



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

*Implementación de un sistema de
Biogásificación a micro-escala en el
tratamiento de cadáveres de ratas del
bioterio de la Facultad de Estudios
Superiores Zaragoza, UNAM.*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

BENITO DAVID MORÁN BAÑUELOS

DIRECTORA:

BIOL. MARIA DE LOS ÁNGELES GALVÁN VILLANUEVA



México D.F.

MAYO/2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A la memoria de aquellos que ya no están físicamente.

A mis padres: Santos y Rosa, por darme la vida y por todo su amor.

To the woman of my dreams, for all the beautiful and wonderful things you gave me.
Nimitz Tlazohtla.

To my little son, cause there is not a single day that I do not think about you.

AGRADECIMIENTOS:

A mis herman@s, mis cuñad@s y mis sobrinos, por estar aquí.

A mi querida Universidad, que me cambió la vida y que me ha dado tanto.

A mis asesores:

M. en C. Armando Cervantes, por ser parte angular en la planeación de este estudio, así como por su apreciable amistad.

M. en C. Germán Calva Vázquez, por sus siempre acertados consejos formativos y por su valiosa amistad.

Biol. Ma. de los Ángeles Galván Villanueva, por su apoyo académico y por ser un hermoso ser humano.

Q. Martha Trinidad J. Oliveros, por sus estimables recomendaciones en este trabajo.

Biol. Leticia López, por gran disposición y sus meritorias recomendaciones.

A la jefa del bioterio, M.V.Z Adriana Altamirano Bautista, por su gran apoyo.

Al Dr. Miguel Ángel Mejía, por su ayuda y consejos dentro del proyecto.

A mis profesores, compañeros y amigos, que hicieron de mi paso por la universidad un agradable y maravilloso momento.

A todos, GRACIAS.

*Diariamente tomamos las sagradas vidas de muchos animales,
ya sea por el conocimiento científico o
por el progreso de nuestra sociedad,
...¿Se los agradecemos?*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE
ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que el alumno **MORÁN BAÑUELOS BENITO DAVID**, con número de cuenta **9416206-6** de la carrera de Biología se le ha fijado el día **03** del mes de **JUNIO** de 2008 a las **16:00 hrs.** para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

- | | | |
|-------------------|---|--|
| PRESIDENTE | M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL | |
| VOCAL | BIOL. MA. DE LOS ÁNGELES GALVÁN VILLANUEVA | |
| SECRETARIO | M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ | |
| SUPLENTE | Q. MARTHA TRINIDAD JULIETA OLIVEROS GARCÍA | |
| SUPLENTE | BIOL. LETICIA LÓPEZ VICENTE | |

El título de la tesis que presenta es: **Implementación de un sistema de Biogasificación a micro-escala en el tratamiento de cadáveres de ratas del bioterio de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.**

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
México, D. F., a 23 de mayo de 2008

DIRECCIÓN
C.D. ALFREDO SALVADOR SÁNCHEZ FIGUEROA
DIRECTOR

RECIBI
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

GERMÁN CALVA VÁSQUEZ
JEFE DE CARRERA

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. JUSTIFICACIÓN	5
IV. ZONA DE ESTUDIO	6
4.1. MATERIAL BIOLÓGICO	7
V. HIPÓTESIS DE TRABAJO	8
5.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
VI. OBJETIVOS	9
6.1 OBJETIVOS GENERALES.	9
6.2 OBJETIVOS PARTICULARES	9
VII. MARCO REFERENCIAL	11
7.1 ¿QUÉ ES UN RESIDUO?.....	11
7.2 LOS RESIDUOS PELIGROSOS	13
7.2.1 <i>Los RPBI</i>	14
7.2.1.1 Agentes biológico-infecciosos.	14
7.2.2 <i>Clasificación de los RPBI</i>	15
7.2.3 <i>Clasificación de los establecimientos generadores de RPBI</i>	16
7.3 TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE RPBI.....	16
7.3.1 <i>Tratamientos térmicos</i>	17
7.3.1.1 Incineración.	17
7.3.1.2 Esterilización.	19
7.3.1.3 Deshidratación en estufa.	19
7.3.1.4. Desinfección por microondas.....	19
7.3.2 <i>Tratamientos químicos</i>	19
7.3.2.1 Encalado.	19
7.3.2.2 Desinfección con solución de hipoclorito de sodio.....	20
7.3.3 <i>Tratamientos biológicos aerobios</i>	20
7.3.3.1 Composta	20
7.3.3.2 Bioreactor aerobio.....	21
7.3.4 <i>Tratamientos anaerobios</i>	22
7.4 BIOGASIFICACIÓN.	22
7.4.1 <i>Definición</i>	22
7.4.2 <i>Etapas de la biogasificación</i>	23
7.4.2.1 Hidrólisis.	23

7.4.2.2 Acidogénesis.....	24
7.4.2.3 Acetogénesis.....	25
7.4.2.4 Metanogénesis.....	26
7.4.3 Factores ambientales que afectan la biogasificación.....	28
7.4.3.1 Temperatura.....	28
7.4.3.2 Tiempo de retención.....	29
7.4.3.3 Nutrimientos.....	29
7.4.3.4 Humedad.....	29
7.4.3.5 pH.....	29
7.4.3.6 Agitación.....	29
7.4.3.7 Distribución de gases en fases líquidas y gaseosas.....	30
7.4.4 Los productos de la biogasificación.....	30
7.4.4.1 Gas.....	31
7.4.4.2 Natas.....	32
7.4.4.3 Sobrenadante y líquidos en suspensión.....	32
7.4.4.4 Sólidos precipitados.....	33
7.5 ANTECEDENTES.....	33
VIII. MÉTODO.....	34
8.1 OBTENCIÓN DE LOS LODOS DE CANAL DE AGUAS RESIDUALES.....	34
8.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS BIOREACTORES.....	35
8.2.1 Preparación de los cadáveres.....	36
8.3 ARRANQUE DE LOS BIOREACTORES.....	38
8.4 EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LOS CADÁVERES.....	39
8.5 MEDICIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN EL SOBRENADANTE DE LOS BIOREACTORES.....	40
8.6 CUANTIFICACIÓN DE LA GENERACIÓN DE GAS.....	41
IX. RESULTADOS.....	42
9.1 DEGRADACIÓN DE LOS CADÁVERES.....	42
9.1.1 Temperatura en los reactores.....	42
9.1.2 Cambios en la composición de la materia orgánica.....	43
9.1.3 Comportamiento Ácido-Base.....	43
9.1.4 Fases no gaseosas resultantes de la digestión.....	44
9.1.5 SST y DBO.....	44
9.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LOS SOBRENADANTES EN LOS BIOREACTORES.....	45
9.3 PRODUCCIÓN DE GAS.....	45
9.2.1 Bioreactores con calentamiento inicial a 55°C.....	45
9.2.2 Bioreactores con calentamiento inicial a 35°C.....	47

9.2.3 <i>Bioreactores a temperatura ambiente</i>	49
X. ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
10.1 CADÁVERES DEGRADADOS.....	50
10.2 ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS.	51
10.3 PRODUCCIÓN DE GAS.....	52
XI. CONCLUSIONES	57
XII. RECOMENDACIONES	58
XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
XIV. GLOSARIO	63
XV. ANEXOS	65
ANEXO A	65
ANEXO B	67

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN DE LOS PRODUCTORES DE RPBI (NOM-ECOL-087-SSA1-2002).	16
CUADRO 2. CLASIFICACIÓN DE LAS BACTERIAS METANOGENÉICAS (BRITTON, 1998).	28
CUADRO 3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL METANO (DÍAZ, ET. AL., 1993).....	31
CUADRO 4. TABLA DE EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS DE BIOGAS CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA.	32
CUADRO 5. RÓTULOS DE LOS BIOREACTORES.	38
CUADRO 6. PORCENTAJE DE VOLÚMENES RESULTANTES DE LAS TRES PRINCIPALES FASES DE LA BIOGASIFICACIÓN EN LOS BIOREACTORES.	44
CUADRO 7. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SST Y DBO PARA LOS BIOREACTORES DE ACUERDO CON LAS TÉCNICAS DESCRITAS EN LAS NORMAS MEXICANAS NMX-AA-028-SCFI-2001 Y NMX-AA-034-SCFI-2001 PARA AGUAS TRATADAS (ANEXO B).	44
CUADRO 8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DE LOS BIOREACTORES DE ACUERDO CON LA TÉCNICA DESCRITA EN LA NORMA MEXICANA NMX-AA-42-1987 (ANEXO B).	45
CUADRO 9. TABLA DE ANDEVA PARA LA PRODUCCIÓN DE GAS (ML) EN BASE A LOS TRATAMIENTOS DE CALENTAMIENTO INICIAL EN LOS BIOREACTORES.	54
CUADRO 10. TABLA DE ANDEVA PARA LA PRODUCCIÓN DE GAS (ML) EN BASE A LOS TRATAMIENTOS DE INOCULACIÓN EN LOS BIOREACTORES.	55
CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA PRODUCCIÓN DE GAS - SUMA DE CUADRADOS DEL TIPO III (FACTORES CRUZADOS).	56
CUADRO 1A . AGENTES PATÓGENOS ENCONTRADOS EN RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y LODOS DE AGUAS RESIDUALES (SÁNCHEZ, ET. AL., 1996).....	65
CUADRO 2A . LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES ESTABLECIDAS POR LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996.	66
CUADRO 3A . LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REHÚSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO ESTABLECIDAS POR LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. INSTALACIONES DEL BIOTERIO DE LA F.E.S. ZARAGOZA, UNAM.	6
FIGURA 2. RATAS DE LA CEPA LONG EVANS.	7
FIGURA 3. CADÁVERES DE CERDOS DEPOSITADOS EN UN TIRADERO.....	12
FIGURA 4. RESIDUOS GENERADOS EN LOS PROCESOS DE EXTRACCIÓN, INDUSTRIALIZACIÓN Y CONSUMO (CORTINAS DE NAVA, 2006).....	13
FIGURA 5. ESQUEMA DE RUTAS DE INFECCIÓN POR AGENTES PATÓGENOS (TAMMEMAGI, 1999).....	15
FIGURA 6. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE RPBI.	17
FIGURA 7. PRINCIPALES PROCESOS DE LA BIOGASIFICACIÓN. EN ROJO, LOS PRODUCTOS QUE INHIBEN EL PROCESO AL AUMENTAR SU CONCENTRACIÓN (FLOTATS, 2005).....	23
FIGURA 8. FASES FORMADAS EN LA BIOGASIFICACIÓN (DÍAZ, 1993).....	30
FIGURA 9A. CANAL DE AGUAS RESIDUALES “CANAL DE LA COMPAÑÍA”.....	34
FIGURA 9B. OBTENCIÓN DE LA MEZCLA DE LÍQUIDOS Y LODOS DEL CANAL DE AGUAS RESIDUALES.....	34
FIGURA 10. DIAGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA UNIDAD DE BIOGASIFICACIÓN PARA LOS CADÁVERES DE RATAS.....	35
FIGURA 11. UNIDAD DE BIOGASIFICACIÓN PARA LOS CADÁVERES DE RATAS.	36
FIGURA 12A. CADÁVERES DE RATAS MACHOS DE LA CEPA LONG EVANS PROVENIENTES DEL BIOTERIO DE LA F.E.S. ZARAGOZA, UNAM, Y 12B.	37
FIGURA 12B. PESADO DE CADÁVERES.....	37
FIGURA 13A. MOLINO DE MANO USADO PARA LA TRITURACIÓN DE LOS CADÁVERES DE RATAS.	37
FIGURA 13B. INTRODUCCIÓN DE CADÁVERES EN UNA PILA DE DESHIDRATACIÓN EN LA F.E.S. ZARAGOZA, UNAM.	37
FIGURA 14. INSTALACIÓN DE LOS BIOREACTORES. CON ROTULO ROJO LOS REACTORES CON TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN INICIAL DE 55°C; EN AZUL AQUELLOS CON TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN INICIAL DE 35°C, Y EN VERDE, LOS CONSERVADOS A TEMPERATURA AMBIENTE.....	39
FIGURA 15. MEDICIÓN DE PH MEDIANTE TIRAS REACTIVAS.	39
FIGURA 16. MEDICIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE AGUA DEBIDO A LA PRODUCCIÓN DE GAS EN EL BIOREACTOR.....	41
FIGURA 17. GRÁFICA DE TEMPERATURAS PARA CADA UNO DE LOS BIOREACTORES CON RESPECTO A LOS DÍAS DE DIGESTIÓN. TODOS DE MANERA ASCENDENTE DEL FONDO AL FRENTE, EN ROJO, LOS BIOREACTORES 1 Y 2, EN AZUL, 3 Y 4, EN VERDE, 5 Y 6.	42
FIGURA 18A. APARIENCIA DE MATERIA ORGÁNICA EN EL REACTOR 1 EN EL PRIMER DÍA DE DIGESTIÓN.	43
FIGURA 18B. APARIENCIA DE MATERIA ORGÁNICA EN EL REACTOR 1 A LOS 40 DÍAS..	43
FIGURA 18C. APARIENCIA DE MATERIA ORGÁNICA EN EL REACTOR 1 A LOS 81 DÍAS..	43
FIGURA 19. COMBUSTIÓN DEL GAS PRODUCIDO EN LOS BIOREACTORES.....	46
FIGURA 20. GRÁFICA DE PRODUCCIÓN DE GAS DIARIA EN LOS REACTORES CON CALENTAMIENTO INICIAL A 55°C.	46
FIGURA 21. GRÁFICA DE PRODUCCIÓN DE GAS ACUMULADA EN LOS REACTORES CON CALENTAMIENTO INICIAL A 55°C.....	47
FIGURA 22. GRÁFICA DE PRODUCCIÓN DE GAS DIARIA EN LOS REACTORES CON TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN DE 35°C.	48
FIGURA 23. GRÁFICA DE PRODUCCIÓN DE GAS ACUMULADO EN LOS REACTORES CON TEMPERATURA DE ACTIVACIÓN DE 35°C.....	48
FIGURA 24. GRÁFICA DE PRODUCCIÓN DE GAS DIARIA EN LOS REACTORES CONSERVADOS A TEMPERATURA AMBIENTE.....	49
FIGURA 25. GRÁFICA DE PRODUCCIÓN DE GAS ACUMULADO EN LOS REACTORES CONSERVADOS A TEMPERATURA AMBIENTE.	49
FIGURA 26. VALORES DE SST Y DBO (mg/L) PARA LOS SEIS BIOREACTORES.....	50
FIGURA 27. GRÁFICA COMPARATIVA DE LOS VALORES DEL NMP/100mL DE COLIFORMES TOTALES EN CADA UNO DE LOS BIOREACTORES.	51
FIGURA 28. GRÁFICA COMPARATIVA DE PRODUCCIÓN DE GAS DIARIA EN LOS SEIS REACTORES.....	52
FIGURA 29. GRÁFICA COMPARATIVA DE PRODUCCIÓN DE GAS ACUMULADO EN LOS SEIS REACTORES. A LA DERECHA SE MUESTRAN LOS PROMEDIOS DE PRODUCCIÓN DIARIA PARA CADA BIOREACTOR POR KG DE CADÁVER POR DÍA.	53

FIGURA 30. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE UN ANÁLISIS DE VARIANZA CON UNA PRUEBA DE TUKEY PARA DIFERENCIA DE MEDIAS DE PRODUCCIÓN DE GAS ENTRE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE TEMPERATURA CON UN GRADO DE SIGNIFICACIÓN DEL 5%.	54
FIGURA 31. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE UN ANÁLISIS DE VARIANZA CON UNA PRUEBA DE TUKEY PARA DIFERENCIA DE MEDIAS DE LA PRODUCCIÓN DE GAS ENTRE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE INOCULACIÓN CON UN GRADO DE SIGNIFICACIÓN DEL 5%.	55
FIGURA 32. GRÁFICA DEL ANÁLISIS DE FACTORES CRUZADOS PARA LOS SEIS TRATAMIENTOS, DOS DE INOCULACIÓN Y TRES DE TEMPERATURA.	56

I. RESUMEN

Se implementó un sistema de digestión anaerobia a nivel de micro-escala en el tratamiento de cadáveres de ratas provenientes del bioterio de una institución académica y de investigación, con el objetivo de degradar los cadáveres, reducir su nivel de peligrosidad y generar un gas combustible aprovechable.

Seis reactores fueron construidos y sometidos a tres tratamientos de temperatura y dos de inoculación con lodos de aguas residuales. Los procesos de digestión oscilaron entre los 35 días de digestión para el más rápido y 81 días de digestión para los más lentos. El proceso se mantuvo en condiciones tendientes a una neutralidad ácido-base, y se obtuvieron mayores grados de degradación los cadáveres en los sistemas con calentamientos iniciales mayores a 35°C, lo cual fue corroborado con análisis de sólidos suspendidos totales (SST) y de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). A su vez se observó una clara separación de cuatro fases principales: natas, sobrenadantes, líquidos suspendidos y sólidos precipitados.

Con respecto a la eliminación de agentes patógenos, se obtuvieron niveles de número más probable de coliformes fecales en 100 mL más bajos a los niveles máximos permitidos por la norma oficial mexicana NOM-003-ECOL-1997. Dentro de los tratamientos, aquellos que contaron con inoculación de lodos de aguas residuales son más exitosos en la reducción de los coliformes totales.

Mediante los tratamientos que contaron con calentamiento inicial, se observó que estos generaron volúmenes de gas a los pocos días de digestión, dentro de los cuales, aquellos calentamientos iniciales, mostraron los valores significativamente más altos de producción de gas, obteniéndose valores de producción diaria de 4.79 L de gas por Kg de cadáver agregado por día para el menos productivo y de 25.98 L de gas para su contraparte más productiva.

II. INTRODUCCIÓN

Hace más de tres décadas, los gobiernos mundiales comenzaron a tener conciencia de los problemas globales (Tammemagi, 1999). Este interés derivó en un concepto llamado “desarrollo sustentable”, por el cual se entiende al proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras (LGEEPA, 1998).

Este interés fue apoyado por más de 50 líderes del mundo en la cumbre de la tierra en el año de 1992 (ONU, 2008). Lo anterior conllevó a que dichos gobiernos, entre ellos el de México, adoptaran ésta filosofía en sus marcos legales. Muestra de esto es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 1998), la cual tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer bases para garantizar los principios de este.

No obstante estas disposiciones, en México aun nos encontramos muy lejos de un ambiente de sustentabilidad. Ejemplo de ello es la situación actual de los residuos, la cual ha llegado a un estado de crisis debido a varios factores, entre ellos: El elevado índice de crecimiento demográfico del país, los hábitos de la población orientados al consumo de productos desechables, y la falta de responsabilidad de las industrias en el diseño de sus productos así como en el manejo de sus residuos (Tammemagi, 1999).

Esta crisis se caracteriza por un cambio significativo en la cantidad y composición de los residuos sólidos en el país. Muestra de ello es que la generación nacional de residuos sólidos aumentó de 300 gramos/habitante/día en la década de los cincuenta a un promedio de más de 853 g en 1998. Asimismo, la población se incrementó en el mismo periodo de 30 millones a más de 98 millones, llegando a la fecha una generación nacional estimada de 83,830 toneladas/diarias (SEDESOL, 1999).

En el año 1999 se estimó que en México se recolectaba únicamente el 83% del total de los residuos generados, mismos que representaban 69,600 toneladas, quedando dispersas diariamente 14,230 toneladas. Del total generado en el país, sólo poco más del 49% se depositaban en sitios controlados, esto es, 41,200 toneladas/día. Lo anterior conlleva a que 42,630 toneladas se disponían diariamente a cielo abierto en tiraderos no controlados o en tiraderos clandestinos (SEEM, 1999).

Incluidos en estos grupos se encuentran los residuos peligrosos, cuyas características los hacen potencialmente dañinos al medio ambiente y al ser humano, y que al existir una falta de información de su manejo y de su peligrosidad, se convierten en elementos de riesgo al ser depositados al aire libre o en sitios no controlados.

Un claro ejemplo de la peligrosidad derivada del manejo inadecuado de los residuos son los cadáveres de animales domésticos, que al ser depositados al aire libre forman focos de infección y mal olor, además de ser excelentes vectores para agentes biológico-infecciosos. Sólo en el municipio de Netzahualcóyotl, el segundo más poblado del país, en el año 2005 se mataban en promedio mil doscientos perros mensualmente por el departamento de control canino, que posteriormente eran enviados a fosas sépticas en el relleno sanitario local (Netzahualcóyotl, 2005). Sin embargo no en todos los municipios de la república se cuenta con infraestructura adecuada, sitios de disposición, personal capacitado para el manejo adecuado de éstos, y de información a la población acerca de esta problemática.

En este marco, las instituciones de investigación y docencia, al requerir de una gran cantidad de animales experimentales, no se encuentran exentas de la adopción de planes de manejo adecuados para los cadáveres derivados de éstos.

Ante éste y otros problemas, se ha planteado el manejo integral de los residuos, el cual incluye tanto la reutilización, disminución y la recuperación de materiales que actualmente presentan un mercado exitoso, donde se incluyen no sólo los residuos orgánicos, sino que también otros como es el papel, cartón, aluminio, así como metales y plásticos (DGEMNJ, 2005). De ahí que la utilización de estos recursos, adquiere alto valor positivo de significado ambiental, ya que se disminuyen los volúmenes en los sitios de disposición final, se ahorran fuentes materiales y energéticas, además esta recuperación adquiere un valor de orden económico (SEEM, 1999).

Aunado a este sentido de reaprovechamiento de residuos y a la inminente escasez de combustible fósil en el mundo, se ha motivado el desarrollo masivo de tecnologías fermentativas para la bioconversión de diversos subproductos orgánicos por medio de los cuales se pueda manejar residuos de este tipo y generar un combustible aprovechable (Desmond, 1981).

El presente trabajo se enmarca en este sentido de urgencia en la búsqueda de tecnologías sustentables para el manejo adecuado de los residuos, tomando como elemento de estudio a los cadáveres de animales generados en una institución educativa y de investigación, exponiéndolos a un tratamiento de biogasificación a nivel de micro-escala, con el fin de reducir costos de operación, los residuos resultantes del experimento, como son las natas, líquidos y sólidos precipitados, además de tener un control práctico del sistema.

Este trabajo se encuentra dividido en 3 grupos principales: El marco referencial, el diseño y la construcción de los bioreactores anaerobios, y los resultados del experimento.

En el marco referencial se da una breve explicación de los residuos, poniendo especial énfasis en los cadáveres de animales de laboratorio, los cuales fueron considerados como Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI), ya que al no ser tratados adecuadamente, pueden ser vectores idóneos para agentes infecciosos, convirtiéndose en focos de peligrosidad para el ser humano y el medioambiente. Posteriormente se describen brevemente los diferentes tratamientos para los RPBI, profundizando en la el tratamiento anaerobio de los residuos orgánicos, también conocido como biogasificación.

En el diseño y construcción de los bioreactores se describen las adaptaciones necesarias para la construcción de un bioreactor anaeróbico a nivel de micro-escala para el tratamiento de materia orgánica.

Finalmente, se muestran los resultados de: A) La degradación de los cadáveres, B) Los análisis microbiológicos y de calidad de agua de las fases líquida y sólida resultantes de cada bioreactor, en base a las Normas Oficiales Mexicanas en materia de aguas tratadas, y C) Los resultados de producción de gas de cada bioreactor.

III. JUSTIFICACIÓN

Las actuales tasas de generación de residuos conllevan importantes problemas de contaminación ambiental, para los cuales se requiere de métodos y tecnologías de manejo de estos que se enfoquen en su reutilización, de tal forma, que su impacto en el medio ambiente se disminuya en el mayor grado posible y a la vez se aproveche la potencialidad de ellos.

En el caso específico de los cadáveres de animales, al ser compuestos orgánicos, contienen componentes proteicos, lipídicos y ácidos grasos, que los hacen susceptibles a procesos biológicos que los puedan convertir en fertilizantes o combustibles aprovechables para el ser humano (Soria, *et. al.*, 2001).

En este sentido, los cadáveres de animales utilizados en los laboratorios de investigación y docencia de la F.E.S. Zaragoza pueden ser procesados por medio de una biogasificación, de tal manera que se reduzca su peligrosidad, ya que algunos de estos residuos pueden contener microorganismos patógenos capaces de producir enfermedades infecciosas (Soria, *et. al.*, 2001). A su vez, es de suma importancia desarrollar tratamientos alternativos para estos cadáveres, que dañen en el menor grado posible al medioambiente, y que vallan de la mano a la recuperación de recursos y energía; evitándose así el derroche de recursos con potencial energético.

IV. ZONA DE ESTUDIO

La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza es una institución académica y de investigación a nivel superior y de postgrado en las áreas químico-biológicas y de la salud, así como ingeniería, dependiente de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En esta se llevan a cabo las prácticas de docencia e investigación que involucran la utilización de ratas, ratones y conejos, anfibios reptiles y aves, como modelos experimentales. Dentro de estos, los organismos principales son ratas, ratones y conejos, lo cuales son proveídos por el bioterio de dicha institución, el cual reporta una generación mensual promedio de 89 kilogramos (Altamirano, 2008) (Figura 2).



Figura 1. Instalaciones del bioterio de la F.E.S. Zaragoza, UNAM.

De acuerdo con la premisa de este estudio se consideran a dichos cadáveres como RPBI, aunada a la producción de residuos hospitalarios provenientes de las clínicas de atención ciudadana, esta institución se clasificaría como un generador de segundo nivel de acuerdo con la NOM-ECOL-087-SSA1-2002.

4.1. Material Biológico

Las ratas usadas en los laboratorios de esta institución se desarrollaron a partir de su ancestro la rata café proveniente de Noruega. Algunas de las cepas usadas actualmente son Wistar (ratas alvinas) y Long-Evans (ratas moteadas de color negro y marrón). Dichas ratas pueden desarrollar enfermedades de humanos, como diabetes e hipertensión, diferentes estudios endocrinológicos, estudios nutricionales y toxicológicos, por lo cual se convierten en valiosos elementos en estos estudios de este tipo de enfermedades (Universidad de Milwaukee, 2005).

Los individuos adultos oscilan de los 300 a 500 gramos en machos, y de 200 a 400 gramos en hembras, con un promedio de vida de 2.5 a 3.5 años. En adultos se observa un consumo de agua de 24 a 60 mL y un consumo de alimento de 15 a 30 g día⁻¹. Alcanzan la madurez en un rango de los 65 a los 110 días, con un ciclo estral de 4 a 5 días, y una gestación de 20 a 22 días (Universidad de Milwaukee, 2005) (Figura 2).



Figura 2. Ratas de la cepa Long Evans.

A) Degradación de los cadáveres.

- Realizar mediciones periódicas de: temperatura, pH y producción de gas en cada uno de los sistemas.
- Registrar periódicamente los cambios físicos de la composición de los cadáveres.
- Realizar un análisis de Sólidos Suspendidos Totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno al terminar el proceso de digestión de acuerdo con las por las Normas Oficiales Mexicanas para aguas tratadas vigentes en materia de aguas tratadas.
- Cuantificar los volúmenes resultantes de sobrenadantes, líquidos suspendidos y lodos precipitados.

B) Eliminación de los microorganismos patógenos.

- Realizar un análisis microbiológico de los productos líquidos y sólidos de cada uno de los bioreactores una vez terminada la digestión, analizando sus parámetros de acuerdo con las mismas Normas Oficiales Mexicanas.

C) Cuantificación del gas generado.

- Registrar las fechas de inicio y fin de producción de gas en cada bioreactor
- Una vez observada la producción de gas, realizar mediciones diarias del volumen generado en cada bioreactor.
- Medir la cantidad en L de gas producido por Kg de cadáver por los días de digestión.
- Realizar un análisis estadístico de los datos de producción de gas para los diferentes tratamientos de inoculación y de temperatura de activación inicial.

V. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Al degradar los cadáveres de animales provenientes de los laboratorios de investigación y docencia de la F.E.S. Zaragoza mediante un proceso de biogasificación, se disminuirá su potencial de infección al eliminar los microorganismos patógenos que puedan encontrarse en ellos, y se generará un gas energético aprovechable.

5.1 Preguntas de investigación

En base a esta hipótesis, se plantearon las siguientes preguntas en tres rubros principales:

A) Degradación de los cadáveres.

- A.1 ¿Cómo se comportarán los bioreactores con respecto a la temperatura durante el desarrollo del experimento?
- A.2 ¿Cómo se comportará la materia orgánica dentro del sistema?
- A.3 ¿Cuál será el comportamiento ácido-base del sistema?
- A.4 ¿Cuáles son las características físicas de los productos resultantes de la biogasificación en estos sistemas, así como su volúmenes resultantes?

B) Eliminación de los microorganismos patógenos.

- B.1 Al final de la degradación, ¿cumplirán las fases líquida y sólida con los niveles máximos permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas vigentes en materia de aguas tratadas?

C) Cuantificación del gas generado.

- C.1 ¿En qué tiempo se apreciará la producción de metano?
- C.2 ¿Cuánto durará el proceso de biogasificación en cada uno de las unidades de digestión?
- C.3 ¿Qué cantidad de gas se producirá en cada unidad de digestión?
- C.4 ¿Existirán diferencias significativas en la producción de gas entre los diferentes tratamientos de temperatura e inoculación?

VI. OBJETIVOS

6.1 *Objetivos Generales.*

Diseñar y construir un sistema de biogasificación que degrade los cadáveres de animales provenientes de los laboratorios de investigación y docencia de la F.E.S. Zaragoza y elimine los microorganismos patógenos que pudieran estar contenidos en ellos, y además se genere un gas combustible aprovechable.

6.2 *Objetivos Particulares*

- Obtener lodos de un canal de aguas residuales, para usarlos como inóculo de bacterias anaerobias para los bioreactores.
- Diseñar y construir seis bioreactores estáticos para digerir de manera anaerobia los cadáveres de ratas provenientes del bioterio de la F.E.S. Zaragoza.
- Someter los bioreactores a los tratamientos de inoculación con lodos de aguas residuales y de temperatura de activación, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Tratamientos de inoculación con lodos de aguas residuales	Tratamientos de temperatura de activación.		
	55°C	35°C	Sin calentamiento inicial (a T. Ambiente)
Sin inóculo	REACTOR 1	REACTOR 3	REACTOR 5
Con inóculo	REACTOR 2	REACTOR 4	REACTOR 6

VII. MARCO REFERENCIAL

7.1 ¿Qué es un residuo?

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) se entiende como residuo *al material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de valorización o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final de acuerdo con lo dispuesto en dicha Ley y demás ordenamientos que de ella derivan* (LGPGIR, 2003).

Dentro del universo de los residuos, los residuos sólidos municipales (RSM) (Lichtinger, *et. al.*, 2001), también conocidos comúnmente como basura, se dividen en:

Residuos Orgánicos que son producto de la comercialización, transporte y elaboración de los alimentos, excedentes de comida, restos de material vegetal, papel, cartón, madera y en general materiales biodegradables.

Residuos Inorgánicos como, vidrio, plástico, metales y material inerte.

Los RSM provienen de actividades que se desarrollan en el ámbito doméstico, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones y establecimientos comerciales y de servicios, así como de residuos industriales que no se deriven de sus procesos.

El efecto ambiental más evidente de un manejo inadecuado de estos RSM lo constituye el deterioro estético de las ciudades, del paisaje natural urbano y rural, y la consecuente devaluación de los predios donde se localizan los tiraderos como de las áreas vecinas. Sin embargo, la contaminación es uno de los efectos ambientales más serios ocasionados por el vertimiento directo de estos residuos, así como por la infiltración en el suelo de lixiviados provenientes de estos.

La generación resultante de la descomposición de los residuos orgánicos representa no sólo un factor de riesgo en función de su toxicidad y de su explosividad en ciertas condiciones, sino que también aporta cantidades importantes de gases que contribuyen al efecto invernadero, entre los que se encuentran el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), que además de estar dentro de los principales gases que producen este efecto, también afectan directamente al suelo y a los cuerpos de agua (Lichtinger, *et. al.*, 2001).

El depósito de los RSM en arroyos y canales o su abandono en las vías públicas, puede causar la proliferación de fauna nociva transmisora de enfermedades, y durante la época de lluvia estos obstruyen el drenaje y alcantarillado, generando inundaciones y ocasionando con ello daños a bienes materiales (Figura 3) (Lichtinger, *et. al.*, 2001).



Figura 3. Cadáveres de cerdos depositados en un tiradero.

Los RSM son considerados hoy en día por la Organización para la Cooperación Ambiental y el Desarrollo Económico (OCDE), como lo que podría ser la punta del “iceberg”, formada por los productos de consumo que se desechan en altos volúmenes, pero debajo de los cuales se encuentran, en primer término, los residuos que se generan de las actividades industriales que transforman las materias primas en tales productos de consumo, y en segundo, los voluminosos residuos producidos por las actividades extractivas de materias primas (minerales, petróleo y sus derivados, generación de productos maderables, etc.), los cuales constituyen los que se denomina como residuos enmascarados (Figura 4) (Cortinas de Nava, 2006).

Este “iceberg”, representa dos problemas críticos, el primero, el agotamiento de los recursos naturales que están siendo utilizados para generar los bienes de consumo, que aun cuando pueden volver a ser valorizados, se están desechando. El segundo, debido a la magnitud que alcanza la creciente generación de residuos, se empiezan a agotar los espacios disponibles para su disposición final. Aunado a esto se encuentra

el incremento en el volumen de los residuos de lenta degradación junto con la generación de residuos cuyas características intrínsecas les confieren cierta peligrosidad al ambiente (Lichtinger, *et. al.*, 2001).



Figura 4. Residuos generados en los procesos de extracción, industrialización y consumo (Cortinas de Nava, 2006).

7.2 Los residuos peligrosos.

Para identificar a aquellos residuos que poseen dichas características que les confieren peligrosidad debemos remitirnos a las clasificaciones establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas. Estas normas incluyen listados de residuos y fijan los límites de concentración de las sustancias contenidas en ellos, con base en los conocimientos científicos y las evidencias acerca de su peligrosidad y riesgo.

Para entender este concepto de peligrosidad es necesario definir dichos términos. La actual legislación define como riesgo a *la probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente o la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo y en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares* (LGPGIR, 2003).

Otro término importante a definir es el de vulnerabilidad, que se entiende, como *el conjunto de condiciones que limitan la capacidad de defensa o de amortiguamiento ante una situación de amenaza y confieren a las poblaciones humanas, ecosistemas y bienes, un alto grado de susceptibilidad a los efectos adversos que puede ocasionar el manejo de los materiales o residuos, que por sus volúmenes y características intrínsecas, sean capaces de provocar daños al ambiente* (LGPGIR, 2003).

La misma ley define como residuos peligrosos a *aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio* (LGPGIR, 2003).

7.2.1 Los RPBI

Dentro de estos residuos peligrosos, los RPBI son definidos por La Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-087-SSA1-2002, como *aquellos materiales generados en los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infecciosos y que puedan causar efectos nocivos a la salud y al ambiente.*

Del mismo modo, esta norma define como agente biológico-infeccioso a *cualquier organismo capaz de producir enfermedades cuando ésta se presenta en concentraciones suficientes (inoculo), en un ambiente propicio (supervivencia), en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada.*

7.2.1.1 Agentes biológico-infecciosos.

En general, el riesgo de un agente biológico infeccioso puede ser visto en dos sentidos: primero, si son consumidos por la población, pueden presentar un alto riesgo a la salud del consumidor y segundo, si no se lleva un adecuado manejo, desde su generación hasta su tratamiento, existe el riesgo de que al ser mezclados provoquen un daño inminente al entorno ecológico (Sánchez, *et. al.*, 1996).

Muchas de las enfermedades a las que se está expuesto ante un agente biológico infeccioso son de origen viral, aunque algunas otras pueden ser causadas por bacterias, hongos o protozoarios, los cuales encuentran un hábitat óptimo en los residuos, siendo éste el origen de que los vectores biológicos transmitan la enfermedad (Sánchez, *et. al.*, 1996). Muchos de estos agentes pueden escapar de los sitios de disposición final y viajar hacia aguas subterráneas, superficiales, y/o a través del aire hasta alcanzar a humanos, animales y plantas, como se muestra en la Figura 5.

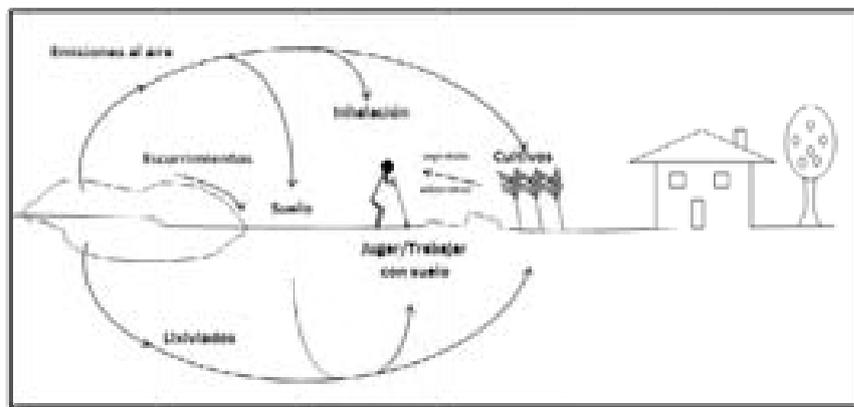


Figura 5. Esquema de rutas de infección por agentes patógenos (Tammemagi, 1999).

En el Cuadro 1A (Anexo A), se enlistan, de acuerdo con Sánchez y colaboradores (1996), algunos de los agentes patógenos más comunes encontrados en residuos sólidos municipales y en lodos de aguas residuales, así como las enfermedades relacionadas con estos.

7.2.2 Clasificación de los RPBI.

A modo de guía para el reconocimiento de aquellos residuos que se deben considerar como RPBI la NOM-ECOL-087-SSA1-2002 enlistan los siguientes: La sangre, los cultivos y cepas de agentes biológico infecciosos, los utensilios y los objetos punzocortantes.

Además de estos, se citan a los patológicos, que son: *Los tejidos, órganos y partes que se extirpan o remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica, que no se encuentren en formol*; las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico e histológico, excluyendo orina y excremento; los cadáveres y partes de animales que fueron inoculados con agentes enteropatógenos en centros de investigación y bioterios.

En este sentido se presenta una cierta ambigüedad en esta norma, esto se debe a que teniendo en cuenta la definición de agente biológico-infeccioso, se podría concluir que los cadáveres y partes de animales provenientes de laboratorios de investigación y bioterios, aún sin haber sido inoculados con agentes enteropatógenos, pueden ser excelentes vectores para agentes biológico-infecciosos, lo que los convertiría en RPBI.

En el presente estudio se tomó la decisión de considerar a los cadáveres de animales como RPBI, aún cuando estos no han sido inoculados con agentes enteropatógenos.

7.2.3 Clasificación de los establecimientos generadores de RPBI.

A modo de establecer los lineamientos a seguir en el manejo de los RPBI, la NOM-ECOL-087-SSA-2002 clasifica a sus generadores en tres niveles, los cuales se definen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de los productores de RPBI (NOM-ECOL-087-SSA1-2002).

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
Unidades hospitalarias de 1 a 5 camas e instituciones de investigación con excepción de los señalados en el Nivel III. Laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis de 1 a 50 muestras al día. Unidades hospitalarias psiquiátricas. Centros de toma de muestras para análisis clínicos.	Unidades hospitalarias de 6 hasta 60 camas. Laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis de 51 a 200 muestras al día. Bioterios que se dediquen a la investigación con agentes biológico-infecciosos, o establecimientos que generen de 25 a 100 kg. Al mes de RPBI	Unidades hospitalarias de más de 60 camas. Centros de producción e investigación experimental en enfermedades infecciosas; Laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis de más de 200 muestras al día, o establecimientos que generen más de 100 kg. al mes de RPBI.

7.3 Técnicas para el manejo de RPBI.

De acuerdo con la misma norma los RPBI deben ser tratados por métodos físicos o químicos que garanticen la eliminación de microorganismos patógenos y deben hacerse irreconocibles para su disposición final en los sitios autorizados.

Entre los métodos para el tratamiento de los residuos en general, se pueden mencionar tres principales grupos: Tratamientos térmicos, tratamientos químicos y tratamientos biológicos.

En la Figura 6 se muestran los métodos más comunes para el tratamiento de los RPBI, los cuales se describirán con mayor detalle a continuación, con el fin de conocer sus principales ventajas y aplicaciones.

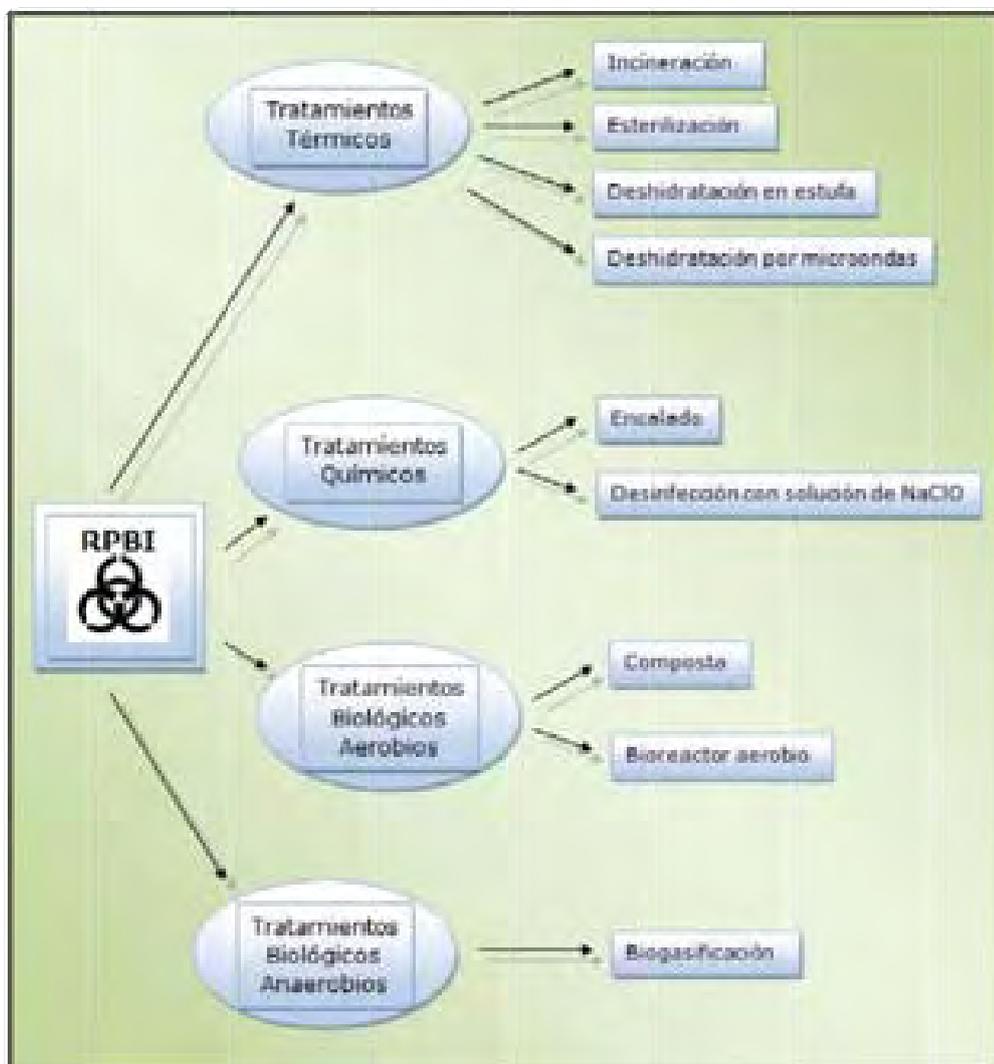


Figura 6. Métodos de tratamiento de RPBI (Modificado de MSGP, 1998; Galván y Moya, 2004).

7.3.1 Tratamientos térmicos.

7.3.1.1 Incineración.

La incineración es la combustión o reacción química entre residuos combustibles y aire, en la cual el principal propósito es la destrucción y reducción, en tamaño y masa, del material combustible. Además, puede tener el propósito de esterilización o destrucción de residuos patológicos o peligrosos (Noriega, 1995). Los gases generados son emitidos a la atmósfera previa limpieza de gases y los residuos sólidos son depositados en un relleno de seguridad (Tammemagi, 1999).

De acuerdo con Noriega (1995) los incineradores de RPBI deben de contar con cámaras múltiples de combustión, ya que la emisión de olores es potencialmente muy alta debido al alto contenido de humedad que poseen dichos residuos. Además, menciona que los principales contaminantes emitidos por dichos incineradores son:

Gases Ácidos: Ácido clorhídrico (HCL), el cual puede llegar a varios miles de partes por millón. Emisiones de bióxido de azufre (SO₂) que puede alcanzar valores de 50 ppm. Óxidos de nitrógeno (NOx) con valores de hasta 200 ppm, cuyas emisiones se pueden regular o disminuir. No obstante, dichas modificaciones pueden ocasionar altas producciones de dioxinas y furanos.

Compuestos Orgánicos Tóxicos: Las dioxinas denotan a un gran número de compuestos con estructura molecular de dos anillos de benceno unidos por dos átomos de oxígeno. Los furanos denotan a una clase cercana de compuestos con una estructura molecular que consiste de un par de anillos de benceno unidos por un átomo de oxígeno y por una unión directa entre los anillos. De acuerdo con la Environmental Protection Agency (2008), las dioxinas y los furanos son compuestos altamente tóxicos, activos fisiológicamente en dosis extremadamente pequeñas; persistentes en el medio ambiente; bioacumulables en los tejidos grasos de los organismos y además se biomagnifican, esto significa que aumentan su concentración progresivamente a lo largo de las cadenas alimenticias. Por su persistencia pueden viajar grandes distancias siendo arrastrados por las corrientes atmosféricas, marinas o de agua dulce, y mediante la migración a larga distancia de los organismos que los han bioacumulado.

Los efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana han sido estudiados extensamente desde el siglo pasado, y en especial aquellos relacionados con la incineración de residuos peligrosos, debido a que la inhalación de los subproductos, es una de las principales rutas de exposición a dichos contaminantes. Además de esto existe una gran cantidad de estudios sobre los efectos en la salud de los principales grupos de emisión provenientes de la incineración de residuos peligrosos (Roberts, *et. al.*, 1999). Entre los efectos más relevantes están:

- Irritación de membranas mucosas y de los órganos respiratorios.
- Inflamación de ojos, nariz y garganta.
- Bronco-constricción.
- Disminución de la función pulmonar.
- Incremento en la susceptibilidad de infecciones respiratorias.
- Aumento en los niveles de mortandad por: Asma, enfermedades crónico-respiratorias, bronquitis crónica y cáncer pulmonar.

7.3.1.2 Esterilización.

La esterilización es un proceso que utiliza vapor saturado a presión en una cámara, también conocida como autoclave, dentro de la cual se someten los residuos sólidos a altas temperatura con la finalidad de destruir los agentes patógenos que están presentes en los residuos. La temperatura y el tiempo son los parámetros fundamentales para la eficacia de este tratamiento. Las temperaturas de operación deben estar entre 135 a 137° C, por un tiempo de 30 minutos como mínimo (MSGP, 1998).

7.3.1.3 Deshidratación en estufa.

La deshidratación en estufa consiste en el sometimiento de los residuos orgánicos a una temperatura controlada, comúnmente en una estufa, la cual está previamente calibrada a una temperatura a la cual el organismo pierda toda su humedad, sin dañar materia como el tejido muscular y huesos, ya que pueden ser recursos aprovechables en la elaboración de productos, considerando desde luego que estos no contengan sustancias tóxicas. A este respecto Galván y Moya (2004) reportan el empleo una estufa MAPSA EC-334 a una temperatura 45-50° C para el tratamiento de cadáveres de ratones, con la cual se observa un porcentaje de deshidratación del 24-30%, en un periodo de entre 31 a 97 días.

7.3.1.4. Desinfección por microondas.

En la desinfección por microondas se aplica una radiación electromagnética de corta longitud de onda a una frecuencia característica. La energía irradiada a dicha frecuencia afecta exclusivamente a las moléculas de agua que contiene la materia orgánica, provocando cambio en sus niveles de energía, manifestados a través de oscilaciones a alta frecuencia, las moléculas de agua al chocar entre sí friccionan y producen calor elevando la temperatura del agua contenida en la materia, causando la desinfección de los desechos (MSGP, 1998).

7.3.2 Tratamientos químicos.

7.3.2.1 Encalado.

La desecación con cal, es un proceso que requiere el uso de carbonato de calcio como agente desecante en el tratamiento de cadáveres de animales experimentales dispuestos en un reactor. La cal, absorbe una gran cantidad de agua propia del organismo, permitiendo dejar solamente el tejido muscular y los huesos, siempre y cuando el tiempo de desecado sea el adecuado. Las ventajas que ofrece este proceso es el absorber la humedad, lo que también permite dar un uso posterior al organismo desecado. Sin embargo, el principal

inconveniente radica en la gran cantidad de tiempo necesario para desecar los organismos, aunado a que cuando el tiempo de desecado lleva a la pérdida de tejidos musculares susceptibles a reutilización (Galván y Moya, 2004).

Para el caso específico de los cadáveres de animales de laboratorio, Galván y Moya (2004) reportan el uso de contenedores de cristal individuales para evitar escurrimientos de los líquidos corporales de los cadáveres, y una relación 1:1.5 de peso del cadáver/peso desecante que muestra una mayor eficiencia de deshidratación. Según trabajos previos del mismo autor, dicha proporción ampliamente recomendada, siempre que se procure que el desecante esté en contacto y cubra totalmente los organismos.

7.3.2.2 Desinfección con solución de hipoclorito de sodio.

Con este tratamiento, normalmente se tratan los desechos líquidos, sin embargo, pueden tratarse los residuos sólidos. El proceso consiste en sumergir los residuos sólidos en una solución química, esta puede ser cloro al 15%. Los residuos estarán en contacto con la solución por un tiempo aproximado de 20 minutos, luego estos serán escurridos antes de colocarlos en una fosa para su enterramiento. La solución química restante podrá ser eliminada en la red pública o en la misma poza donde se han enterrado los desechos (Perú, 1998).

7.3.3 Tratamientos biológicos aerobios.

Los residuos orgánicos son altamente útiles al ser usados por tratamientos biológicos aerobios. Dichos procesos conllevan una reacción básica (Bradshaw, *et. al.*, 1992):



El tratamiento aeróbico más común para residuos es el compostaje o también llamado composta. Sin embargo se han desarrollado algunas otras técnicas, que si bien conllevan el mismo fundamento, tienen aplicaciones para residuos específicos, como es el caso de los reactores aerobios.

7.3.3.1 Composta.

El compostaje es la descomposición biológica de residuos compuestos de sustancias orgánicas, de origen vegetal o animal en condiciones controladas a un estado libre de olor, lo suficientemente estable para su uso y almacenamiento (Díaz, *et. al.*, 1993).

De acuerdo con Díaz y colaboradores (1993), dicho proceso tiene muchas ventajas y algunas limitaciones en comparación con los procesos no biológicos, dos de las principales ventajas son el bajo uso de equipo para su operación y los mínimos impactos desfavorables en el medioambiente. Dentro de sus desventajas se encuentran la lentitud de la degradación y la falta de predictibilidad del sistema. Sin embargo, si las condiciones son conocidas y la capacidad del diseño no se excede, entonces el proceso progresará de acuerdo con las predicciones.

Además, Velazco y Volke (2003) mencionan la utilización de composta como una estrategia de bioremediación de suelos contaminados es altamente útil, debido a que los contaminantes son degradados por la microflora activa dentro de la mezcla. Dicha utilización es idónea para el tratamiento de suelos y sedimentos contaminados por compuestos orgánicos biodegradables, habiéndose usado con éxito en la remediación de suelos contaminados por pentaclorofenol, gasolinas, hidrocarburos totales de petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, y en la reducción de toxicidad de explosivos.

Específicamente para cadáveres, Galván y Moya (2004) reportan la deshidratación en pilas de composta de cadáveres de ratas de la cepa Long Evans en estado adulto. En dicho método, los cadáveres son introducidos al observar una temperatura constante aproximada de 45°C por lapso de una semana en una pila de compostaje de 2 metros de largo por 1 metro de ancho y 1.5 metros de alto, la cual es preparada con una mezcla de aserrín, pasto seco y pasto fresco en una proporción 1:1:1. Obteniendo valores de deshidratación que van desde el 2 % en un solo día, hasta el 98 % en 68 días para cadáveres de neonatos y de 78% en 60 días para cadáveres de animales juveniles y adultos; observando un porcentaje promedio de deshidratación de 83 % en 47 días.

Adicionalmente, dichos autores muestran que la adición de gallinaza en una relación 1 parte de esta por 3 partes de mezcla de aserrín-pasto, proporciona un aumento significativo en la temperatura de las pilas, debido al aporte de fauna encargada de la degradación de los materiales contenida en la gallinaza.

7.3.3.2 Bioreactor aerobio.

Fundamentalmente, un reactor aerobio se basa en los mismos principios que las pilas de compostaje, sin embargo, este posee una mayor maniobrabilidad al estar compuesto por un recipiente dotado de aireación. Galván y Moya (2004) reportan el uso de este tipo de reactores, así como el de las pilas de compostaje mencionadas anteriormente, para en el tratamiento de cadáveres de de ratas de la cepa Long Evans en estado adulto, obteniendo valores máximos de deshidratación de un 80% a los 60 días.

7.3.4 Tratamientos anaerobios.

El principal tratamiento anaerobio utilizado para el manejo de residuos es la biogasificación, también conocido como digestión anaerobia. Dicho proceso, como su nombre lo dice, implica la ausencia de oxígeno para llevarse a cabo (Boquedano y Young, 1979).

7.4 Biogasificación.

La biogasificación es un método que ha atraído la atención en muchos países debido a que además de servir para el tratamiento de residuos, éste también produce metano, un gas combustible con alto potencial de aprovechamiento para la sociedad actual, con lo cual dichos residuos se convierten en energía (Salminen y Rintala, 2002).

7.4.1 Definición

La biogasificación es la descomposición biológica de materia orgánica o de origen biológico bajo condiciones anaeróbicas, la cual es acompañada de la producción primaria de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), también conocida como digestión anaerobia. Según Britton (1998), la naturaleza microbiológica de la biogasificación no es algo nuevo ya que fue descubierta hace más de un siglo. Este proceso ha atraído la atención en el manejo de residuos debido a la producción de un gas energético aprovechable para el ser humano (Díaz, *et. al.*, 1993).

De acuerdo con Soria y colaboradores (2001), la biogasificación es capaz de reducir la contaminación ambiental, ya que las condiciones intrínsecas de dicho sistema, eliminan los microorganismos patógenos contenidos en dichos residuos.

Además, Desmond (1981) hace notar que el aprovechamiento por este y otros métodos biotecnológicos ofrece alternativas atractivas para resolver problemas económicos referentes a la producción de solventes y carburantes, como alcohol, acetona y metano, así como la producción de un fertilizante orgánico para el sector agrícola.

7.4.2 Etapas de la biogasificación

Puede considerarse de manera general que el proceso de la biogasificación ocurre en cuatro fases como se ilustra en la Figura 7. La hidrólisis, en la cual las moléculas complejas son descompuestas en sus monómeros constituyentes; la acidogénesis, en la cual se forman los ácidos; la acetogénesis, aquella en la que se produce el acetato; y la metanogénesis, en la cual se forma el metano, ya sea a partir del acetato o a partir del hidrógeno (Ostrem, 2004).

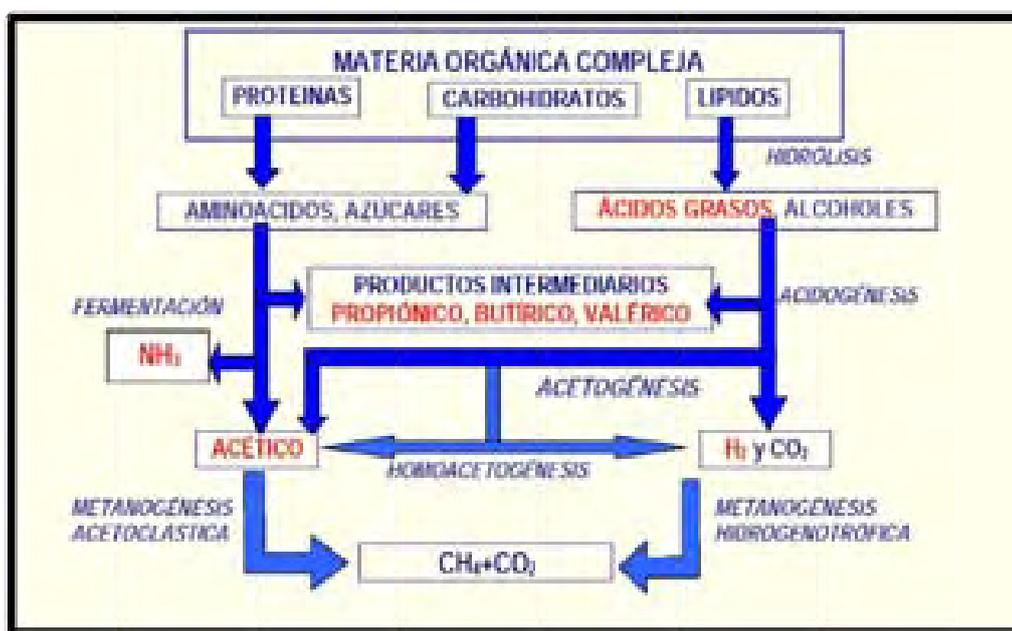


Figura 7. Principales procesos de la biogasificación. En rojo, los productos que inhiben el proceso al aumentar su concentración (Flotats, 2005).

En este proceso actúan una serie de microorganismos que en forma secuencial son: 1) bacterias hidrolíticas y fermentadoras; 2) bacterias acetogénicas, reductoras de protones de hidrógeno (sintróficas); 3) bacterias sulfato reductoras (sintróficas facultativas) consumidoras de hidrógeno; 4) bacterias homoacetogénicas; 5) bacterias metanogénicas; 6) bacterias desnitrificantes (Soria, *et. al.*, 2001).

7.4.2.1 Hidrólisis.

La hidrólisis es la fase de rompimiento de polímeros, los residuos orgánicos son descompuestos por un grupo de microorganismos facultativos que hidrolizan enzimáticamente los polímeros de los desechos sin tratamiento en monómeros solubles. Los monómeros se convierten en el sustrato para las etapas subsecuentes (Díaz, *et. al.*, 1993).

Las poblaciones activas de bacterias en esta fase son principalmente aquellas que tienen sistemas enzimáticos capaces de hidrolizar las moléculas complejas de las partículas intactas de residuo. Las moléculas al ser hidrolizadas son principalmente aquellas de carbohidratos. Otras en cantidades más pequeñas son las que contienen lípidos y proteínas. Los carbohidratos se presentan principalmente como celulosa y otros componentes de fibras provenientes de plantas, como lignina y hemi-celulosa. Las bacterias encargadas de hidrolizar estos compuestos son principalmente un grupo que posee capacidades enzimáticas celulíticas, lipolíticas y proteolíticas (Díaz, *et. al.*, 1993).

7.4.2.2 Acidogénesis.

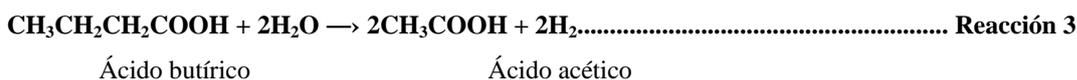
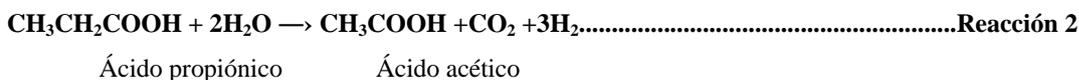
Los productos provenientes de la primera etapa son los estratos para los organismos formadores de ácido en la *fase ácida*. Ellos están convertidos en pequeñas cadenas de ácido, tales como acético, propiónico, valérico, y ácido láctico. De éstos, el más abundante es el acético, a su vez se produce algo de dióxido de carbono (Díaz, *et. al.*, 1993).

Las principales rutas metabólicas para la formación de los productos por medio de las bacterias acidógenas son la fermentación y la β -Oxidación. Como grupo, los formadores de ácido crecen vigorosamente y son muy tolerantes en términos de condiciones ambientales.

Los azúcares son por lo general, los sustratos más comunes para los microorganismos fermentadores, pero también pueden utilizar ácidos grasos, aminoácidos, purinas y pirimidinas de las que obtienen su energía mediante las reacciones de óxido-reducción (Díaz, *et. al.*, 1993).

Por otro lado, el proceso de la β -Oxidación es la remoción sucesiva de unidades de acético de los ácidos grasos de cadena larga. El primer paso en la reacción, es la activación de un ácido graso por un proceso de transformación, en el correspondiente tioéster CoA, un proceso que depende del adenosin-trifosfato (ATP). El ATP es el compuesto mediante el cual las bacterias acumulan la energía, obtenida de la degradación de los sustratos, y que posteriormente es utilizada para la síntesis de nuevas células (Díaz, *et. al.*, 1993). A su vez, la β Oxidación es el principal consumidor de electrones es el H_2 molecular. La remoción de electrones puede ocurrir, vía el mecanismo de la transferencia interespecífica de H_2 , de las bacterias acetógenas a las metanógenas reductoras de CO_2 en una relación sintrófica.

Los azúcares y aminoácidos son utilizados por los organismos fermentadores para producir acetato, CO_2 , hidrógeno y biomasa, mientras que los ácidos grasos superiores son convertidos en ácidos grasos



El equilibrio entre la oxidación del propionato, descarboxilación del acetato y oxidación del hidrógeno es crucial para tener un proceso de digestión anaerobia estable.

7.4.2.4 Metanogénesis.

En esta fase las bacterias metanogénicas convierten las pequeñas cadenas de ácidos grasos, CO₂, e H₂ en metano (CH₄) y dióxido de carbono.

El metano se puede producir de dos maneras: 1) Cuando los organismos involucrados rompen los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono, y 2) cuando se reduce dióxido de carbono a metano a través del uso de hidrógeno o formiato producido por otras bacterias. Los productos finales de la fase de metano son metano, dióxido de carbono, trazas de gases y un residuo estable (Díaz, *et. al.*, 1993).

Las bacterias metanogénicas crecen lentamente y son relativamente delicadas en sus requerimientos nutricionales y ambientales. Ellas pueden utilizar únicamente compuestos orgánicos como fuentes nutricionales, y consecuentemente, en la digestión de los residuos pueden ser dependientes de las actividades en las fases precedentes, así como del nitrógeno y el amonio producido en el rompimiento de los compuestos orgánicos en las primeras etapas (Díaz, *et. al.*, 1993).

La sensibilidad de las bacterias metanogénicas a los factores ambientales es más alta que en las bacterias acidogénicas. La diferencia es específicamente respecto a pH, presentando un rango de tolerancia de entre 6.5 y 7.5, siendo el valor óptimo 7.0; cuando el rango de tolerancia para las bacterias acidogénicas es de 4.5 a 8.0. Otra diferencia importante es la sensibilidad de las bacterias metanogénicas al oxígeno atmosférico,

el cual inhibe su crecimiento. Por otra parte, muchas de las bacterias acidogénicas son facultativamente anaerobios, esto significa que el O₂ no inhibe su crecimiento (Díaz, *et. al.*, 1993).

La biogasificación de la materia orgánica en el ambiente libera de 500 a 600 millones de toneladas de metano por año a la atmósfera y esto representa 0.5 de la materia orgánica derivada de la fotosíntesis (Britton, 1998).

La metanogénesis a partir de H₂ es extremadamente dependiente del pH, por lo que, la acumulación de H₂ a pH bajo (menores a 6.8) inhibe la oxidación anaerobia de los ácidos grasos de cadena larga.

El ácido propiónico por su parte es degradado a acético, CO₂ e H₂, en una reacción catalizada por un cultivo sintrófico, mientras que el ácido butírico es transformado probablemente de una manera similar que los ácido grasos caprónico, caprílico, valérico, heptánoico e isoheptánoico, usando hidrógeno como fuente de electrones y obteniéndose como producto 2 moléculas de ácido acético.

Las bacterias metanogénicas crecen naturalmente en sedimentos profundos o en el rumen de los herbívoros. Este grupo está compuesto por bacterias gram-positivo y gram-negativo con una amplia variedad de formas (Britton, 1998). Los microorganismos metanogénicos crecen lentamente en el agua residual y sus tiempos de generación oscilan de los 3 días a 35°C hasta los 50 días a 10°C y pueden ser divididas en dos subcategorías:

Hidrogenotróficas (por ejemplo: Quimiolitotróficas utilizadoras de hidrógeno) Son aquellas que convierten el hidrógeno y dióxido de carbono en metano (Reacción 5).



Las bacterias que utilizan el hidrógeno ayudan a mantener los bajos niveles de presión parcial, necesarias para la conversión de ácidos volátiles y alcoholes en acetato.

Acetotróficas. Son aquellas también llamadas acetoclásticas las cuales convierten el acetato en metano y dióxido de carbono (Reacción 6).



Las bacterias acetoclásticas crecen mucho más despacio (unos días) que las acidogénicas (unas horas). Este grupo está comprendido por dos principales géneros: *Methanosarcina* y *Methanotherix* (Britton, 1998).

Cerca de dos tercios del metano se derivan de la conversión de acetato por las bacterias acetotróficas. El otro tercio es el resultado de la reducción del dióxido de carbono por el hidrógeno (Britton, 1998).

Desde el punto de vista taxonómico, las bacterias metanogénicas pertenecen a un reino separado, el de las arqueobacterias. En este sentido, Britton (1998) propone una clasificación tentativa general de dichas bacterias (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de las bacterias metanogénicas (Britton, 1998).

ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIES
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	Methanobacterium	<i>M. formicicum</i>
			<i>M. bryantii</i>
			<i>M. thermoautotrophicum</i>
		Methanobrevibacter	<i>M. ruminantium</i>
			<i>M. arboriphilus</i>
			<i>M. smithii</i>
Methanococcales	Methanococcaceae	Methanococcus	<i>M. voltae</i>
		Methanomicrobium	<i>M. mobile</i>
		Methanomicrobiales	Methanomicrobiaceae
<i>M. marisnigri</i>			
Methanospirillum	<i>M. hungatei</i>		
	<i>M. narkeri</i>		
	Methanosarcinaceae		

7.4.3 Factores ambientales que afectan la biogasificación.

Para que las bacterias aseguren su ciclo biológico en el proceso de digestión anaerobia es necesario que se presenten en condiciones óptimas los siguientes factores:

7.4.3.1 Temperatura.

La temperatura influye directamente en la tasa de digestión, en cuyo caso se manifiesta por un aumento en el gas producido y los sólidos volátiles convertidos. Esto se debe a que los dos grupos principales

de bacterias completan su ciclo biológico en dos rangos de temperatura bien definidos (Díaz, *et. al.*, 1993). Las bacterias mesófilas completan su ciclo biológico en el ámbito de 25 a 40°C con una temperatura óptima de 35°C. Las bacterias termofílicas cumplen sus funciones en el ámbito de 50 a 60°C (Britton, 1998).

7.4.3.2 Tiempo de retención.

Es el tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos. Se ha observado que a un tiempo corto de retención se produce mayor cantidad de biogas, pero un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogás, pero con un efluente (residuo) más degradado y con excelentes características como fuente de nutrientes (Britton, 1998).

7.4.3.3 Nutrientes.

La relación óptima de C/N es de 30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdida de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad de material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a la falta de nitrógeno (Britton, 1998).

7.4.3.4 Humedad.

El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla a digerir es del 5 a 8% y se consigue al diluir el material orgánico con agua (Díaz, *et. al.*, 1993).

7.4.3.5 pH.

En digestores operados con estiércol de bovino, los valores óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (Díaz, *et. al.*, 1993).

7.4.3.6 Agitación.

La agitación sirve para dos funciones básicas: Primero, transporta los lodos sólidos desde el fondo de la unidad de biogasificación a la región rica en microorganismos donde el sustrato puede entrar a las células y transferir nutrientes y elementos traza a la pared celular; Segundo, la agitación remueve los residuos de las paredes celulares hacia la solución (Cook, 1987).

7.4.3.7 Distribución de gases en fases líquidas y gaseosas.

De acuerdo con Björnsson (2000), la transferencia de compuestos gaseosos producidos en la degradación anaeróbica es importante para el proceso de operación. La transferencia de la fase líquida a la fase gaseosa estará limitada por parámetros de diseño, como son el área para la interface líquido-gas, la frecuencia de agitación y la temperatura del líquido, el cual afecta la viscosidad y la tensión superficial. Del mismo modo, recalca que algunos de los gases afectados por el equilibrio son también dependientes del pH dado a que los gases se ionizarán en la solución, por ejemplo, CO_2 , H_2S y NH_3 . En cuanto a la fase gaseosa, las concentraciones de CH_4 , CO_2 , CO , y H_2 tienen, en muchos casos, una pobre correlación a la concentración actual en el líquido, lo cual significa que las concentraciones de los gases disueltos no pueden ser estimadas a partir del análisis de la fase gaseosa.

7.4.4 Los productos de la biogasificación.

Según Díaz y colaboradores (1993), existen cinco principales productos de biogasificación: Gas, nata, sobrenadante, lodos activos de la digestión y lodos estabilizados (Figura 8).

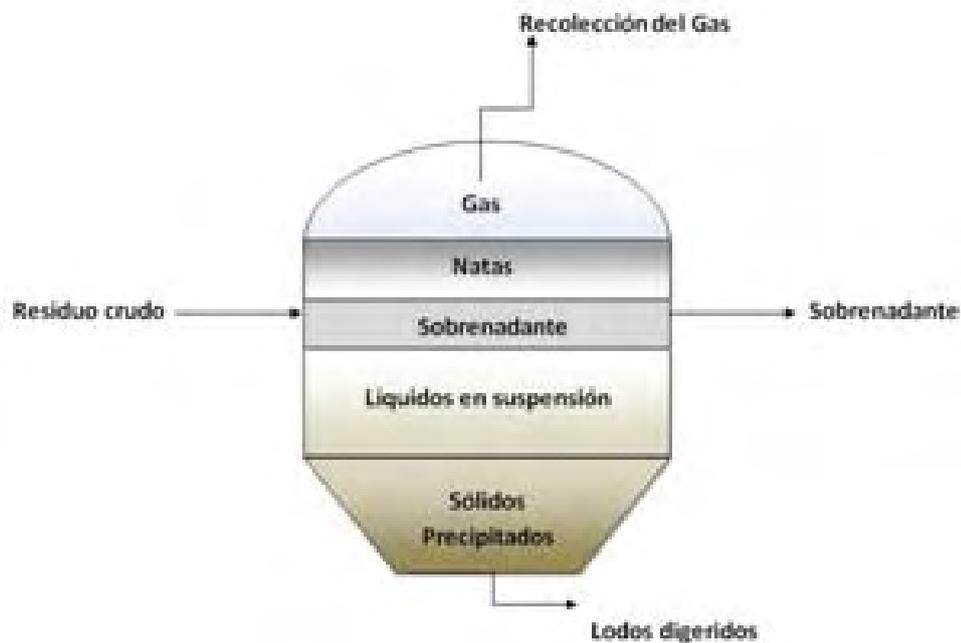


Figura 8. Fases formadas en la biogasificación (Díaz, 1993).

7.4.4.1 Gas.

Los mismos autores reportan que la mezcla de gases producidos por la biogasificación, que también son conocidos como biogás, está compuesta principalmente por metano (del 55 al 65%) y dióxido de carbono (del 34 a 44%) y que los gases restantes incluyen H₂S, N₂, y H₂O (Cuadro 3).

Dicho gas, tiene un potencial calórico de 500 a 700 Btu/pie², lo que lo convierte en un combustible útil para propósitos de calentamiento así como para su uso en motores de combustión interna. En cuyo caso es recomendable la separación del H₂S por su alto potencial corrosivo. Este último puede ser eliminado al pasar el gas a través de un filtro que contenga una esponja de hierro (Díaz, *et. al.*, 1993), donde un volumen de 30 cm³ de esponja es capaz de remover hasta 4 kg de azufre. Además, para reducir la humedad en la mezcla de gases y así aumentar el potencial calórico, Desmond (1981) recomienda circular el gas a través de cámaras de expansión ligeramente frías, así su utilidad como energía calorífica, mecánica o eléctrica, ya sea en el uso como fuente de calentamiento, su conversión por medio de un generador eléctrico, o su uso en motores de combustión interna.

Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas del Metano (Díaz, *et. al.*, 1993).

Formula química.	CH ₄
Peso molecular.	16.042
Punto de ebullición a 760 mm Hg.	-161.49°C
Punto de fusión a 760 mm Hg.	-182.48°C
Presión crítica.	47.363 kg/cm ²
Temperatura crítica.	-82.5°C
Gravedad específica.	
Líquido: - 164°C.	0.415
Gas: 25°C y 770 mm Hg.	0.000658
Volumen específico: 15.5°C y 760 mm Hg.	1.47 L/g
Valor calórico: 15.5°C y 760mm Hg.	38,130.71 kJ/m ³
Aire requerida para combustión m ³ / m ³	0.27 m ³
Límites de flamabilidad.	5 a15% por volumen
Escala de octanaje.	130
Temperatura de Ignición.	650°C
Ecuación de combustión.	CH ₄ + 2O ₂ → CO ₂ + 2H ₂ O
O ₂ /CH ₄ para la combustión completa.	3.98 por peso.
O ₂ /CH ₄ para la combustión completa.	2.0 por volumen.
CO ₂ /CH ₄ a partir de combustión completa.	2.74 por peso.
CO ₂ /CH ₄ a partir de combustión completa.	1.00 por volumen.

Según Kristoferson (1991), el biogás posee equivalencias energéticas mostradas en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Tabla de equivalencias energéticas de biogas con otras fuentes de energía.

APLICACIÓN	EQUIVALENCIA 1 m ³ DE BIOGAS
Iluminación	Bombilla de 60-100 watts por 6 horas
Reemplazo de combustible	0.7 L de Petróleo
Poder mecánico	Motor de un caballo de fuerza por 2 horas
Generación de electricidad	1.25 kilowatts por hora de electricidad

7.4.4.2 Natas.

La nata es la capa más superficial del sistema. Es principalmente una mezcla de materiales de baja densidad (como plumas, pelo, maderas o pajas) junto con algunos elementos inertes flotantes. Esta capa está también compuesta de una espuma consistente de burbujas del sobrenadante, donde dichas burbujas se disipan muy lentamente debido a la alta tensión superficial del sobrenadante. Estas capas disminuyen la eficiencia de la digestión debido a que capturan algunos elementos degradables de la zona de digestión (Díaz, *et. al.*, 1993).

7.4.4.3 Sobrenadante y líquidos en suspensión.

El sobrenadante y los líquidos en suspensión forman una fase con una alta concentración de partículas de dimensiones coloidales, las cuales pueden ser percibidas al haber una falta de agitación en el digestor. Esta suspensión está formada de células bacterianas y de sólidos disueltos y dicha mezcla a pesar de contar con una agitación natural que ocurre cuando las burbujas de gas ascienden es recomendable tener una constante agitación para promover un mayor contacto entre la materia orgánica y la colonia de bacterias (Cook, 1987).

La materia orgánica en el sobrenadante es altamente inestable, por consiguiente, los sobrenadantes no tratados no pueden ser dispuestos en el medioambiente sin tener un serio impacto desfavorable en este (Díaz, *et. al.*, 1993).

En el 2001 Soria y colaboradores reportaron que tanto los sobrenadantes como la fase líquida resultante de una biogasificación con estiércol porcino fueron altamente útiles en su aplicación directa al campo en forma líquida, debido a las convenientes cantidades de nitrógeno contenido en dichas fases. A su vez, Díaz y colaboradores (1993) recomiendan la aplicación de los lodos estabilizados siempre y cuando estos sean tratados mediante un proceso de compostaje previo.

7.4.4.4 Sólidos precipitados.

Los sólidos precipitados resultantes de la biogasificación dependen principalmente del tipo de residuo que se agregue al digestor, y por lo general está compuesto por aquellos elementos insolubles que no pudieron ser descompuestos durante la digestión.

7.5 Antecedentes.

En el año 2002 Salminen y Rintala reportan a la biogasificación como un método efectivo en la destrucción de agentes patógenos, haciendo notar que al usar proceso de biogasificación termofílico (50°C) se observó una completa erradicación de coliformes fecales y salmonella a diferencia del tratamiento mesofílico (35°C), en el cual estos mismos se redujeron sólo parcialmente. Además hacen notar que a pesar que algunos virus pueden tolerar condiciones anaeróbicas, por medio de este proceso se puede disminuir considerablemente su presencia en la materia a digerir.

En 1987, Cook recomienda el uso de lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales como elemento de inoculación de bacterias anaerobias para el proceso de biogasificación; usando una proporción de lodos del 10% del volumen total del bioreactor, con el fin de activar la degradación de la materia orgánica y obtener tiempos de degradación menores.

Con respecto a la utilización de cadáveres como fuente energética, el proceso de biogasificación no es una práctica muy común en comparación con el uso de excretas, en ranchos ganaderos, o de aguas residuales en plantas de tratamiento. Sin embargo, en el 2005, Flotats reporta el uso exitoso de subproductos cármicos en una planta de biogasificación.

En el 2005 Karim y colaboradores hacen mención de la utilización de residuos animales como fuente para un proceso de biogasificación, en el cual se observaron producciones entre los 0.4 a 0.45 litros de gas por litro de volumen de bioreactor por día.

VIII. MÉTODO

8.1 Obtención de los lodos de canal de aguas residuales.

El inóculo de lodos de aguas residuales se obtuvo el día 22 de marzo del 2007 del canal de aguas residuales “*Canal de la Compañía*”, en el tramo que colinda entre los municipios de Chimalhuacán y Nezahualcóyotl en el Estado de México; y cuyas coordenadas geográficas son 19°23'42.13” de Latitud Norte y 98°58'42.53” de Longitud Oeste (Figura 9a).

Ya en el sitio, se escogió una zona de escasa corriente donde se observó la presencia de burbujas de gas. Posteriormente se utilizó una garrocha, provista de un contenedor metálico en uno de los extremos, para la extracción de una mezcla de lodos y líquidos en un volumen aproximado de un litro. Dicha mezcla se vertió en un contenedor de plástico de 200 mL, evitando una excesiva agitación, según recomienda Cook en 1987, esto con el fin de minimizar la exposición del líquido al aire (Figura 9b).



Figura 9a. Canal de aguas residuales “*Canal de la Compañía*”.



Figura 9b. Obtención de la mezcla de líquidos y lodos del canal de aguas residuales.

8.2 Diseño y construcción de los bioreactores.

Se construyeron seis bioreactores, o unidades de biogasificación, de acuerdo con el diagrama mostrado en la Figura 10.

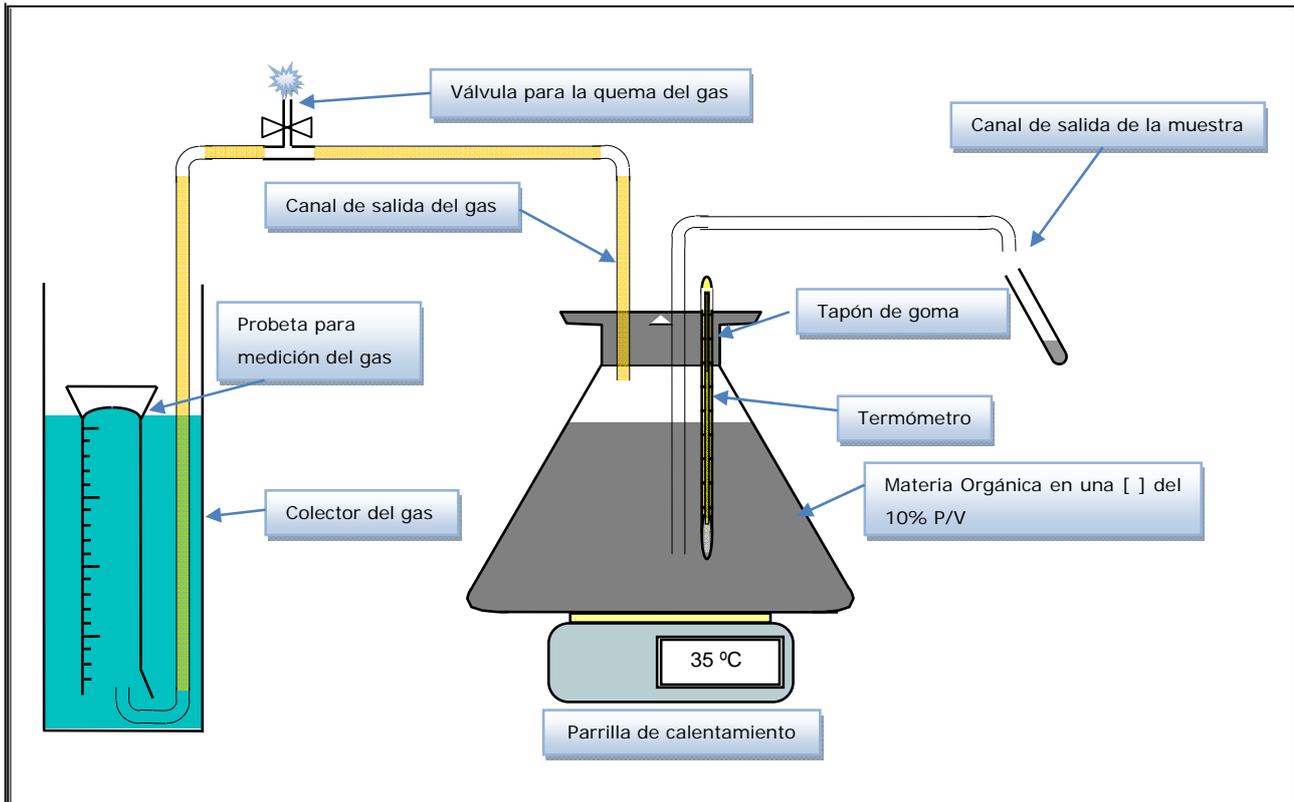


Figura 10. Diagrama de construcción de una unidad de biogasificación para los cadáveres de ratas.

Para tal fin, se usaron seis matraces *Kitazato* de una capacidad de 6 litros. En cada bioreactor se colocó un tapón de goma que sirvió de sello hermético para el sistema. En dicho tapón se instaló un termómetro de inmersión parcial con una graduación de -10 a 160 °C, y un canal de salida para la toma de muestras de líquidos, para el cual se utilizó un tubo de vidrio de 5 mm de diámetro conectado a una manguera.

En el vástago del matraz, se colocó una manguera para vacío de un diámetro de 1 cm, que sirvió de conducto de salida para el gas generado en sistema. A ésta se le insertó una “T” de cobre, que permitió instalar una válvula para la quema del gas y otro conducto para la medición del gas producido, cuyo extremo

se introdujo en una probeta de 250 mL que se encontraba sumergida en un contenedor lleno de agua (Figura 11).



Figura 11. Unidad de biogasificación para los cadáveres de ratas.

8.2.1 Preparación de los cadáveres.

Se tomaron 15 cadáveres de rata macho de la cepa Long Evans, los cuales eran usados como sementales y habían llegado a su ciclo de vida terminal. De dichos cadáveres se separaron 8, los cuales tenían un peso conjunto aproximado de 2.5 kg (Figuras 12a y 12b). Estos cadáveres fueron molidos a un tamaño de partícula aproximado de 5 mm en un molino de mano, con el fin de aumentar la superficie de contacto de los cadáveres con las bacterias del medio (Figura 13a). El resto de los cadáveres fue integrado a una de las pilas de deshidratación usadas en esta Institución (Figura 13b).



Figura 12a. Cadáveres de ratas machos de la cepa Long Evans provenientes del bioterio de la F.E.S. Zaragoza, UNAM, y 12b.

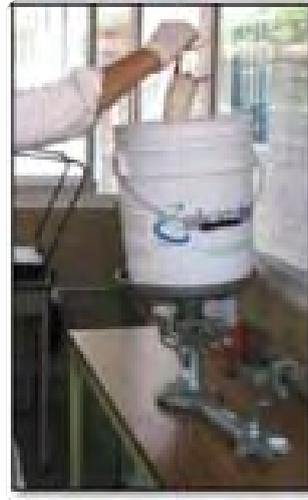


Figura 12b. Pesado de cadáveres.



Figura 13a. Molino de mano usado para la trituración de los cadáveres de ratas.



Figura 13b. Introducción de cadáveres en una pila de deshidratación en la F.E.S. Zaragoza, UNAM.

8.3 Arranque de los bioreactores.

Se prepararon 3 vasos de precipitados con 40 g de lodos provenientes del canal de aguas negras “Canal de la Compañía”.

A cada una de las seis unidades de biogasificación se les agregaron 4 L de agua del grifo y fueron rotulados de acuerdo con el Cuadro 5.

Cuadro 5. Rótulos de los bioreactores.

REACTOR 1	Calentamiento inicial a 55°C
REACTOR 2	Calentamiento inicial a 55°C con inóculo
REACTOR 3	Calentamiento inicial a 35°C
REACTOR 4	Calentamiento inicial a 35°C con inóculo
REACTOR 5	Temperatura Ambiente
REACTOR 6	Temperatura Ambiente con inóculo

Posteriormente, se agregaron 360 g del cadáver previamente molido y homogenizado, a los bioreactores con la etiqueta “con inóculo” (REACTORES 2, 4 y 6) conjuntamente con 40 g de lodos provenientes del canal de aguas negras “Canal de la Compañía”. A las tres unidades sin dicha etiqueta (REACTORES 1, 3 y 5), se les agregaron 400 g cadáver, sin la adición de inóculo.

Las unidades de digestión rotuladas como REACTOR 1 y REACTOR 2 se expusieron a un calentamiento inicial por tres horas a 55°C mediante el uso de parrillas de calentamiento del tipo THERMOLYNE modelo cimareq2 y CORNING modelo pc-320; del mismo modo, a aquellas con los rótulos REACTOR 3 y REACTOR 4 se sometieron a un calentamiento inicial durante tres horas a 35°C. Los REACTORES 5 y 6 no fueron sometidos a calentamiento inicial alguno. Todos fueron cubiertos con papel de aluminio para evitar la pérdida de calor en el sistema (Figura 14), y se abstuvo de medir la producción de gas durante los primeros cinco días de la digestión, con el fin permitir a las bacterias anaeróbicas facultativas consumir el oxígeno que estuviera contenido en el sistema (Cook, 1987).



Figura 14. Instalación de los bioreactores. Con rotulo rojo los reactores con temperatura de activación inicial de 55°C; en azul aquellos con temperatura de activación inicial de 35°C, y en verde, los conservados a temperatura ambiente.

8.4 Evaluación de la degradación de los cadáveres.

Con el objetivo de vigilar la degradación de los cadáveres, se realizaron mediciones diarias de temperatura en cada uno de los bioreactores. A su vez se realizaron mediciones de pH a cada bioreactor mediante el uso de tiras reactivas cada tres días (Figura 16).



Figura 15. Medición de pH mediante tiras reactivas.

Durante el proceso, se prestó atención a los cambios en la composición física de los cadáveres durante la digestión. Una vez terminada ésta, se tomaron muestras del sobrenadante y del líquido suspendido de cada bioreactor para ser enviadas a un laboratorio certificado por la Comisión Nacional del Agua para la medición del contenido de sólidos suspendidos totales (SST), y de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), en base a las siguientes normas mexicanas:

- La norma NMX-AA-028-SCFI-2001 para DBO, cuyo fundamento se basa en la medición de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C.
- La norma NMX-AA-034-SCFI-2001 para SST, que se fundamenta en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas, así como la cantidad de materia orgánica contenida en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra a temperaturas específicas, en donde los residuos se pesan y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

Consecutivamente, se realizaron mediciones volumétricas de las fases contenidas en los bioreactores: Sobrenadantes, líquidos suspendidos y precipitados.

8.5 Medición de microorganismos patógenos en el sobrenadante de los bioreactores.

Del mismo modo que los análisis de SST y DBO, los análisis para medir la eliminación de microorganismos patógenos en el sobrenadante y el líquido suspendido de los bioreactores, fueron enviados al laboratorio con certificación por la Comisión Nacional del Agua. Estos análisis se fundamentan en la cuantificación del número más probable (NMP) de organismos Coliformes Fecales (CF) y Coliformes Totales (CT), de acuerdo con la técnica descrita en la norma mexicana NMX-AA-42-1987.

Esta norma describe la técnica para la determinación de Coliformes Totales y Coliformes Fecales, la cual se basa en una filtración de alícuotas de la muestra a través de una membrana de ésteres de celulosa. Ésta última retiene los organismos colocados en una membrana compuesta, ya sea en un medio de cultivo selectivo de agar lactosado o en un cojinete absorbente saturado con un medio líquido lactosado. La membrana se incuba durante 24 horas, ya sea a 35 ó 37°C para la detección de organismos coliformes, o alternativamente a 44°C para la presencia de organismos coliformes termotolerantes. Se lleva a cabo la cuenta directa de las colonias características desarrolladas sobre la membrana, y algunas de estas colonias se resiembran para pruebas confirmativas para producción de gas e indol. Finalmente se hace el cálculo del número de

organismos coliformes fecales, organismos coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva que pueden estar presentes en 100 cm³ de la muestra.

8.6 Cuantificación de la generación de gas.

Se prestó atención a la producción de gas en cada uno de los bioreactores, registrando la fecha de inicio y término de la producción de gas, la cual fue cuantificada mediante el uso de una probeta sumergida en un recipiente con agua, teniendo cuidado en expulsar todo el aire contenido en ella antes de abrir la válvula de salida de gas (Figura 16). Además, se graficó la producción de gas durante el tiempo de digestión en cada reactor, y se calculó la producción acumulada de gas en cada reactor.



Desplazamiento de agua

Figura 16. Medición del desplazamiento de agua debido a la producción de gas en el bioreactor.

Según las recomendaciones de Cook (1987) se realizaron agitaciones diarias a cada uno de los bioreactores, con el objetivo de las bacterias tuvieran un contacto homogéneo con las diferentes fases de la materia orgánica.

IX. RESULTADOS

9.1 Degradación de los cadáveres.

9.1.1 Temperatura en los reactores.

Los bioreactores mostraron un comportamiento como se muestra en la Figura 17, en la cual se observan los picos correspondientes al calentamiento inicial, en cuyos casos tardaron dos días en igualarse a la de aquellos bioreactores no calentados. En los días consecuentes se observaron temperaturas oscilantes entre los 18° y 26° C.

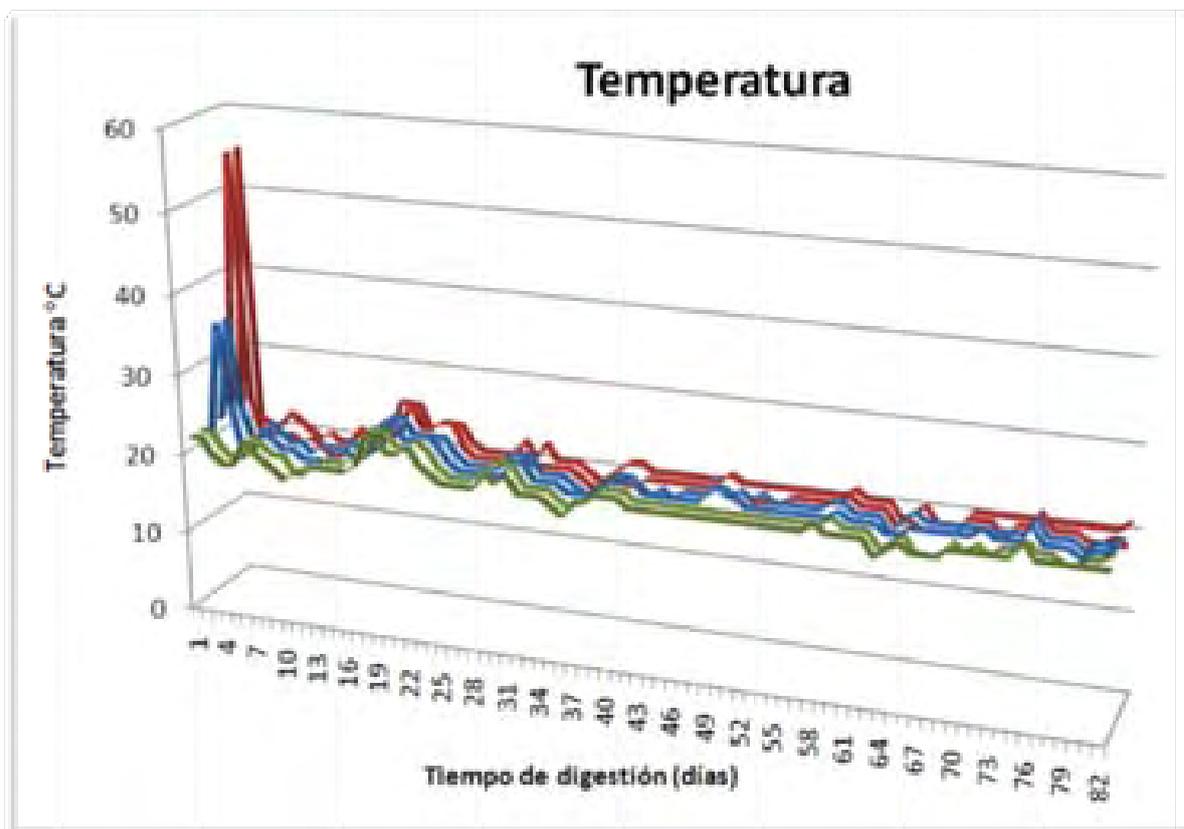


Figura 17. Gráfica de temperaturas para cada uno de los bioreactores con respecto a los días de digestión. Todos de manera ascendente del fondo al frente, en rojo, los bioreactores 1 y 2, en azul, 3 y 4, en verde, 5 y 6.

9.1.2 Cambios en la composición de la materia orgánica.

Durante el proceso de digestión se observó un cambio gradual en las características de los cadáveres. En los seis bioreactores se observó una apariencia de materia cruda al principio de la digestión (Figura 18a), A los 40 días se observó una mayor turbiedad en el líquido, aunada a un tamaño de partícula menor en las diferentes fases y una clara precipitación de los materiales no solubles de estos (Figura 18b). A los 82 días se observó una notable disminución en la cantidad de sólidos suspendidos; la fase líquida presentó menos turbiedad, la cual fue más clara después de periodos largos sin agitación, además de sólidos precipitados con un tamaño de partícula menor (Figura 18c).



Figura 18a. Apariencia de materia orgánica en el reactor 1 en el primer día de digestión.

Figura 18b Apariencia de materia orgánica en el reactor 1 a los 40 días.

Figura 18c Apariencia de materia orgánica en el reactor 1 a los 82 días.

9.1.3 Comportamiento Ácido-Base.

En cuanto al comportamiento ácido-base del sistema, se observaron valores neutrales durante todo el proceso, de acuerdo con las mediciones de tiras reactivas.

9.1.4 Fases no gaseosas resultantes de la digestión.

Los valores volumétricos para las tres fases en los reactores se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Porcentaje de volúmenes resultantes de las tres principales fases de la biogasificación en los bioreactores.

REACTOR	Sobrenadante (mL) %	Líquido (mL) %	Precipitado (mL) %
1	7.71%	81.49%	10.79%
2	8.14%	81.70%	10.16%
3	8.42%	74.18%	17.39%
4	6.91%	77.39%	15.69%
5	4.77%	77.50%	17.73%
6	8.97%	83.00%	8.02%

9.1.5 SST y DBO.

La digestión fue detenida a los 81 días de haber iniciado, considerando la baja producción de gas en algunos de los bioreactores, procediéndose a hacer el análisis de los sobrenadantes de los bioreactores. Los resultados de Sólidos Suspendidos Totales y de Demanda Bioquímica de Oxígeno del sobrenadante de cada bioreactor se listan en el Cuadro 7 y la Figura 19.

Cuadro 7. Resultados de los análisis de SST y DBO para los bioreactores de acuerdo con las técnicas descritas en las normas mexicanas NMX-AA-028-SCFI-2001 y NMX-AA-034-SCFI-2001 para aguas tratadas (Anexo B).

REACTOR	SST (mg/L)	DBO (mg/L)
1	5750	13380
2	9720	16980
3	4070	16320
4	4840	18480
5	2990	15480
6	5200	20700

9.2 Análisis microbiológicos de los sobrenadantes en los bioreactores.

Respecto al análisis de número más probable de organismos Coliformes Fecales y Coliformes Totales se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Resultados de los análisis de calidad de agua de los bioreactores de acuerdo con la técnica descrita en la norma mexicana NMX-AA-42-1987 (Anexo B).

REACTOR	CF (NMP)	CT (NMP)
1	<3	110000
2	<3	16000
3	<3	46000
4	<3	400
5	<3	4300
6	<3	2300

9.3 Producción de gas.

9.2.1 Bioreactores con calentamiento inicial a 55°C

Los bioreactores con un calentamiento inicial a 55°C mostraron producción de gas al día 5 del proceso de digestión. Del mismo modo, se percibió un olor a H₂S al día 7 en ambos bioreactores, hecho que fue asociado a la actividad de bacterias reductoras de sulfatos, quienes comparten como sustrato al H₂ con las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas, por lo que se infirió la presencia de metano en el gas producido, lo que fue comprobado posteriormente mediante una prueba de inflamabilidad, obteniendo un color de azul de flama (Figura 19).



Figura 19. Combustión del gas producido en los bioreactores.

En relación al gas producido en estos bioreactores, se observó un comportamiento como se muestra en la Figura 20, donde el tiempo de producción de gas fue de 35 días para el Bioreactor 1 y de 81 días para el Bioreactor 2, observándose además, que éste último mostró valores más altos de producción de gas diaria que su contraparte no inoculada, aunados a un periodo de producción más extenso.

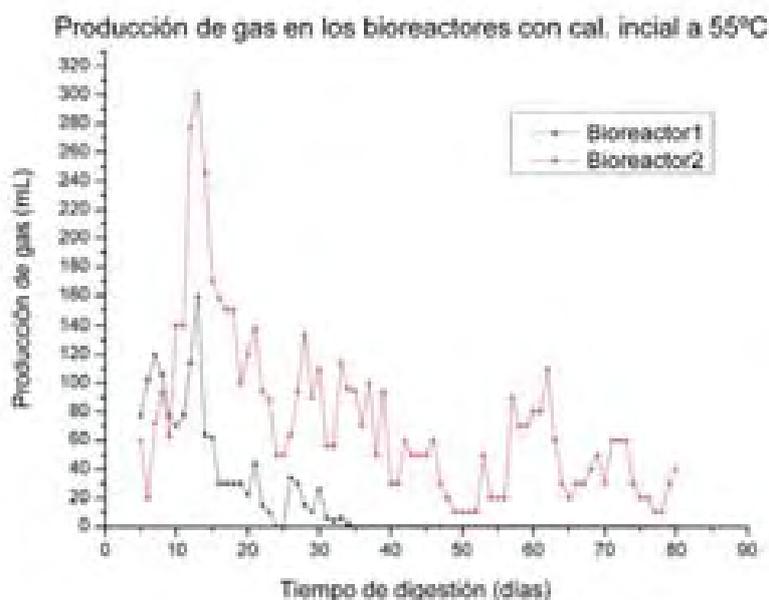


Figura 20. Gráfica de producción de gas diaria en los reactores con calentamiento inicial a 55°C.

La producción de gas acumulada para estos reactores a los 81 días fue de 1.374 L para el Bioreactor 1 y de 5.612 L para el Bioreactor 2 (Figura 21), lo que equivale a una producción de 98.14 mL y 173.20 mL de gas/kg de cadáver/día respectivamente para cada bioreactor. Además, sus valores máximos de producción de gas diaria fueron de 160 mL y 300 mL respectivamente.



Figura 21. Gráfica de producción de gas acumulada en los reactores con calentamiento inicial a 55°C.

9.2.2 Bioreactores con calentamiento inicial a 35°C.

Los bioreactores con un calentamiento inicial a 35°C manifestaron producción de gas al día 5 del proceso de digestión. Del mismo modo, se percibió un olor a H₂S al día 6 en el bioreactor 4, y en el día 8 en el bioreactor 3. Del mismo modo que en los bioreactores 1 y 2, se obtuvo una flama azul al realizar la prueba de inflamabilidad.

La producción de gas en estos bioreactores siguió un comportamiento como se muestra en la Figura 22; cuyos valores máximos de producción de gas diario fueron de 188 mL para el bioreactor 3 y 270 mL, para el bioreactor 4. Sus valores de producción de gas acumulado fueron de 1.412 L y 5.418 L, respectivamente (Figura 23). Esto equivale a una producción de 90.51 mL y 167.20 mL de gas/kg de cadáver/día.

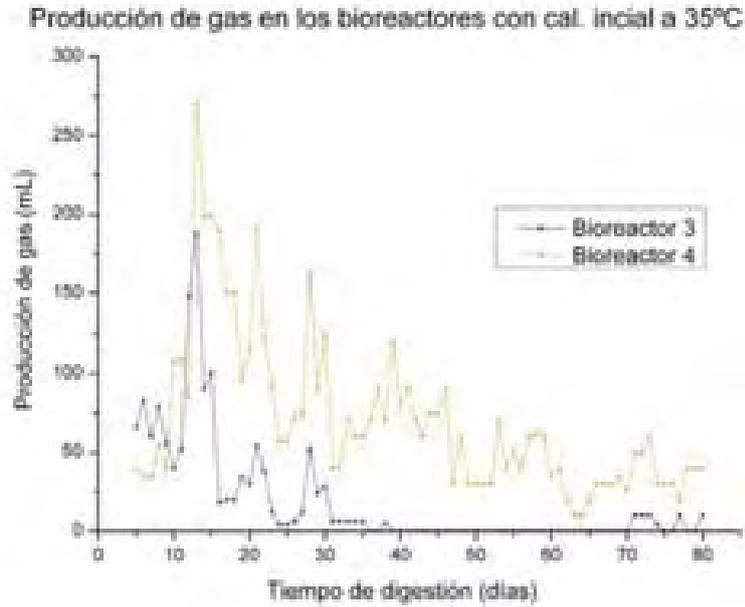


Figura 22. Gráfica de producción de gas diaria en los reactores con temperatura de activación de 35°C.

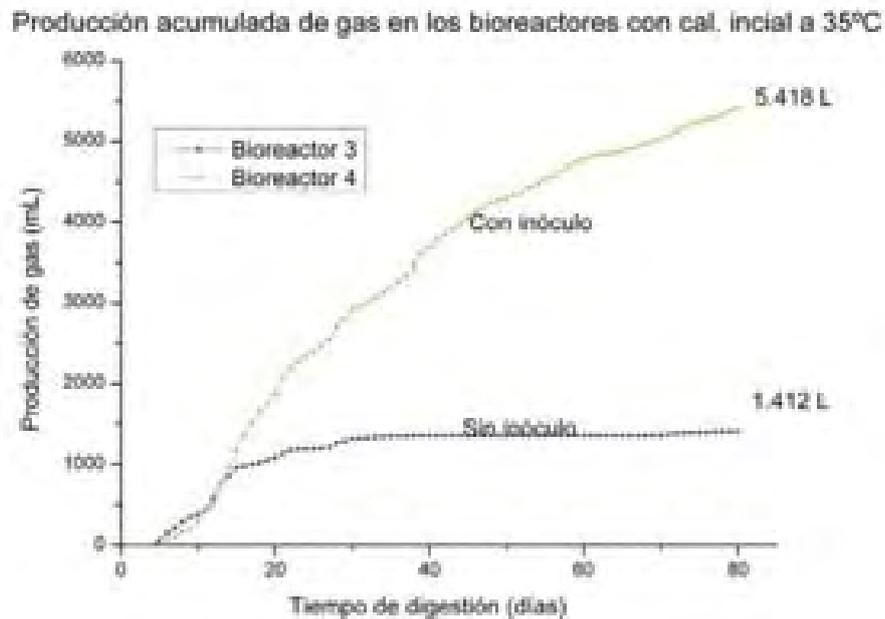


Figura 23. Gráfica de producción de gas acumulado en los reactores con temperatura de activación de 35°C.

9.2.3 Bioreactores a temperatura ambiente.

En el caso de los bioreactores mantenidos a temperatura ambiente, sus valores máximos de producción diaria fueron de 73 mL para el bioreactor 5 y 55 mL, para el bioreactor 6 (Figura 24). En estos se observó la presencia de H₂S en los días 12 y 34, respectivamente, dando positivo en la prueba de inflamabilidad. Además, se observaron valores de producción de gas acumulado de 1.124 en el bioreactor 5 y 1.035 L en el bioreactor 6, lo cual corresponde a 46.83 mL y 31.94 mL de gas/kg de cadáver/día, correspondientemente (Figura 25).

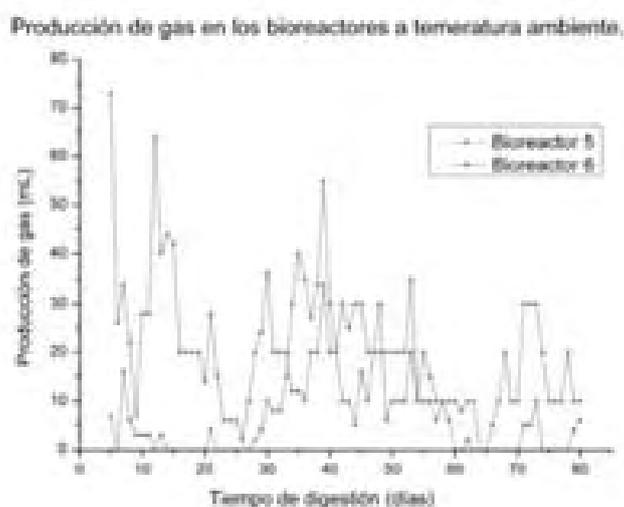


Figura 24. Gráfica de producción de gas diaria en los reactores conservados a temperatura ambiente.

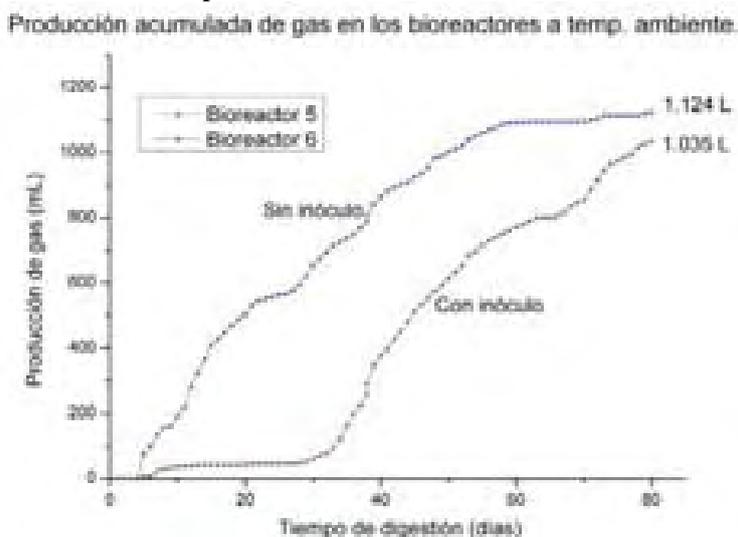


Figura 25. Gráfica de producción de gas acumulado en los reactores conservados a temperatura ambiente.

X. ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1 Cadáveres degradados.

De acuerdo con los análisis de calidad de aguas realizados a cada uno de los bioreactores, se observó que los valores de SST y DBO fueron superiores a los enunciados por la norma NOM-001-ECOL-1996 (Cuadro 1A, Anexo A), cuyo valor máximo tanto para SST como para DBO es de 200 mg/L, cuando dichos líquidos sean para riego agrícola (Figura 26).

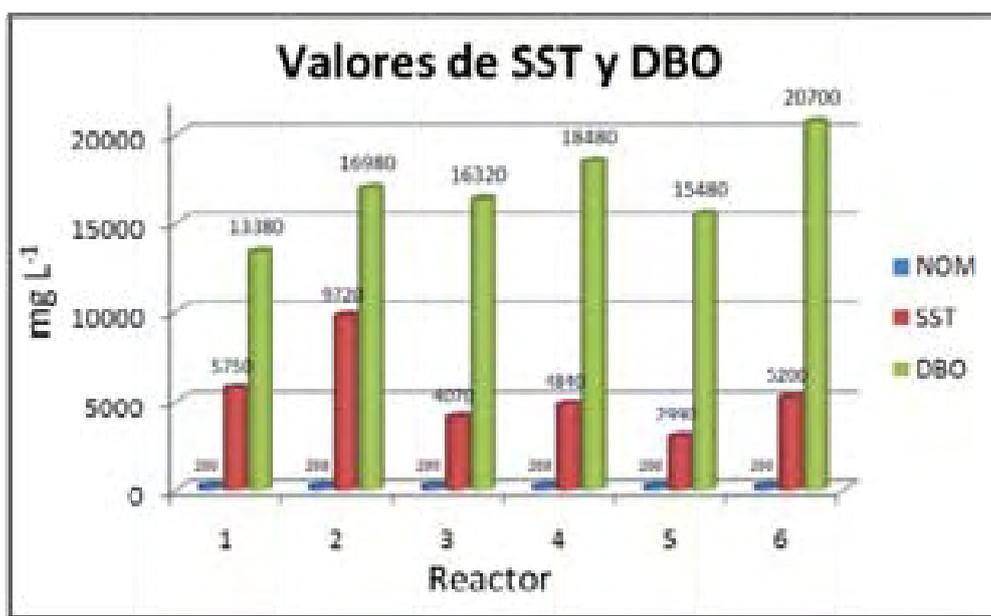


Figura 26. Valores de SST y DBO (mg/L) para los seis bioreactores.

A pesar de que dichos valores no cumplieron con los máximos estipulados en la norma, se pudo obtener una perspectiva del nivel de degradación de la materia orgánica en cada uno de los reactores, donde aquellos que no fueron inoculados presentaron valores menores de DBO que aquellos que contaron con inóculo.

El mismo comportamiento se observó respecto a los SST, donde los reactores no inoculados obtuvieron valores menores de este parámetro respecto a sus correspondientes inoculados del mismo tratamiento térmico.

10.2 Eliminación de microorganismos patógenos.

Los valores obtenidos en NMP/100mL para coliformes fecales en los seis bioreactores fueron menores a 3, siendo este valor mucho menor a los límites máximos permitidos por la norma NOM-003-ECOL-1997; cuyos valores son: 240 NMP/100mL para servicios al público con contacto directo y de 1000 NMP/100mL para servicios al público con contacto directo u ocasional (Cuadro 2A, Anexo A). Lo cual concuerda con lo reportado por Salminen y Rintala en el 2002 respecto a la eliminación de estos organismos por medio del proceso de biogasificación.

A pesar de que la norma anterior no establece límites máximos para coliformes totales, los valores obtenidos de este análisis nos proveen de un elemento para inferir la eficiencia en la destrucción de estos agentes patógenos en cada uno de los bioreactores. Donde se observó que los bioreactores que fueron inoculados mostraron una mayor capacidad de destrucción de organismos coliformes totales, con respecto a sus pares no inoculados; siendo el tratamiento con inóculo a 35°C el que mostró el valor más bajo y el tratamiento a 55°C sin inóculo mostro el respectivo más alto (Figura 27).

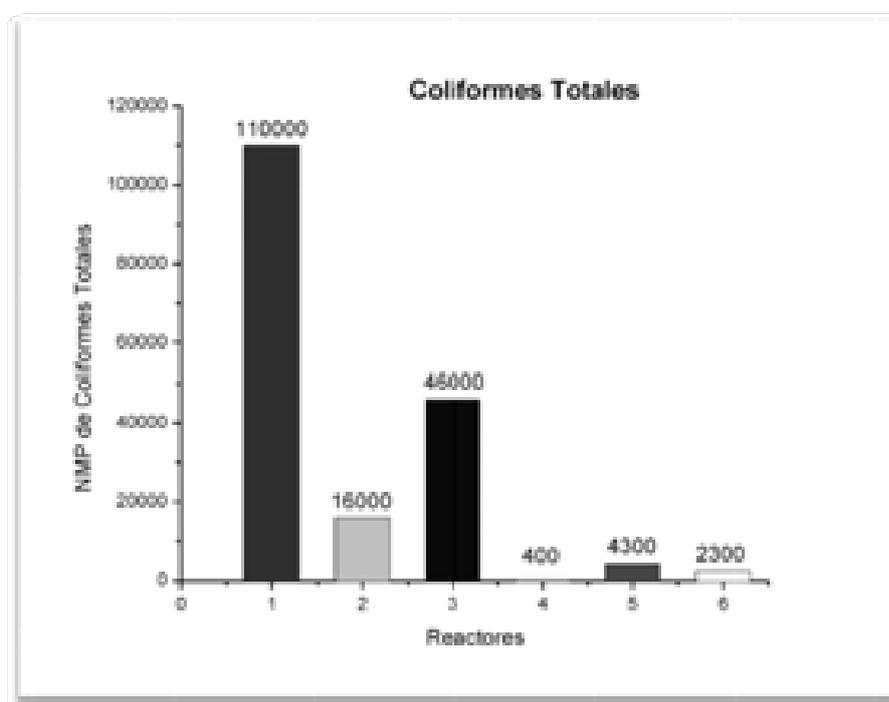


Figura 27. Gráfica comparativa de los valores del NMP/100mL de Coliformes Totales en cada uno de los bioreactores.

10.3 Producción de gas.

Los resultados en la producción de gas, a partir de los cadáveres de ratas, concuerdan con la propuesta de Flotats en el 2005, del uso de materiales cárnicos para la generación de dicho gas.

Se pudo observar que los bioreactores 2 y 4 mostraron los valores más altos de producción, seguidos por los bioreactores 1, 3, 5 y 6 (Figura 28). Donde los tiempos de duración del proceso fueron de: 35 días para el reactor 1, 39 días para el reactor 3, 60 días para el reactor 5, y 81 días para los reactores inoculados (2, 4 y 6), los cuales aun a este tiempo seguían produciendo un promedio diario de 30 mL diarios.

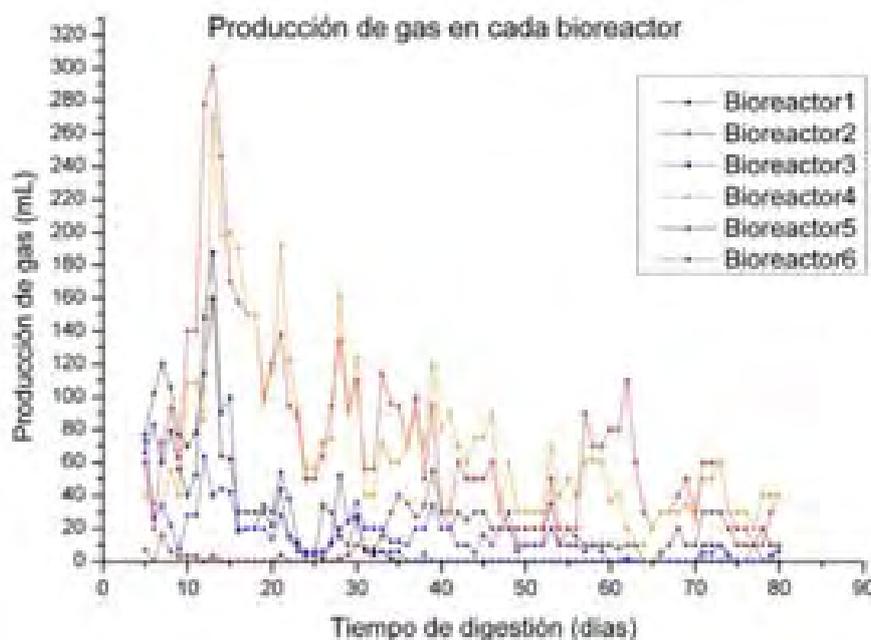


Figura 28. Gráfica comparativa de producción de gas diaria en los seis reactores.

Conjuntamente, se pudo observar que de los bioreactores que no fueron inoculados con lodos de aguas residuales, el bioreactor sometido a un calentamiento inicial de 55°C (Bioreactor 1) presentó una mayor producción de gas en las primeras etapas de la digestión (Figura 29). Sin embargo, este fue superado por el reactor calentado a 35°C (Bioreactor 3), el cual mostró un valor de producción máxima superior y una producción acumulada mayor. Ambos reactores superaron al reactor conservado a temperatura ambiente (Bioreactor 5) por más 250 mL de gas respecto a la producción acumulada.

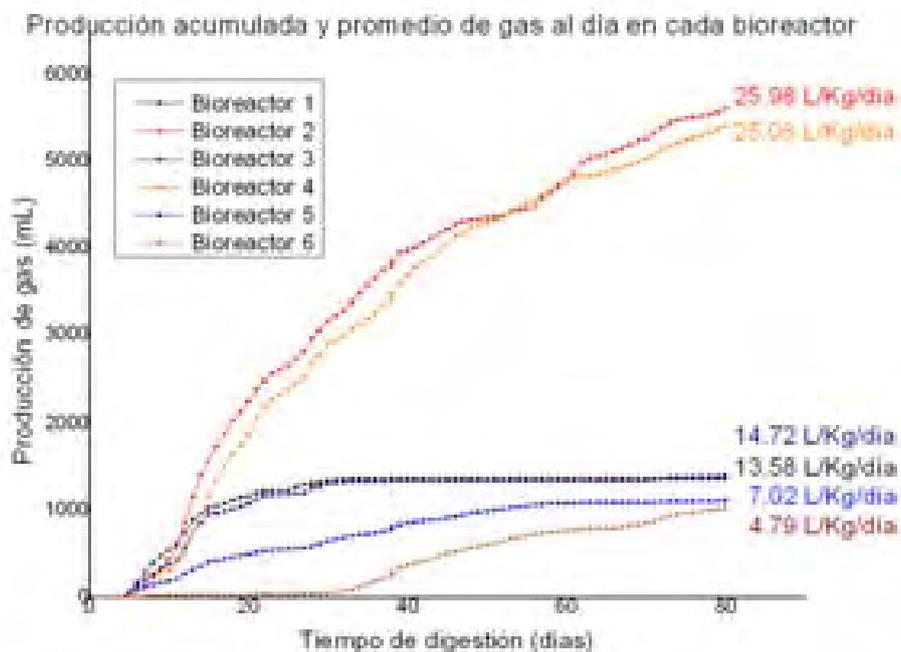


Figura 29. Gráfica comparativa de producción de gas acumulado en los seis reactores. A la derecha se muestran los promedios de producción diaria para cada bioreactor por Kg de cadáver por día.

En la misma figura, se observa que de los bioreactores inoculados con lodos de aguas residuales, el bioreactor sometido a un calentamiento inicial de 55°C (Bioreactor 2) presentó a su vez la mayor producción de gas, y fue seguido por el bioreactor con calentamiento inicial a 35°C (Bioreactor 4), el cual mostró un valor de producción de gas acumulada sólo 194 mL menor al primero. Ambos reactores superaron al reactor conservado a temperatura ambiente (Bioreactor 6) por más de 4.3 L, y cuya producción de gas fue más lenta que aquellos que fueron tratados con calentamiento.

Lo anterior, concuerda con la propuesta de Cook, ya que se logró una activación de la degradación de la materia orgánica y del proceso de biogásificación.

Respecto a los valores de producción de gas diaria por Kg de cadáver agregado por día, los valores obtenidos son mucho mayores que los reportados por Karim en el año 2005 de 0.4 L por Litro de materia disuelta por día. A este respecto, se infiere que los valores de producción de este estudio se deben a la mayor concentración de materia orgánica en este experimento. Sin embargo, los valores resultantes del presente estudio podrían ser más altos, dado que el presente experimento se mantuvo a una temperatura promedio de 20°C, a diferencia del reportado por Karim, el cual se realiza a una temperatura de 35°C.

Con el objetivo de distinguir cuál de los diferentes tratamientos fue el más viable, en cuanto a la producción de dicho gas, primeramente, se realizó un análisis de varianza en base a los tratamientos de temperatura de activación en los bioreactores (Cuadro 9). A su vez, en la Figura 30 se muestra la gráfica representativa de una prueba de Tukey para diferencia de medias entre los tres tratamientos de temperatura con un grado de significación del 5%. En ésta se observó que existen diferencias significativas entre los tratamientos de calentamiento inicial y el tratamiento a temperatura ambiente, donde los tratados con calentamiento mostraron mayor producción de gas. Sin embargo no existieron diferencias estadísticas por medio de este análisis entre el calentamiento a 55°C y a 35°C.

Cuadro 9. Tabla de ANDEVA para la producción de gas (mL) en base a los tratamientos de calentamiento inicial en los bioreactores.

Análisis de Varianza					
Fuente	Suma de Cuadr.	gl.	Cuadr. Medios	Valor F	Valor P
Entre grupos	133599.0	2	66799.4	25.28	0.0000
Dentro de los grupos	450844.0	266	1694.78		
Total (Corr.)	584443.0	268			

Prueba de Tukey para ANDEVA con significancia del 5%

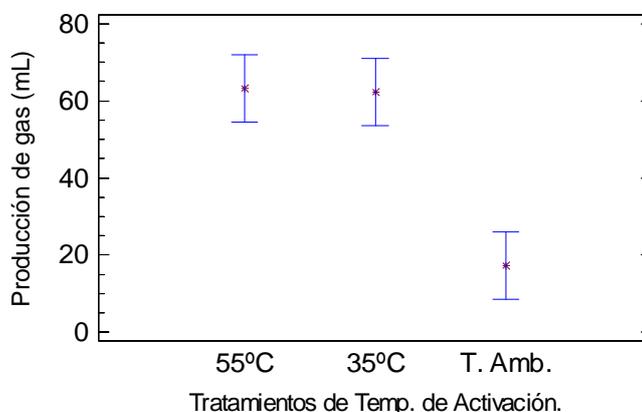


Figura 30. Gráfica representativa de un análisis de varianza con una prueba de Tukey para diferencia de medias de producción de gas entre los diferentes tratamientos de temperatura con un grado de significación del 5%.

Del mismo modo, se realizó un análisis de varianza de los tratamientos de inoculación (Cuadro 10), con una prueba de Tukey para diferencia de medias entre estos tratamientos con un intervalo de confianza del 95% (Figura 31). En dicho análisis se observó que existieron diferencias significativas entre los dos tratamientos; habiendo una mayor producción de gas en aquellos que fueron inoculados con lodos de aguas residuales.

Cuadro 10. Tabla de ANDEVA para la producción de gas (mL) en base a los tratamientos de inoculación en los bioreactores.

Análisis de Varianza					
Fuente	Suma de Cuadr.	gl	Cuadr. Medias	Valor F	Valor P
Entre grupos	109203.0	1	109203.0	43.94	0.0000
Dentro de grupos	666106.0	368	3485.47		
Total (Corr.)	775309.0	369			

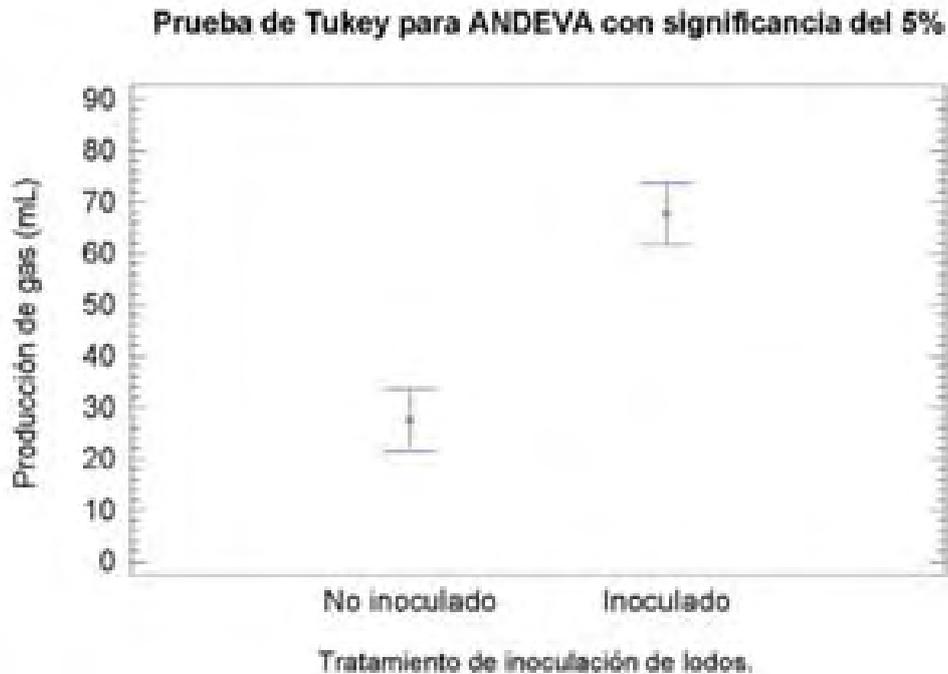


Figura 31. Gráfica representativa de un análisis de varianza con una prueba de Tukey para diferencia de medias de la producción de gas entre los diferentes tratamientos de inoculación con un grado de significación del 5%.

A su vez se realizó una prueba de factores cruzados, con el fin de conocer cuál de los seis tratamientos es el más viable en cuanto a la producción de gas, así como para conocer si los tratamientos se encuentran relacionados (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para la producción de gas - Suma de cuadrados del tipo III (Factores cruzados).

Fuente	Suma de cuadr.	gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
EFFECTOS PRIMARIOS					
A: Inóculo	135171.0	1	135171.0	93.23	0.0000
B: Temperatura	91753.1	2	45876.5	31.64	0.0000
INTERACCIONES					
AB	72247.5	2	36123.8	24.92	0.0000
RESIDUAL	704609.0	486	1449.81		
TOTAL (CORRECTED)	1.00378E6	491			

Todos los valores-F se basan en el cuadrado medio de error residual.

En este análisis se observa que los factores o tratamientos tienen una significancia estadística en la producción de gas (Figura 32), esto debido a que los valores de P son menores de 0.05, con un nivel de confiabilidad del 95%. Donde el tratamiento con inóculo de lodos de aguas residuales y el calentamiento inicial a 55°C es el más viable para la producción de gas.



Figura 32. Gráfica del análisis de factores cruzados para los seis tratamientos, dos de inoculación y tres de temperatura.

XI. CONCLUSIONES

En base al presente estudio se puede concluir que la biogasificación es un método adecuado para el tratamiento de los cadáveres provenientes del bioterio de la F.E.S. Zaragoza, UNAM, con el cual se reduce la cantidad de residuos que esta institución envía a incineración para su tratamiento.

Además, concluimos de manera específica para cada uno de los rubros, lo siguiente:

A) Degradación de los cadáveres.

- Los bioreactores muestran una degradación más alta de los cadáveres cuando cuentan con calentamientos iniciales mayores. Dicho proceso se lleva a cabo en un ambiente ácido-base que tiende a la neutralidad.
- En el proceso se observa claramente una separación de cuatro fases principales: natas, sobrenadantes, líquidos suspendidos y sólidos precipitados. Cada una de estas fases son de fácil separación.
- En el caso de los sobrenadantes y los sólidos suspendidos, estos podrán ser utilizados como fertilizantes para las áreas verdes del campus mediante un tratamiento de compostaje.

B) Eliminación de los microorganismos patógenos.

- El proceso de biogasificación es un método adecuado para el control de coliformes fecales y coliformes totales. En este proceso, los tratamientos con inóculo de aguas residuales son más exitosos en la reducción de los coliformes totales. Donde ambos tratamientos cumplen con las normas oficiales mexicanas en materia de aguas tratadas.

C) Gas generado.

- Con este tratamiento se logran obtener volúmenes de gas a los pocos días de digestión, y debido a que en ésta institución se genera un promedio de 88 kg de cadáveres mensuales en esta institución, de implementarse dicho tratamiento a gran escala, se obtendrán volúmenes diarios de 15.2 L de gas, siguiendo el tratamiento más productivo. Este gas es una opción para su uso como fuente de calor en los experimentos de dicha institución, reduciendo el uso de gas natural, y por ende los gastos de ésta institución en dicho energético.

XII. RECOMENDACIONES.

Realizar estudios de los tiempos de degradación de los sobrenadantes y sólidos suspendidos de la biogasificación por medio de compostaje, con el fin de extrapolarlos a una escala de producción de cadáveres real en el campus.

Realizar pruebas de tratamiento de biogasificación con cadáveres que hayan sido inoculados con agentes patógenos, para evaluar la efectividad del tratamiento para agentes específicos.

Escalar este experimento a un bioreactor de mayor capacidad, el cual cuente con calentamiento constante, para lograr una mayor generación de gas y un menor tiempo de digestión. Así como realizar un análisis de costo beneficio para el uso del gas producido.

Realizar estudios para el aislamiento de colonias bacteriales, con los que se logren mayores producciones de gas.

XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, A. 2006.** *Reporte anual de utilización de individuos del bioterio de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.* México D.F.: F.E.S. Zaragoza, UNAM., 2006.
- Björnsson, L. 2000.** *Intensification of the biogas process by improved process monitoring and biomass retention.* Sweden : Lund University. págs. 1-32.
- Boquedano, M. y Young, M. 1979.** *Los Digestores: Energía y Fertilizantes para el desarrollo Rural.* Xalapa, Veracruz. : Instituto Nacional sobre Recursos Bióticos. págs. 5-28.
- Bradshaw, A., Southwood, S. y Warner, S. 1992.** *The treatment and handling of wastes.* London. U.K. : Chapman & Hall. 1st. Ed., 1992. págs. 167-189.
- Britton, G. 1998.** *Wastewater Microbiology.* USA : Wiley-Liss. págs. 229-245.
- Brulé, M. R. y Sofer, S. S. 1976.** *A Biogasification System at a Dairy.* School of Chemical Engineering and Materials Science, University of Oklahoma. Oklahoma, USA : Proc. Okla. Acad. of Sci. págs. 18-23.
- Carrillo, M. y Gonzalez, R. M. 2002.** *Microescala, Química General Manual de Laboratorio.* s.l. : Pearson Prentice Hall. pág. 208.
- Cook, E. J. 1987.** *Anaerobic Sludge Digestion (Manual of practice No. 16).* Alexandria, Virginia. USA : Water Pollution Control Federation. págs. 3-39.
- Cortinas de Nava, C. 2006.** Dra. Cristina Cortinas. *Gestion Integral de Residuos.pdf.* [En línea] Miércoles, 16 de Agosto de 2006. [Citado el: Martes, 25 de Septiembre de 2007.] <http://www.cristinacortinas.com>.
- Desmond, A. 1981.** *Biotecnología para el aprovechamiento de Desperdicios Orgánicos.* México, México : AGT Editor. págs. 47-111.
- DGEMNJ, Dirección General de Ecología Municipio de Naucalpan de Juárez. 2005.** *Experiencias en el Marco Jurídico Municipal: El caso Naucalpan.* Naucalpan de Juárez, México. México. págs. 7-16.
- Díaz, L. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L., y Golueke, C. G. 1993.** *Composting and Recycling Municipal Solid Waste.* Boca Ratón, Florida. USA : Lewis Publishers. págs. 121-265.
- Environmental Protection Agency U.S. 2008.** *Dioxins and Furans Fact Sheet.* Woshington, D.C. USA. : Office of Pollution Prevention and Toxics. pp. 3-15.
- Flotats, X. 2005.** *Optimización de la producción de biogás de subproductos cárnicos: Proyecto BIO-ESUCA.* Barcelona, España. : Ministerio de Educación y Ciencia; SGt SA y LEA-IRTA/GIRO CT. págs. 1-41.
- Galván, M. de los Á. y Moya, P. 2004.** *Comparación de cuatro métodos de desecación como tratamiento de cadáveres de animales experimentales provenientes del bioterio y laboratorios de docencia e investigación de la F.E.S. Zaragoza.* D.F. México. : Reporte de Proyecto de Investigación de Salidas Terminales Carrera de Biología. Area de ambientalismo. F.E.S. Zaragoza, UNAM. págs. 5-22.

- Karim, K., K. Thomas, K., Hoffmann, R., Drescher, S. R., DePaoli, D. W., y Al-Dahhan, M. H. 2005.** *Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing.* Washington, USA. : Chemical Reaction Engineering Laboratory (CREL). Department of Chemical Engineering. Washington University. Bioresource Technology 96 (2005). págs. 1607-16012.
- Kristoferson L., y Bokalders V. 1991.** *Renewable Energy Technologies - their application in developing countries.* :ITDG Publishing págs. 1-6.
- LGEEPA. 1998.** *LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.* México, D.F. México : Diario Oficial de la Federación.
- LGPGIR. 2003.** *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.* D.F., México. : Diario Oficial de la Federación del 03 de Octubre del 2003. Poder Ejecutivo. SEMARNAT.
- Lichtinger, V., Arriaga, R., Bolaños-Cacho, J., & Aguilar, J. 2001.** *Guia para la gestión integral de los residuos sólidos municipales.* México D.F., México : Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental-SEMARNAT. págs. 7-11.
- Nezahualcoyotl, H. Ayuntamiento de. 2005.** *Nezahualcoyotl. Prensa.* [Online] H. Ayuntamiento de Nezahualcoyotl, Junio 11, 2005. [Cited: Mayo 06, 2008.] http://www.neza.gob.mx/prensa/boletines/188_05.html.
- NMX-AA-028-SCFI-2001, Norma Mexicana.** *Que establece el método de análisis para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.* D.F: México.: Diario Oficial de la Federación del 17 de Abril del 2001. Poder Ejecutivo. Secretaría de Economía.
- NMX-AA-034-SCFI-2001, Norma Mexicana.** *Que establece el método de análisis para la determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.* D.F. México.: Diario Oficial de la Federación del 1º de Agosto del 2001. Poder Ejecutivo. Secretaría de Economía.
- NMX-AA-42-1987, Norma Mexicana.** *Que establece el método de análisis para la determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva.* D.F. México.: Diario Oficial de la Federación del 3 de Junio de 1987. Poder Ejecutivo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- NOM-001-ECOL-1996, Norma Oficial Mexicana.** *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.* D.F: México.: Diario oficial de la Federación del 24 de Junio de 1996. Poder Ejecutivo. SEMARNAP
- NOM-003-ECOL-1997, Norma Oficial Mexicana.** *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.* D.F. México.: Diario oficial de la Federación del 22 de Abril de 1998. Poder Ejecutivo. SEMARNAP.

- NOM-052-SEMARNAT-2005, Norma Oficial Mexicana.** *Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.* D.F. México. : Diario Oficial de la Federación del viernes 23 de Junio de 2006. Poder Ejecutivo. SEMARNAT.
- NOM-ECOL-087-SSA1-2002, Norma Oficial Mexicana.** *Protección Ambiental, Salud Ambiental, Residuos peligrosos biológico-infecciosos, Clasificación y especificaciones de manejo.* México, D.F. México. : Diario Oficial de la Federación del 17 de febrero del 2003, Segunda Sección. Poder Ejecutivo. SEMARNAT.
- Noriega, E. 1995.** *Principios de Incineración.* Ensenada, México. : Asociación Mexicana de Higiene y Seguridad, A.C. Julio. pp. 3-9.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2008.** United Nations Documentation: Research Guide. *The Environment.* [Online] Abril 22, 2008. [Cited: Mayo 06, 2008.] <http://www.un.org/Depts/dhl/resguide/specenv.htm>.
- Ostrem, K. 2004..** *Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes.* New York. U.S.A. : Earth Engineering Center. Columbia University. pp. 1-59.
- Ministerio de Salud del Gobierno de Perú (MSGP). 1998.** *Tecnologías de Tratamiento de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud.* Lima, Perú. : Programa de Fortalecimiento de Servicios de Salud. págs. 17-36.
- Roberts, S. M., Teaf, DH. m. y Bean, J. A. 1999.** *Hazardous waste incineration (Evaluating the Human Health and Environmental Risk).* Boca Raton, Fl. USA. : Lewis Publishers. págs. 253-275.
- Salminen, E. y Rintala, J. 2002.** *Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste - a review.* Jyväskylä, Finland. : Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä. Bioresource Technology 83 (2002). págs. 13-26.
- Sánchez, J., Flores, J. L., Coyote, N., Reyes, C., Semadeni, I., y Vázquez, A. M. 1996.** *Producción y Manejo de Residuos Sólidos Municipales en la Ciudad de México.* D.F. México : Dirección General de Desechos Sólidos. DDF. Integrado por el Programa Universitario de Medio Ambiente en su publicación Riesgos Ambientales para la Salud en la Ciudad de México. págs. 475-511.
- SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social. 1999.** *Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos.* México. México : Secretaría de Desarrollo Social. págs. 32-40.
- SEEM, Secretaria de Ecología del Estado de México. 1999.** *Análisis de mercado de los residuos sólidos municipales reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo.* Estado de México. México. : Dirección General de Normatividad y Apoyo Técnico. Oct-Nov. págs. 20-45.
- SEMARNAP, Secretaria de Marina Recursos Naturales y Pesca. 1997.** *Estadística e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México.* México. : SEMARNAP. pág. 61.

Soria, M. d., Ronald, C., Etchevers, J., Alcántar, G., Trinidad, J., Borges, L. y Pereyda, G. 2001. *Producción de biofertilizantes mediante Biodigestión de Excreta Líquida de Cerdo*. Chapingo, Estado de México. México. págs. 353-362.

Tammemagi, H. 1999. *The waste crisis (Landfills, incinerators and the search for a sustainable future)*. N.Y. USA : Oxford University Press. págs. 3-87.

Universidad de Milwaukee. (17 de Octubre de 2005). *University of Milwaukee: University Safety and Assurances*. (University of Milwaukee.) Recuperado el 3 de Diciembre de 2008, de Guide to the Responsible Care and Use of Laboratory Animals at UWM: <http://www.uwm.edu/Dept/EHSRM/ACP/MANUAL/Rats.html>.

Velazco, J. y Volke, S. 2003. *El composteo: Una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México*. D.F. México.: Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología. (INE-SEMARNAT) No. 66, 41-53.

Wikipedia (19 de Febrero de 2008). *Syntrophy: Definition*. Wikimedia fundation, Inc. Recuperado el 15 de Mayo de 2008.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Syntrophy>

XIV. GLOSARIO

Aguas Residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas (NMX-AA-028-1981).

Aguas Naturales: Agua cruda, subterránea, de lluvia, de tormenta, de tormenta residual y superficial (NMX-AA-028-1981).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Se determina la cantidad de oxígeno utilizada por una población microbiana heterogénea para transformar la materia orgánica, en un periodo de incubación de 5 días a 20°C (NMX-AA-028-1981).

Inoculo: Es una suspensión de microorganismos vivos que se han adaptado para reproducirse en un medio específico (NMX-AA-028-1981).

Manejo Integral: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Medio aerobio: Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en presencia de oxígeno molecular (NMX-AA-028-1981).

Medio anaerobio: Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en ausencia de oxígeno molecular (NMX-AA-028-1981).

Micro-escala: La micro-escala es el método alternativo de trabajo experimental que busca un cambio cultural en la forma en que se utilizan las sustancias químicas en el laboratorio. Tiene entre otras las siguientes ventajas: Fomentar la creatividad e inventiva en el diseño de materiales de laboratorio, enfocar la observación de los alumnos, reducir el nivel de riesgo en el manejo de las sustancias tóxicas, minimizar el número de accidentes en el trabajo experimental, y disminuir la cantidad de desechos generados en los laboratorios (Carrillo y Gonzales, 2002).

Organismos coliformes: Son organismos capaces de formar aeróbicamente colonias ya sea a $35 \pm 1^\circ\text{C}$ ó $37 \pm 1^\circ\text{C}$ en un medio de cultivo lactosado selectivo y diferencial, con producción de ácido y aldehído dentro de un período de 24 h (NMX-AA-042-1987).

Plan de Manejo: Instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno (Cortinas de Nava, 2006).

Riesgo: Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares.

Sintrófico: Fenómeno en el cual una especie vive a partir de los productos de otra (Wikipedia, 2008).

Sólidos suspendidos totales (SST): Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante (NMX-AA-034-SCFI-2001).

Toxicidad: La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas. Dichas sustancias se encuentran enlistadas en la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Vulnerabilidad: Conjunto de condiciones que limitan la capacidad de defensa o de amortiguamiento ante una situación de amenaza y confieren a las poblaciones humanas, ecosistemas y bienes, un alto grado de susceptibilidad a los efectos adversos que puede ocasionar el manejo de los materiales o residuos, que por sus volúmenes y características intrínsecas, sean capaces de provocar daños al ambiente (Cortinas de Nava, 2006).

XV. ANEXOS

Anexo A

Cuadro 1A . Agentes patógenos encontrados en residuos sólidos municipales y lodos de aguas residuales (Sánchez, *et. al.*, 1996).

Patógeno	Enfermedad
Virus	
Enterovirus	Gastroenteritis, enfermedades cardíacas y meningitis.
Rotavirus	Gastroenteritis.
Parovirus	Gastroenteritis.
Adenovirus	Infecciones del tracto respiratorio. Conjuntivitis.
Virus de hepatitis A	Hepatitis viral.
Polivirus	Poliomelitis.
Coxsackivirus	Meningitis.
Bacterias	
Salmonella	Tifoidea y salmonelosis.
Shigella	Shigelosis.
Mycobacterium tuberculosis	Tuberculosis.
Vibrio cholerae	Cólera.
Escherichia coli	Gastroenteritis.
Tersinia enterocolica	Gastroenteritis.
Clostridium perfringens	Gangrena.
Clostridium botulinum	Botulismo.
Listeria manocytogenes	Meningoencefalitis.
Protozoarios	
Entamoeba	Amibiasis.
Giardia lamblia	Giardiasis.
Balantidium coli	Balantidiasis.
Naegleria fowleri	Meningoencefalitis.
Acanthamoeba	Meningoencefalitis.
Helminfos	
Ascaris lumbricoides	Ascariosis.
Ancylostoma sp	Ancilastomiosis.
Necator americanus	Necatoriasis.
Enterobius vermicularis	Enterobiasis.
Astrongyloides stercoralis	Estrongiloidosis.
Toxocara sp	Larva en viscera.
Trichuris Trichiura	Trichuriasis.
Diphyllobothrium latum	Lombriz solitaria.
Diphyllobothrium caninum	Lombriz solitaria.

<i>Taenia saginata</i> y <i>T. solium</i>	Lombriz solitaria.
<i>Himenolepis nana</i>	Lombriz solitaria-Cisticercosis.
<i>Fasciola hepática</i>	Fascioliasis.
<i>Echinococcus granulosus</i>	Equinococosis.
<i>Echinococcus multilocularis</i>	Enfermedad alveolar.
Hongos	
<i>Candida</i> sp	Micosis sistémica y de piel.
<i>Tricosporon cutaneum</i>	Micosis de piel.
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Micosis de pulmón.
<i>Tricophyton</i> sp	Micosis de piel.
<i>Epidermophyton</i> sp	Micosis de piel.
<i>Microsporum</i> sp	Micosis de piel.
<i>Histoplasma capsulatum</i>	Histoplasmosis.
<i>Coccidioides immitis</i>	Coccidiomicosis.
<i>Blastomyces dermatitides</i>	Bastomicosis.
<i>Sporotbri schenkii</i>	Esporotricosis.

Cuadro 2A . Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales establecidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

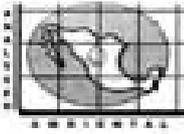
Límites máximos permisibles para contaminantes básicos										
Parámetros	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales			
	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de vida acuática		Uso en riego agrícola		Uso público urbano	
SST	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60
DBO	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60

Cuadro 3A . Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público establecidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997.

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (hfl)	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	5	15	30	30

Anexo B

Resultados analíticos y de campo de la calidad la mezcla de líquidos y sólidos provenientes de los bioreactores, de acuerdo con las NMX-AA-034-SCFI-2001, NMX-AA-028-SCFI-2001, NMX-AA-42-1987 y NMX-AA-42-1987.



LABORATORIO AMBIENTAL
ANÁLISIS Y SERVICIOS AMBIENTALES
SERVICIOS AMBIENTALES

MÉXICO, D.F., a 26 de Octubre del 2007.

ANALYSER

REVISADO

CLIENTE: CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
Calle de México, No. 297, Colonia: Esperanza
C.P. 53500, Estado de México, México

Por medio de la presente se remite los resultados obtenidos por el campo de aguas residuales provenientes de aguas experimentales, suministradas por personal con las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM el día 26 de Octubre del 2007 con sus respectivas actividades, identificación y registro del mismo así como se indica:

IDENTIFICACIÓN		CÓDIGO DE LA MUESTRA	
Agua No. 1	A-1	0770000000000077	
Agua No. 2	A-2	0770000000000077	
Agua No. 3	A-3	0770000000000077	
Agua No. 4	A-4	0770000000000077	
Agua No. 5	A-5	0770000000000077	
Agua No. 6	A-6	0770000000000077	

En papers que la información proporcionada en el presente es la de un momento, sólo son válidas cuando se han verificado experimentalmente por diferentes métodos la exactitud de los datos obtenidos por el presente y experimentando según se requiera con nuevos análisis, con posterioridad a la información para cualquier modificación a los mismos.

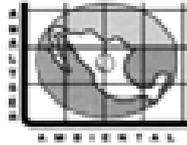
RESPONSABLE
DR. MARCO ANTONIO MARTÍNEZ MARTÍNEZ
GENEAL OFICINISTA

Laboratorio con Sistema de Gestión Ambiental certificado por el Comité de Normas y Criterios de México de la Norma Mexicana de Gestión Ambiental NMX-GA-1000-2004, en el campo Ambiental, Estado de México y Estado de Guerrero, emitido por la Dirección General de Protección al Ambiente de la Secretaría de Ambiente del Estado de México, con la Dirección de Gestión de la Secretaría de Protección al Ambiente, Estado de Guerrero, Secretaría del Gobierno del Estado de Guerrero, y por la Dirección General de Protección al Ambiente de la Comisión de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Guerrero.

Laboratorio con Sistema de Gestión Ambiental certificado por el Comité de Normas y Criterios de México de la Norma Mexicana de Gestión Ambiental NMX-GA-1000-2004, en el campo Ambiental, Estado de México y Estado de Guerrero, emitido por la Dirección General de Protección al Ambiente de la Secretaría de Ambiente del Estado de México, con la Dirección de Gestión de la Secretaría de Protección al Ambiente, Estado de Guerrero, Secretaría del Gobierno del Estado de Guerrero, y por la Dirección General de Protección al Ambiente de la Comisión de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Guerrero.

EL PRESENTE INFORME DE PRUEBA FUE OBTENIDO A LA VEZ MEDIANTE LOS MÉTODOS ESTABLECIDOS EN LA NORMA NMX-AA-034-SCFI-2001.

LABORATORIO AMBIENTAL, S.C. DE ECONOMÍA MEXICANA DE INVESTIGACIÓN
CALLE DE MÉXICO, NO. 297, COLONIA ESPERANZA, C.P. 53500, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO



ANALYSER AMBIENTAL
ANÁLISIS Y SERVICIO AMBIENTAL
MARIÑO BACHAQUOTES BASTIENNE

INFORME BLANA 002 10/07

RESULTADOS ANALITICOS

EMPRESA: BENITO DAVID MORAN BAHUELOS	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: BLACOR.No.1
MUESTREO: 05.10.07 RECEPCION: 05.10.07	CODIGO DE LA MUESTRA: 07000000000074
ORIGEN DE LA MUESTRA: AGUA EXPERIMENTAL	PERIODO DE ANALISIS: 051007-101007

TEMPERATURA DE ACTIVACION DE 35 °C NO INOCULADO

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	ANALISTA	TECNICA
				ANALITICA
Sólidos Suspendedos Totales ^{1,2,3}	9.750	mg/l	ASD	NMX-AA-034-SOP1-2004
Demanda Bioquímica de Oxígeno ^{4,5}	13.280	mg/l	NBP	NMX-AA-034-SOP1-2004
Culturas Parasitas ^{6,7}	< 3	mg/100 ml	NBP	NMX-AA-011807
Culturas Totales ^{8,9}	110.000	mg/100 ml	NBP	NMX-AA-011807

Notas:

Los análisis se realizaron de acuerdo a los Métodos indicados en los formatos Oficiales Mexicanos, utilizando como apoyo la sigla metodología APOC-MANAB-APCF Método Normalizado para el análisis de Agua Potable y Residual.

SUPERVISES:

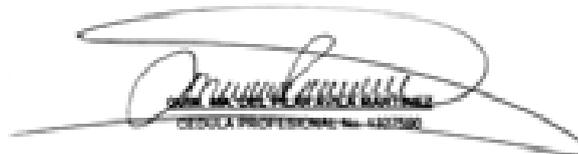
- 1. Método de Prueba aprobado ante SEMAR 2. Método de Prueba Normalizado por la Red de Laboratorios Ambientales de CDMX, CDMEX, y CDMO
- 3. Método de Prueba aprobado por el C.M.A. 4. Método de Prueba aprobado por el C.M.A. (COPET/05) 5. Método de Prueba aprobado por el Laboratorio

< 3 mg/l al final de cuantificación 0.11 millones por litro mg/l exigencia por litro
 NBP Método Más Preciso

El plan y el método de muestreo están referidos al formato APOC-FCR y a los procedimientos de muestreo APOC-04-MAD-06, APOC-04-MAD-07 respectivamente, que cumplen con el sistema de calidad del Laboratorio.

EL PRESENTE INFORME DE PRUEBA SOLO APLICARÁ A LA(S) MUESTRA(S) SOMETIDA(S) A EVALUACION EN LA(S) FECHA(S) Y CONDICIONES INDICADAS.

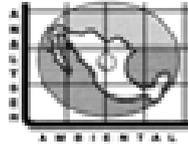
ESTOS RESULTADOS NO PODRAN SER REPRODUCCION TOTAL O PARCIALMENTE EN LA AUTOREACCION POR ERROR DEL LABORATORIO ANALYSER AMBIENTAL, DR. MARIÑO BACHAQUOTES BASTIENNE.


 CREDENCIAL PROFESIONARIA No. 4427580

LAB. QUÍMICA RESIDUAL Y TUBERÍA UNIVERSIDAD

2/8

CARRETERA No. 6 COL. PROVIDENCIA MÉXICO, D.F. C.P. 06708 TEL: 57 47 11 51 TEL/FAX: 57 47 11 51 E-MAIL: analiser_lab@hotmail.com



ANALISIS AMBIENTAL
ANÁLISIS Y SERVICIO AMBIENTAL
MARRO BACHAQUOTES MARTINEZ

REPORTE DE ANÁLISIS 10011047

RESULTADOS ANALITICOS

EMPRESA: BENITO DAVID MORAN BAHUELOS	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: BIOLACTOR No. 3
MUESTREO: 10.10.07 RECEPCION: 10.10.07	CODIGO DE LA MUESTRA: 07101000000000079
ORIGEN DE LA MUESTRA: AGUA EXPERIMENTAL	PERIODO DE ANALISIS: 10/10/07-10/10/07

TEMPERATURA DE ACTIVACION DE 30 °C NO INOCULADO

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	ANALISTA	TECNICA
				ANALITICA
Sólidos Suspensos Totales ^{1,2,3}	4.070	mg/l	ABT	NMX-AA-004-SCTI-2001
Demanda Biológica de Oxígeno ^{1,2,3}	16.320	mg/l	NBP	NMX-AA-008-SCTI-2001
Coliformos Fecales ^{1,2,3}	< 3	nmp/100 ml	NBP	NMX-AA-42-1997
Coliformos Totales ^{1,2,3}	46.000	nmp/100 ml	NBP	NMX-AA-42-1997

Notas:

Los análisis se realizaron de acuerdo a los Métodos indicados en las Normas Cónicas Mexicanas utilizando como apoyo la sigla correspondiente a la Norma Mexicana utilizada para el análisis de Agua Potable y Residual.

SUPERACIONES:

- 1. Método de Prueba aprobado por SEMAR
- 2. Método de Prueba reconocido por la Red de Laboratorios Autorizados del S.S.A., S.E.MAR y S.E.COS
- 3. Método de Prueba aprobado por la C.A.A.
- 4. Método de Prueba aprobado por la S.S.A. (COFEPRIS)
- 5. Método de Prueba aprobado por el laboratorio.

< Menor al límite de cuantificación 46.17 unidades por litro nmp miligramos por litro
NMP Normas NMX Potable

El plan y el método de muestreo están referidos al formato AYSA-ABCA y a los procedimientos de muestreo AYSA-04-MAD-06, AYSA-04-MAD-07 respectivamente, que cumplen con el sistema de calidad del Laboratorio.

EL PRESENTE INFORME DE PRUEBA SOLO AFECTA A LA(S) MUESTRA(S) IDENTIFICADA(S) A EVALUACION EN LA(S) FECHA(S) Y CONDICIONES INDICADAS.

ESTOS RESULTADOS NO PODRAN SER REPRODUCCION TOTAL O PARCIALMENTE SIN LA AUTORIZACION POR ESCRITO DEL LABORATORIO ANALISIS AMBIENTAL, MO MARRO BACHAQUOTES MARTINEZ.

CEDULA PROFESIONAL No. 133766

LABORATORIO ANALISIS AMBIENTAL, S. DE RL DE CV

4/5

COMISIÓN No. 8 COL. PROVIDENCIA MEXICO, D.F. C.P. 04500 TEL.: 57 51 71 25 TEL/FAX: 57 51 51 55 E-Mail: analisis_ambiental@hotmail.com



ANALABER AMBIENTAL
ANÁLISIS Y SERVICIO AMBIENTAL
MIRAFLORES SACAMONTES MARTINEZ

FORMA BLANK 006 10-07

RESULTADOS ANALÍTICOS

EMPRESA: BENITO DAVID MORAN BAÑUELOS	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: REACCION No. 8
MUESTREO: 20-10-07 RECEPCION: 20-10-07	CODIGO DE LA MUESTRA: 07010000400007
ORIGEN DE LA MUESTRA: AGUA EXPERIMENTAL	PERIODO DE ANALISIS: 10/07-10/07

TEMPERATURA DE ACTIVACION DE 35 °C INOCULADO

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	ANALISTA	TECNICA ANALITICA
Sólidos Suspensos Totales ^{1.01}	4 580	mg/l	ACT	NMX-AA-038-SCFI-2001
Demanda Biológica de Oxígeno ^{1.01}	10 480	mg/l	MBP	NMX-AA-038-SCFI-2001
Culiformes Fecales ^{1.01}	= 0	mpq/100 ml	MBP	NMX-AA-038-SCFI-2001
Culiformes Totales ^{1.01}	400	mpq/100 ml	MBP	NMX-AA-038-SCFI-2001

Notas:

Los análisis se realizaron de acuerdo a las Técnicas indicadas en las Normas Mexicanas aplicadas como apoyo de las Métodos AFSA-038-SCFI-2001, Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residual.

Referencias:

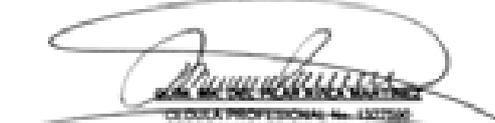
1. Método de Prueba Aprobado por el SEMAR. 2. Método de Prueba Recomendado por la Red de Laboratorios Ambientales de CDMX y CDM. (2003)
3. Método de Prueba Aprobado por la C. N. A. 4. Método de Prueba Aprobado por la C. S. A. (COFOPR) 5. Método de Prueba aplicado por el Laboratorio.

• Escala de título de certificación: 00/11 millones por litro. • mg/l coliformes por litro.
MBP Normas Agua Potable.

El lugar y el método de muestreo están referidos al formato AFSA-FR01 y a los procedimientos de muestreo AFSA-04-SPD-06, AFSA-04-MAD-07 respectivamente, que cumplen con el sistema de calidad del Laboratorio.

EL PRESENTE INFORME DE PRUEBA SOLO AFECTARÁ A LA(S) MUESTRA(S) SOMETIDA(S) A EVALUACION EN LA(S) FECHA(S) Y CONDICIONES INDICADAS.

ESTOS RESULTADOS NO PODRAN SER REPRODUCCION TOTAL O PARCIALMENTE EN LA AUTORIDAD POR ESCRITO DEL LABORATORIO ANALITICO AMBIENTAL, YO MIRAFLORES SACAMONTES MARTINEZ.


CÉDULA PROFESIONAL No. 142750

LABORATORIO ANALITICO AMBIENTAL, YO MIRAFLORES

2/8

REVISADO

ANÁLISIS AMBIENTAL
ANÁLISIS Y SERVICIO AMBIENTAL
MARIANO BANCARONTE MARTÍNEZ

16/10/2007

AYSA-FICA 2

INFORME DE CAMPO

MUESTREO DE AGUA RESIDUAL DE AGRICULTURA CON LA NORMA NOM-001-SEMAR-2004

a m m d g 16/10/07

CODIGO DE LA MUESTRA

Fecha de Muestreo	Cód. Mue.	Cód. Lab.	Muestreo
-------------------	-----------	-----------	----------

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO

RAZÓN SOCIAL	SEARCO S.A.S. MORAN BANEZOS		
DIRECCIÓN	CALLE 16 N° 274		
RESPONSABLE DEL ESTABLECIMIENTO	MARIANO BANCARONTE MARTÍNEZ		
ACTIVIDAD DEL ESTABLECIMIENTO	FABRIL DE AGUA RESIDUAL DE AGRICULTURA		
PROCESO QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA RESIDUA	FABRIL DE AGUA RESIDUAL DE AGRICULTURA		

EL PLAN Y EL MÉTODO DE MUESTREO SE DEBE INDICAR EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LAS MUESTRAS Y A LOS PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO DE AGUA RESIDUAL DE AGRICULTURA RESPECTIVAMENTE, QUE CUMPLAN CON EL SISTEMA DE CALIDAD DEL LABORATORIO.

2. OBSERVACIONES Y DESCRIPCIÓN EN LA TOMA DE LA MUESTRA

Describe el punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otra en el mismo lugar y describir cualitativamente el olor y color de las muestras, así como si hubo modificaciones al procedimiento.

LAS MUESTRAS SE TOMARON EN EL ÁREA DEL LABORATORIO DE PROCESOS EL CUAL SE ENCUENTRA EN LA PARTE POSTERIOR DE LA FERIA ZARAGOZA CAMPO II.

3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO REALIZADAS EN LA DESCARGA MUESTREADA

MARCO NORMATIVO

PARAMETRO	NORMA	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO DE MUESTREO	MÉTODO DE ANÁLISIS	NÚMERO DE MUESTRAS	DIFERENCIA MUESTREO	
						MÍNIMO	MÁXIMO
TEMPERATURA	NOM-001-SEMAR-2004	°C	SEMPRE EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LA MUESTRA	SEMPRE EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LA MUESTRA	1	1	1
pH	NOM-001-SEMAR-2004	U.N.	SEMPRE EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LA MUESTRA	SEMPRE EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LA MUESTRA	1	1	1
CONDUCTIVIDAD	NOM-001-SEMAR-2004	µS/cm	SEMPRE EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LA MUESTRA	SEMPRE EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LA MUESTRA	1	1	1
TURBIDEZ	NOM-001-SEMAR-2004	NTU	SEMPRE EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LA MUESTRA	SEMPRE EN EL MOMENTO DE LA TOMA DE LA MUESTRA	1	1	1

MUESTRA	TEMP. °C			pH	C.E. (µmhos/cm)	M.P.	Color (Cob)	DATOS PARA EL CÁLCULO			Caudal	Observaciones	
	1	2	3					Temp. (°C)	Vel. (m/s)	Prof. (m)			Ca
Q-1	22.5	22.5	22.5	7.5	150	0.5	10						
Q-2	22.5	22.5	22.5	7.5	150	0.5	10						
Q-3	22.5	22.5	22.5	7.5	150	0.5	10						
Q-4	22.5	22.5	22.5	7.5	150	0.5	10						

Observaciones: Se tomaron muestras de agua residual de la descarga de las máquinas de la feria Zaragoza.

RESPONSABLE DEL ESTABLECIMIENTO NOMBRE Y FIRMA	RESPONSABLE DE MUESTREO NOMBRE Y FIRMA	REP. DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO NOMBRE Y FIRMA
---	---	--

NOTAS:

MF: Muestra Filtrada AUSPRES: Ausente/Presente de Línea por segundo X: Promedio U: Unidades m³: milímetros por metro

FECHA DE ELABORACIÓN: 16/10/07 ELABORÓ: BENITO DAVID MORAN BANEZOS REVISÓ: MARIANO BANCARONTE MARTINEZ FIRMA: MARIANO BANCARONTE MARTINEZ

CORRELA: 1 CUL: PROYECTOS MEXICO, D.F. C.P. 04540 TEL. 07 07 07 TELÉFAX 07 07 07 E-MAIL: mcb@fotomail.com