogás.

No se alcanzó el volumen teórico estimado de producción de biogás de 6.63 m3 por biodigestor debido a las fallas operacionales descritas, aunque es importante resaltar que el proyecto es viable de acuerdo a los volúmenes de gas estimados para la plaza con respecto a la demanda requerida de biogás.

Con la implementación de este sistema se logro evidenciar la reducción del volumen de los residuos sólidos orgánicos.

## RECOMENDACIONES

Al iniciar el proceso de arranque del biodigestor se requiere de un periodo de tiempo que dependerá de la calidad y cantidad del inoculo utilizado, por ello se debe contar con la obtención y la evaluación de un inoculo eficiente en el sistema.

Se recomienda tener en cuenta la relación de Ácidos Grasos Volátiles, debido a que durante el arranque uno de los problemas más comunes en biorreactores anaerobios es la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), lo cual puede llevar a una total acidificación si no se controlan.

Se debe tener en cuenta el grado de humedad y compactación de los residuos para mejorar la actividad microbiana.

Es importante tener en cuenta que después de alcanzar los valores óptimos de temperatura y pH se deben mantener estables para no inhibir la actividad microbiana

**Inconvenientes primer montaje:**

- El tubo de PVC inferior del Biodigestor con Bioaumentador presento fugas de lixiviado en la unión de este con la caneca, debido a que el pegante utilizado no fue el adecuado por la compatibilidad de los materiales. En estas condiciones el sistema no cumple con los requerimientos planteados inicialmente pues debe ser un sistema hermético que no presente entrada ni salida de oxigeno.

Figura 27. Fuga en la tubería de lixiviado



Fuente: Autores

Figura 28. Derrame lixiviado



Fuente: Autores

❖ Aunque se implementaron varias alternativas para lograr mantener la caneca sellada, no fue posible, razón por la cual se presentó gran pérdida de lixiviado en la etapa inicial del proceso y no se logró medir el volumen real de producción.

Figura 29. Sellado de fugas



Fuente: Autores

Figura 30. Sellado de fugas



Fuente: Autores

❖ Teniendo en cuenta el escape del biodigestor, el gran volumen de las canecas y la masa de residuos orgánicos fue más difícil el control del sistema, por lo cual se decidió realizar de nuevo el montaje para corregir las anomalías presentadas y evitar efectos perjudiciales sobre la producción del biogás. Adicionalmente se opto por instalar equipos para medir parámetros como la presión y temperatura interna

y externa para contar con más variables que puedan describir las condiciones de los biodigestores.

## BIBLIOGRAFIA


ANZOLA, Medila del Pilar. Actividad metanogénica especifica (AME) de un lodo anaerobio bajo diferentes condiciones de oxigenación en un reactor anaerobio – aerobio de lecho fijo, operado de modo continuo, con recirculación de la fase liquida, aplicado al tratamiento de aguas residuales domesticas. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

CARDONA, Carlos Ariel, *et al.* Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. En: Revista colombiana de biotecnología. Diciembre, 2004. vol. VI no. 2, p. 78-89.

CASTILLO, Edgar Fernando; CRISTANCHO Diego Edison y ARELLANO, Víctor. Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista colombiana de biotecnología. Diciembre, 2003. vol. II, p. 11-22

CHERNICHARO, Cal. Principio do tratamiento biológico de aguas residuárias: reactores anaerobios. ed. Brasil: Departamento de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Universidad Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 1997. vol. 5 Cap. 3.

COLLAZOS, Héctor. Residuos sólidos. Bogotá D.C.: Acodal, 1998. 3-8, 170 p.

COLLAZOS, Héctor. Diseño y operación de rellenos sanitarios. Bogotá D.C.: Acodal, 2001. 35-40 p.

COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA. La biodigestión como tecnología de aprovechamiento de residuos y de generación de energía limpia. Boletín trimestral, n. 17, Julio – Septiembre, 2003.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTA DAMA. Contrato PNUD (col/96/23) consorcio NAM Ltda.-VELZEA Ltda. Proyecto de gestión de los residuos orgánicos en las plazas de mercado de Santa Fe de Bogotá D.C. Informe no. 5. Factibilidad técnica y económica de las alternativas. Bogotá D.C. 97 p.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTA DAMA. Resolución 1074 (28, octubre, 1997). Por la cual se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos. Bogotá: Dama, 1997.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 (26, junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá D.E.: El Ministerio, 1984.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIA. DECRETO 1505 (4, JUNIO, 2003). PGIRS. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2003.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. DECRETO 3440 (21, OCTUBRE, 2004). Por el cual se modifica el

Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2004.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. RESOLUCION 1096 (17, NOVIEMBRE, 2000). Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, 2000. Sección II. Título F. Sistemas de aseo urbano. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2000.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Actuaciones en infraestructuras para la gestión de residuos sólidos urbanos. ed. Bogotá D.C.: Centro de publicaciones secretaria general técnica, 1996. 11–12 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 3075 (23, diciembre, 1997). Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979. Bogotá D.C.: El Ministerio, 1997.

CUERVO, Andrés; CARDOZO Ruby y PIÑEROS Natalia. Dimensionamiento de un biodigestor para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en la central de mercado Plaza Kennedy en Bogotá. Trabajo de grado Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Manuela Beltrán. Facultad de Ingeniería., 2007.

Disponible en Internet: <http://biodigestores.org/>

Disponible en Internet: <http://209.85.207.104/search?q=cache:6-5-ATIsYI4J:www.mantra.com.ar/contenido/zona1/frame_recicle.html+residuos+organicos&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co>

Disponible en Internet: <http://www.uesp.gov.co/paginas.aspx?cat_id=34&pub_id=18&pag=6>

Disponible en Internet: <http://biodigestores.org/, November 04th, 2007>

Disponible en Internet: www.horizonteverde.org.co/biodigestores.htm - 32k

Disponible en Internet: <www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2006/05/22/152178.php - 42k>

Disponible en Internet: <www.epa.gov/oecaagct/ag101/impacts.html - 19k>

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. El maravilloso mundo del abono orgánico. 3 ed. Gerencia de producción y desarrollo, 1993.

LOPEZ, Germán. Biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. En: Revista Tecnura. Diciembre, 2003. vol 7, no. 13, p. 31-41, 151.

MANAHAN, Stanley E. Introducción a la química ambiental. ed. México: Reverté Ediciones, 1999.

MENDEZ, Roger Iván, *et al.* Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario. En: Ingeniería revista académica. Mayo – Agosto, 2002. vol 6, no. 002, p. 7-11

MESA, José y MESA Osman. Biodigestores. ed. Bogotá D.C.: Fundación para la biodiversidad, 1999. (Colección Agropecuaria)

ROMERO, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingenieros, 1999.

SECRETARIA DE GOBIERNO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Norma Oficial Mexicana. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Selección y Cuantificación de Subproductos. NOM-AA-22-1985.

SECRETARIA DE GOBIERNO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Norma Oficial Mexicana. Protección al Ambiente-Contaminación del suelo - Residuos sólidos Municipales - Peso volumétrico "IN SITU". NOM-AA-19.

SECRETARIA DE GOBIERNO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Norma Oficial Mexicana. Protección al Ambiente-Contaminación del suelo - residuos sólidos Municipales-Generación. NOM-AA-61.

SECRETARIA DE GOBIERNO Y FOMENTO INDUSTRIAL. Norma Oficial Mexicana. Protección al Ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos-Terminología. NOM-AA-91.

SEMINARIO SOBRE APROVECHAMIENTO Y MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS. (5, mayo, 2004, Manizales, Colombia). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004.

SILVESTRE, Ángela. Una mirada crítica al plan maestro para el manejo integral de residuos sólidos en Bogotá. ed. Bochica Ltda, 2004. 166 – 178 p.

TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994. vol. 1 p. 407– 421, 100-111.

TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. ed. Bogotá D.C.: Mc Graw- Hill, 1994. vol. 2, p. 757-767.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Estudio Determinación del consumo final de energía en los sectores residencial urbanos y comercial y determinación de consumo para equipos domésticos de energía eléctrica y gas. Bogotá D.C., 2005.