

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA INCINERACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

VERÓNICA PAULINA CALVACHI VALVERDE
veritocalvachi@hotmail.com

NATALIA ELIZABETH NAVARRO DONOSO
naty21nena@hotmail.com

DIRECTOR: ING. ISAÍAS MUÑOZ M.SC
marcelo.munoz@epn.edu.ec

Quito, agosto 2013

DECLARACIÓN

Nosotras, Verónica Paulina Calvachi Valverde y Natalia Elizabeth Navarro Donoso declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes de este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por su normativa institucional vigente.

VERÓNICA CALVACHI VALVERDE

NATALIA NAVARRO DONOSO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Verónica Paulina Calvachi Valverde y Natalia Elizabeth Navarro Donoso, bajo mi supervisión.

PROF. ING. MARCELO MUÑOZ R. M. SC
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la vida, estar conmigo en cada paso que doy e iluminar mi mente para hacer de mí, una mejor persona cada día.

A mis padres Nancy y Carlos, gracias por ser mis padres, son mi orgullo debido a que con su responsabilidad, sacrificio, comprensión y amor, guían a sus hijas por el mejor camino, culminando con éxito todas las etapas de nuestra vida.

A mi chiquita Karly por tu apoyo en las buenas y las malas, sabes que yo estoy para ti en todo momento, te quiero mucho hermanita.

A mi familia, especialmente a mis tíos Cristóbal, Narcio y Marco, por su apoyo incondicional.

A los ingenieros, Ing. César Narváez, Ing. Luis Jaramillo, Ing. Natalia Valencia, Ing. Germán Luna, por todo el apoyo brindado para la realización de nuestro proyecto de tesis y especialmente Ing. Marcelo Muñoz por ser un excelente director, apoyándonos continuamente.

A mi compañera de tesis por el apoyo en la realización de nuestra tesis, un placer haber trabajado juntas.

A mis amigos, Juan Carlos, Pablo, Víctor, Anet, Andre, Vane, Mona, Henry, Lucy, Lenin, Riky, Naty, Iván, Christian, Cris y Marco Stalin por ser parte de mi vida, compartir los buenos y malos momentos, Christian por tu cariño, comprensión y especialmente siempre apoyándome positivamente.

A mis compañeros, quienes me acompañaron en esta trayectoria de conocimientos y experiencias compartidas.

VERO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por haberme dado la vida, por no abandonarme en ningún momento, llenarme de bendiciones y darme motivos para luchar por lo que quiero.

Agradezco a mi familia principalmente a mi madre que ha estado ahí toda mi vida pendiente de mí, gracias por todas sus guías y enseñanzas mi Nurita querida, porque sin ellas no sería la persona que soy, gracias por ser una madre excepcional, le quedo de por vida agradecida. Gracias a ti mi Anita Lucía, mi ñaña linda y angelito de mi familia, ¡por fin acabe la U! Gracias Ricky por ser más que un padre un amigo incondicional en toda mi formación, por su apoyo y por su confianza en mí. Agradezco al niño de mis ojos, mi chiquito al que vi nacer y estoy viendo crecer, mi ñaño Jorgito, gracias por todo enano.

Agradezco a mis amig@s que han estado conmigo en las buenas y malas y han sido parte sustancial de mi vida, por todo lo que me han demostrado, de corazón gracias.

Gracias Suze por su apoyo, cariño, por quererme y escucharme como una madre.

Gracias mi Jeissito, por brindarme tu apoyo, amor incondicional, por estar ahí en las buenas y malas, porque nunca permites que me rinda y siempre estas alentándome a conseguir mis metas y objetivos, gracias. ¡Te quiero mucho!

Gracias a todos los ingenieros que me han formado tanto profesionalmente y más aún a quienes han aportado para formarme como persona. Agradezco a mi director de tesis el Ing. Muñoz que siempre nos apoyó y alentó en todo el desarrollo de la tesis. Gracias Ing. Nathy, Ing. Narváez, Ing. Jaramillo e Ing. Luna por sus aportes y guías para el desarrollo de este proyecto.

NATHYTA

DEDICATORIA

A mis padres, hermana y familiares por su amor y apoyo en todo lo necesario para cumplir mis objetivos de realizarme como persona y profesionalmente.

A aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante toda mi vida.

VERO

DEDICATORIA

A Dios porque siempre estuvo a mi lado guiándome y bendiciéndome, sin Él no hubiese podido lograrlo.

A mi madre porque siempre ha estado ahí alegrándose de mis triunfos y apoyándome en todo momento, porque se jacta de decir que está orgullosa de mí y que soy la niña de sus ojos, sin darse cuenta que la que está orgullosa de ella soy Yo ¿cómo no estarlo? si es una mujer tan luchadora, tan entregada y que siempre se ha dedicado a dar todo de sí para ver a sus hijos sobresalir, ¡felicitaciones madrecita!, ¡Lo logramos! ¡Soy profesional gracias a usted! ¡La quiero mucho!

A mi Bro Jorgito, espero que sepas que más que mi ñaño eres mi amigo y siempre estaré ahí para ti, apoyándote y animándote a cumplir todas tus metas y objetivos, así como tú me acompañas ahora que alcancé uno de mis grandes objetivos, ya eres todo un señor y estoy muy orgullosa de ti, gracias por tus palabras de aliento y por tus abrazos, he aprendido mucho de ti, gracias por todo Enano.

Dedicada también a mi abuelita Imelda por su cariño y apoyo en esta importante etapa de mi vida, ¡gracias por todo abuelita linda! Ya tiene una nieta ingenierita.

NATHYTA

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
PRESENTACIÓN	XVIII
CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO 2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	5
2.1.1 GENERALIDADES	5
2.1.1.1 Definición	5
2.1.1.2 Composición	5
2.1.1.3 Propiedades	7
2.1.1.3.1 Propiedades Químicas	7
2.1.1.3.2 Propiedades Físicas	9
2.1.1.3.3 Propiedades Biológicas	11
2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	12
2.1.2.1 Residuos Sólidos Inorgánicos	12
2.1.2.2 Residuos Sólidos Orgánicos	12
2.1.2.2.1 Residuos de fácil biodegradación	13
2.1.2.2.2 Residuos de difícil biodegradación	14

2.1.3	TASA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	15
2.1.3.1	Cantidad de Residuos Sólidos	15
2.1.3.2	Tasa Per Cápita (TPC)	15
2.1.4	MODELOS DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	16
2.1.4.1	Modelo de Gestión de Residuos Mezclados	17
2.1.4.1.1	Lixiviado	17
2.1.4.2	Modelo de Gestión de Residuos Separados	19
2.1.4.3	Modelo de Gestión de Residuos para el Área Rural	20
2.2	INCINERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	21
2.2.1	GENERALIDADES DE LA INCINERACIÓN	23
2.2.1.1	Ventajas de la Incineración	24
2.2.1.2	Desventajas de la Incineración	24
2.2.1.3	Proceso de la Incineración	25
2.2.1.4	Tipos de incineradores	26
2.2.1.4.1	Incineración con horno de cámara fija	26
2.2.1.4.2	Incineración con horno de parrilla móvil	27
2.2.1.4.3	Incineración en horno rotatorio	28
2.2.1.4.4	Incineración en lecho fluidizado	29
2.2.1.4.5	Comparación de los tipos de incineración	31
2.3	EFFECTOS AMBIENTALES	32
2.3.1	CONTAMINACIÓN DEL AGUA	32
2.3.2	CONTAMINACIÓN DEL SUELO	32
2.3.3	CONTAMINACIÓN DEL AIRE	33
2.3.3.1	Producción de biogás	33
2.3.3.2	Quema a cielo abierto	34
2.3.4	EFFECTOS AMBIENTALES POR LA INCINERACIÓN	34
3	CAPÍTULO 3. INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO	36
3.1	MODELO DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	36
3.2	RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES	36
3.3	ACONDICIONAMIENTO	37
3.3.1	TRITURADO	40
3.4	INCINERACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA	41
3.4.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES QUE SE VAN A INCINERAR	41
3.4.2	ESTUDIO PREVIO DE LA MUESTRA EXPERIMENTAL	45
3.5	PARÁMETROS DE CONTROL	49
3.5.1	PODER CALORÍFICO INFERIOR	49
3.5.2	REDUCCIÓN DE VOLUMEN	53
3.5.3	REDUCCIÓN DE PESO	57

3.5.4	PESO ESPECÍFICO.....	60
3.5.4.1	Determinación de la Densidad Aparente de las Cenizas	60
3.5.4.2	Determinación de la Densidad Real de las Cenizas	62
3.5.5	LIXIVIACIÓN DE CENIZAS.....	65
3.5.5.1	Determinación de la lluvia de intensidad máxima	65
3.5.5.2	Simulación del paso de la lluvia en el área de cenizas de los residuos.....	67
3.5.5.3	Medición de la Demanda Química de Oxígeno del lixiviado de las cenizas.....	69
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y EVALUACIÓN AMBIENTAL		76
4.1	EMISIONES	76
4.2	CALIDAD DE LAS CENIZAS.....	78
4.3	ANÁLISIS DE LA LIXIVIACIÓN DE CENIZAS (DQO).....	79
4.5	ANÁLISIS ECONÓMICO	81
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		82
5.1	CONCLUSIONES	82
5.2	RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		86
ANEXOS		92
	ANEXO N° 1.....	93
	MARCO JURÍDICO	93
	ANEXO N° 2.....	97
	RESULTADOS DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES	97
	ANEXO N° 3.....	100
	DATOS DE REDUCCIÓN DE PESO, REDUCCIÓN DE VOLUMEN, DENSIDAD APARENTE, DENSIDAD REAL, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, SÓLIDOS FIJOS (SF).....	100
	ANEXO N° 4.....	106
	CARTAS DE ISOLÍNEAS Y TABLAS DE LA INTENSIDAD MÁXIMA DIARIA ..	106
	ANEXO N° 5.....	110
	PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO CON EL HACH.....	110
	ANEXO N° 6.....	116
	INFORME DE LA CARACTERIZACIONES GASESOSAS DE LA INCINERACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA BIODEGRADABLE	116

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 2. 1. Estimación de la producción de residuos sólidos.....	13
GRÁFICO 3. 1. Composición de la muestra experimental de residuos sólidos orgánicos biodegradables con humedad.....	43
GRÁFICO 3. 2. Porcentaje de sólidos de la muestra experimental seca de residuos sólidos orgánicos biodegradables.....	44
GRÁFICO 3. 3. Variación de la DQO de la muestra de experimentación a diferentes temperaturas de incineración.....	46
GRÁFICO 3. 4. Relación SV/ST en función de la temperatura	47
GRÁFICO 3. 5. Porcentaje de Reducción de Peso vs Temperatura de Incineración	48
GRÁFICO 3. 6. Porcentaje de Reducción de Volumen vs Temperatura de Incineración	49
GRÁFICO 3. 7. Porcentaje de disminución del volumen en función de la temperatura	56
GRÁFICO 3. 8. Porcentaje de disminución del peso en función de la temperatura	59
GRÁFICO 3. 9. Densidad aparente en función de la temperatura	61
GRÁFICO 3. 10. Densidad real en función de la temperatura.....	64
GRÁFICO 3. 11. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 1 en función de la temperatura.....	73
GRÁFICO 3. 12. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 2 en función de la temperatura.....	73
GRÁFICO 3. 13. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 3 en función de la temperatura.....	74
GRÁFICO 3. 14. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 4 en función de la temperatura.....	74
GRÁFICO 3. 15. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 5 en función de la temperatura.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 1. Residuos Sólidos Urbanos.....	5
FIGURA 2. 2. Residuos sólidos inorgánicos.....	12
FIGURA 2. 3. Residuos orgánicos de fácil biodegradación.....	14
FIGURA 2. 4. Residuos orgánicos de difícil biodegradación	14
FIGURA 2. 5. Modelo de gestión de residuos mezclados	18
FIGURA 2. 6. Modelo de gestión de residuos separados.....	19
FIGURA 2. 7. Modelo de gestión de residuos para el área rural	20
FIGURA 2. 8. Sistemas de Tratamiento Térmico	21
FIGURA 2. 9. Proceso de gasificación	23
FIGURA 2. 10. Esquema de una planta incineradora.....	25
FIGURA 2. 11. Esquema de un horno de parrilla	28
FIGURA 2. 12. Esquema de un incinerador de horno rotatorio	29
FIGURA 2. 13. Esquema de un incinerador de lecho fluidizado.....	30
FIGURA 2. 14. Cuerpos de agua contaminados	32
FIGURA 2. 15. Suelos contaminados por residuos urbanos	33
FIGURA 2. 16. Quema a cielo abierto.....	34
FIGURA 3. 1. Esquema de determinación de sólidos fijos a partir del peso total.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1. Composición de los residuos sólidos urbanos para países con ingresos bajos, medianos e industrializados	6
TABLA 2. 2. Composición de los residuos sólidos urbanos en Ecuador	6
TABLA 2. 3. Composición química de los residuos urbanos (% peso en base seca).....	7
TABLA 2. 4. Poder calorífico inferior de los residuos sólidos urbanos	9
TABLA 2. 5. Poder calorífico inferior de los residuos sólidos urbanos	10
TABLA 2. 6. Peso específico de los residuos sólidos urbanos.....	10
TABLA 2. 7. Fracción biodegradable de los residuos sólidos urbanos.....	11
TABLA 2. 8. Tiempo de degradación de los residuos orgánicos	13
TABLA 2. 9. Tasa per cápita de los residuos sólidos urbanos para países con ingresos bajos, medianos e industrializados	16
TABLA 2. 10. Composición de lixiviado de un relleno sanitario.....	18
TABLA 2. 11. Comparación entre un relleno sanitario con residuos mezclados y residuos separados	20
TABLA 2. 12. Comparación de los diferentes tipos de incineración	31
TABLA 2. 13. Impactos ambientales ocasionados por plantas incineradoras	35
TABLA 3. 1. Contenido de las muestras de residuos sólidos orgánicos de fácil biodegradación.....	37
TABLA 3. 2. Relación de pesos de una muestra de residuos sólidos orgánicos.....	43
TABLA 3. 3. Resultados de la DQO de lixiviación obtenidos a diferentes temperaturas	45
TABLA 3. 4. Sólidos Fijos, Volátiles y Totales de la muestra experimental en función de la temperatura.....	46
TABLA 3. 5. Resultados de reducción de peso y volumen de la muestra experimental.....	47
TABLA 3. 6. Resultados de la DQO del lixiviado de la muestra experimental incinerada.....	48
TABLA 3. 7. Poder calorífico inferior de las cinco muestras.....	53

TABLA 3. 8. Resultados del porcentaje de disminución del volumen.....	56
TABLA 3. 9. Porcentaje de reducción del peso de las muestras.....	59
TABLA 3. 10. Densidad aparente de las cenizas de los residuos biodegradables.....	61
TABLA 3. 11. Densidad real de las cenizas de los residuos biodegradables	64
TABLA 3. 12. Intensidades máximas	66
TABLA 4. 1. Comparación de los resultados con los límites máximos permisibles	77
TABLA 4. 2. Porcentaje de cenizas obtenidas en la incineración de residuos orgánicos biodegradables	78
TABLA 4. 3. DQO del lixiviado de las cenizas a una temperatura de 400°C	79
TABLA 4. 4. DQO del lixiviado de las cenizas a una temperatura de 500°C.....	79
TABLA 4. 5. DQO del lixiviado de las cenizas a una temperatura de 600°C.....	80
TABLA 4. 6. Costos operacionales por tonelada de residuos sólidos en países de Latino América	81

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 3. 1. Recolección de residuos en la fuente de generación	36
FOTOGRAFÍA 3. 2. Recipiente de recolección de los residuos orgánicos.....	38
FOTOGRAFÍA 3. 3. Recipiente con funda blanca	38
FOTOGRAFÍA 3. 4. Recipiente de recolección en la cocina	39
FOTOGRAFÍA 3. 5. Mezcla de los residuos orgánicos	40
FOTOGRAFÍA 3. 6. Triturado de los residuos biodegradables	40
FOTOGRAFÍA 3. 7. Residuos picados.....	41
FOTOGRAFÍA 3. 8. Residuos picados.....	50
FOTOGRAFÍA 3. 9. Secado de los residuos biodegradables.....	50
FOTOGRAFÍA 3. 10. Muestras enfriándose en el desecador	51
FOTOGRAFÍA 3. 11. Muestra molida.....	51
FOTOGRAFÍA 3. 12. Muestra rotulada	51
FOTOGRAFÍA 3. 13. Determinación del poder calorífico	52
FOTOGRAFÍA 3. 14. Residuos orgánicos biodegradables picados	54
FOTOGRAFÍA 3. 15. Medición del volumen antes de entrar a la mufla	54
FOTOGRAFÍA 3. 16. Medición del volumen a la salida de la mufla	55
FOTOGRAFÍA 3. 17. Medición del peso de las cápsulas y de las muestras	57
FOTOGRAFÍA 3. 18. Incineración de los residuos.....	58
FOTOGRAFÍA 3. 19. Medición del peso de las muestras salidas de la mufla.....	58
FOTOGRAFÍA 3. 20. Dosificadores con un volumen conocido	62
FOTOGRAFÍA 3. 21. Colocación de la muestra incinerada en el dosificador	62
FOTOGRAFÍA 3. 22. Formación del área de cenizas en la bureta	67
FOTOGRAFÍA 3. 23. Colocación del agua destilada en la bureta.....	68
FOTOGRAFÍA 3. 24. Recolección del lixiviado	68
FOTOGRAFÍA 3. 25. Recolección del lixiviado a diferentes temperaturas.....	69
FOTOGRAFÍA 3. 26. Muestra del lixiviado de las cenizas en el vial	70
FOTOGRAFÍA 3. 27. Mezcla de los viales	70
FOTOGRAFÍA 3. 28. Blanco de bajo y alto rango	71
FOTOGRAFÍA 3. 29. Digestión de los viales.....	71
FOTOGRAFÍA 3. 30. Enfriamiento de las muestras de lixiviado	72
FOTOGRAFÍA 3. 31. Medición de la DQO del lixiviado de las cenizas	72

RESUMEN

El presente proyecto de Titulación consiste en una investigación bibliográfica sobre la gestión de residuos sólidos orgánicos biodegradables mediante incineración y una investigación experimental en laboratorio para la determinación de los parámetros del proyecto.

Actualmente la gestión de residuos sólidos urbanos mezclados en los rellenos sanitarios en especial cuando son deficientemente operados producen problemas como generación de vectores, presencia de patógenos, producción de lixiviados y emisión de gases contaminantes que afectan a la salud humana y al ambiente. Por ello se propone buscar otras alternativas de gestión de residuos sólidos urbanos para minimizar los impactos producidos por los mismos.

Esta investigación pretende determinar la factibilidad de un nuevo modelo de gestión de residuos urbanos separados, mediante la incineración de residuos orgánicos biodegradables analizando su poder calorífico, reducción de peso, reducción de volumen y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del lixiviado de las cenizas luego de la incineración de los residuos a 400°C, 500°C y 600°C en una mufla a nivel de laboratorio, también se evalúa la calidad de las emisiones de incineración a 600°C.

Los resultados de los parámetros analizados fueron favorables contribuyendo a una respuesta positiva e incentivando a investigaciones posteriores para la aplicación de este método.

PALABRAS CLAVES: Residuos sólidos orgánicos biodegradables, poder calorífico, demanda química de oxígeno, lixiviado.

ABSTRACT

The presented Degree Project consists of a bibliographical research of the treatment of biodegradable organic solid waste by incineration and an experimental laboratory research for determinate the parameters of the project.

Nowadays the bad treatment of mixed urban solid waste in landfills produces several problems such as vectors generation, pathogens, leachate production and emission of pollutants that affect the human health and the environment. Because of that other alternatives for solid waste treatment are proposed to minimize the impact caused by them.

This research was made to determine the viability of a new treatment model of separated waste by incineration, analyzing biodegradable organic waste by means of their heating value, weight reduction, volume reduction and Chemical Oxygen Demand (COD) of the leachate from the ashes that results from the incineration of waste to 400 ° C, 500 ° C and 600 ° C in a muffle furnace at laboratory. The quality of emissions from incineration at 600 ° C is also evaluated in this research.

The results of the analyzed parameters contributed to a positive response and expect to encourage further research for the application of this method.

KEY WORDS: Biodegradable organic solid waste, heating value, chemical oxygen demand, leachate.

PRESENTACIÓN

En el presente proyecto se establece la factibilidad de una alternativa de gestión de residuos urbanos proponiendo un modelo de gestión de residuos separados y la incineración de los residuos sólidos orgánicos biodegradables.

El capítulo 1 “Aspectos generales”, proporciona una introducción a la problemática actual, en donde se justifica la importancia de esta investigación así como los objetivos propuestos.

En capítulo 2 “Investigación Bibliográfica”, contiene la parte teórica de la tesis en donde se detallan las definiciones a utilizar en el desarrollo de la tesis, incluyendo características y gestión de los residuos sólidos, como también los procesos térmicos de tratamiento de los mismos haciendo énfasis en la incineración.

El capítulo 3 “Investigación de Laboratorio”, describe los procedimientos experimentales utilizados en la investigación para determinar los parámetros a analizar.

En el capítulo 4 “Resultados y Evaluación Ambiental” se hace un análisis de los resultados obtenidos destacando las emisiones, la calidad de las cenizas y la demanda química de oxígeno de los lixiviados.

El capítulo 5 “Conclusiones y Recomendaciones” contiene las conclusiones y recomendaciones en base a los objetivos planteados en esta investigación.

El capítulo 6 “Referencias Bibliográficas” se presentan las bases científicas en las que se basó esta investigación.

Finalmente en el capítulo 7 “Anexos” se incluye el marco jurídico, resultados de poder calorífico, datos de los parámetros analizados, cartas de isolíneas y tablas de intensidad, como también el procedimiento para determinar la DQO y el informe de la caracterización de las emisiones.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos mezclados que se tiene en la mayor parte del Ecuador conlleva a una disposición final de los mismos en rellenos sanitarios, y al no utilizarlos adecuadamente se generan lixiviados que contienen metales pesados, patógenos y altas cantidades de materia orgánica, lo que provoca problemas de proliferación de vectores y contaminación del suelo y del agua tanto superficial como subterránea. Además estos residuos en los rellenos sanitarios emiten gases de efecto invernadero.

Uno de los procesos térmicos de tratamiento de residuos sólidos urbanos es la incineración, contribuyendo a la reducción del volumen y aprovechando el poder calorífico de los mismos para la generación de energía. Una de las desventajas de este proceso son las emisiones tóxicas que se producen como dioxinas y furanos por lo que se requiere de un método para la depuración de los gases. Este tipo de incineradores trabajan a temperaturas mayores a 900°C, considerando que a medida que aumenta la temperatura de operación también aumenta el costo.

Considerando los problemas mencionados anteriormente y las tecnologías actuales se propone una incineración de residuos orgánicos biodegradables que disminuye los problemas por contaminación y uso del suelo, ya que al reducir el volumen se aumentaría el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios.

Además se reduce la DQO de los lixiviados minimizando la contaminación del agua y reduciendo los problemas que afectan a la salud humana y al ambiente al no obtener ni dioxinas ni furanos en los gases de emisión en la incineración de residuos orgánicos biodegradables, ya que las dioxinas y furanos se producen cuando en la incineración existen plásticos o materiales similares.

Esta investigación, que fue realizada en su totalidad en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, pretende establecer el comportamiento de los residuos sólidos orgánicos biodegradables domiciliarios, estudiando su poder calorífico, reducción de peso, reducción de volumen, análisis de emisiones de la incineración y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del lixiviado de las cenizas luego de la incineración de los residuos a 400°C, 500°C y 600°C en una mufla a nivel de laboratorio.

Para la determinación del poder calorífico de las muestras de residuos sólidos orgánicos biodegradables, se realizó la combustión de los mismos en una bomba calorimétrica.

Se tomaron datos de peso, volumen antes y después de la incineración de los residuos sólidos orgánicos biodegradables, con los que se obtuvo el porcentaje de reducción de los mismos que ayuda a reducir el espacio demandado por estos residuos en los rellenos sanitarios.

Se analizó la DQO del lixiviado de las cenizas de los residuos sólidos orgánicos biodegradables simulando que por un área de cenizas pasa una lluvia de intensidad máxima 150 mm/h valor calculado con datos de la estación de Izebamba de Quito.

Esta investigación propone un nuevo modelo de gestión de residuos sólidos urbanos y también contribuye a buscar una nueva forma de generación de energía, cambiando el concepto de basura a materia prima.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer la factibilidad de la gestión de los residuos orgánicos biodegradables domiciliarios mediante incineración y sus efectos ambientales.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el poder calorífico y la reducción de volumen de los residuos sólidos orgánicos biodegradables domiciliarios mediante la incineración en función de la temperatura.
- Establecer el nivel de contaminación del lixiviado del producto de la incineración.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el pasado la eliminación de los residuos sólidos generados, no planteaba un problema significativo, ya que la población era pequeña y la cantidad de terreno disponible para la asimilación de los residuos era grande.

Actualmente el acelerado proceso de urbanización junto a la modificación de los patrones de consumo han originado un incremento en la generación de los residuos sólidos urbanos, de los cuales aproximadamente el 60% son orgánicos biodegradables que son responsables del uso de grandes extensiones de terreno y de la producción de lixiviados, siendo estos últimos causantes de la contaminación del suelo y de la producción de vectores como moscas, ratas, entre otros, afectando la salud humana, por lo cual una gestión apropiada mediante la utilización de tecnologías modernas ayudaría a evitar problemas de espacio físico y contaminación en su disposición final.

En la actualidad se tiene problemas de uso del suelo y sociales, debido a la gran extensión de tierra que ocupa un relleno sanitario y a la contaminación del medio en donde se ubica el relleno, alterando el entorno natural y bienestar de las personas que se encuentren cerca del mismo.

Por lo anteriormente mencionado se ha decidido investigar la factibilidad de optar por la incineración de los residuos sólidos orgánicos biodegradables, que es una técnica que trata a los residuos con el fin de transformarlos en otros de menor peso, menor volumen y se puede aprovechar su poder calorífico para obtener energía. Además al no ser una incineración de residuos mezclados que producen dioxinas y furanos sino únicamente de residuos sólidos orgánicos biodegradables, todas las emisiones se encuentran bajo los límites permisibles establecidos en la normativa vigente, así como también disminuye la contaminación del suelo y del agua.

CAPÍTULO 2

INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

2.1.1 GENERALIDADES

2.1.1.1 Definición

Son objetos o sustancias de origen doméstico, provenientes de procesos de consumo y desarrollo, los cuales son abandonados debido a que han perdido su valor útil convirtiéndose en residuos. También se consideran residuos sólidos urbanos a los que se generan en industrias y establecimientos mientras no sean peligrosos para la salud como se puede observar en la figura 2.1.

(Gaggero, 2003)

FIGURA 2. 1. Residuos Sólidos Urbanos



Fuente: http://revista.consumer.es/web/es/20090501/actualidad/tema_de_portada/

2.1.1.2 Composición

Los residuos sólidos urbanos comprenden una gran cantidad y diversidad de materiales, por lo que es importante conocer sus características para tratarlos adecuadamente. Los residuos orgánicos corresponden al mayor porcentaje de los residuos (ver tabla 2.1 y 2.2).

Los residuos sólidos urbanos están compuestos por:

- Materia orgánica de fácil biodegradación: son restos procedentes de alimentos y residuos de jardinería.
- Papel y cartón: cuadernos, revistas, cajas, etc.
- Plástico: fundas, botellas, vasos, materiales desechables, etc.
- Vidrio: envases, botellas, etc.
- Metales: latas, alcancías, varillas, etc.
- Otras.

(Muñoz, 2008)

TABLA 2. 1. Composición de los residuos sólidos urbanos para países con ingresos bajos, medianos e industrializados

Composición %	Países		
	Bajos Ingresos	Medianos Ingresos	Industrializados
Vegetales /Putrescibles	40 a 85	20 a 65	20 a 50
Papel y cartón	1 a 10	15 a 40	15 a 40
Plásticos	1 a 5	2 a 6	2 a 10
Metales	1 a 5	1 a 5	3 a 13
Vidrio	1 a 10	1 a 10	4 a 10
Caucho y cuero	1 a 5	1 a 5	2 a 10
Material Inerte (Cenizas, tierra, arena...)	1 a 40	1 a 30	1 a 20

Fuente: Jaramillo J, 1999

TABLA 2. 2. Composición de los residuos sólidos urbanos en Ecuador

Material	Porcentaje (%)	Producción (Ton/día)
Materia orgánica	71.4	5298
Papel y cartón	9.6	709
Plástico	4.5	336
Vidrio	3.7	274
Metales	0.7	53
TOTAL	100	6669

Fuente: Análisis Sectorial de RSU en Ecuador, 2002

2.1.1.3 Propiedades

Conocer las propiedades de los residuos sólidos urbanos es muy importante para realizar una gestión apropiada de dichos residuos.

2.1.1.3.1 Propiedades Químicas

- Composición química: Se refiere a identificar los elementos químicos que forman parte de los residuos (ver tabla 2.3), esta propiedad es importante para determinar la cantidad de energía que se puede recuperar. Los residuos sólidos urbanos tienen un gran contenido de carbono, lo que facilita la combustión y a su vez la recuperación de energía.

TABLA 2. 3. Composición química de los residuos urbanos (% peso en base seca)

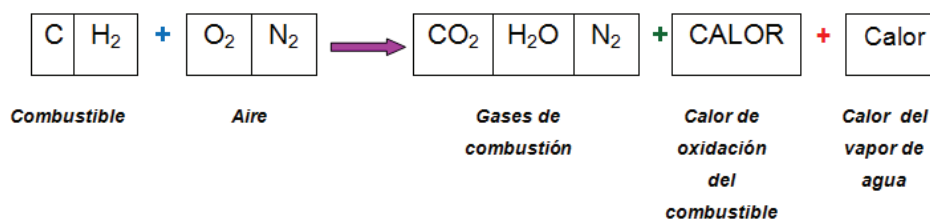
	Componentes	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Ceniza
Orgánicos	Residuos de comida	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0
	Residuos de jardinería	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	4,5
	Madera	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1	1,5
	Papel	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0
	Cartón	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0
	Plásticos	60,0	7,2	22,8	-	-	10,0
	Textiles	55,0	6,6	31,2	4,6	0,1	2,5
	Goma	78,0	10,0	-	2,0	-	10,0
Inorgánicos	Cuero	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0
	Vidrio	0,5	0,1	0,4	< 0,1	-	98,9
	Metales	4,5	0,6	4,3	< 0,1	-	90,5
	Suciedad, cenizas, etc.	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2	68,0

Fuente: Tchobanoglous George.et.al.,1998

- Poder Calorífico: Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa. Esta expresado en kcal/kg o kcal/m³.

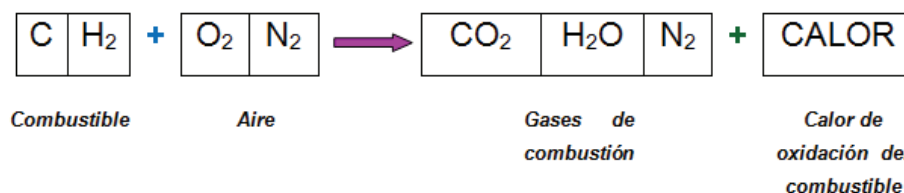
El poder calorífico de un combustible puede ser superior e inferior:

- El poder calorífico superior: es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa del combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado, entonces, se contabiliza el calor desprendido en este cambio de fase. De esta manera al condensar el vapor de agua contenido en los gases de combustión tendremos un aporte de calor de: 597 kcal / kg vapor de agua condensado.



(Fernández, 2005)

- El poder calorífico inferior: es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa del combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, sino que se expulsa en forma de vapor (ver tabla 2-4).



(Fernández, 2005)

Los residuos sólidos urbanos al contener carbono, hidrógeno y oxígeno tienen un contenido energético que les permite en algunos casos reemplazar a parcial o totalmente a algunos combustibles.

TABLA 2. 4. Poder calorífico inferior de los residuos sólidos urbanos

Material	PCI (Kcal/kg)
Residuos de comida	700
Papel y cartón	2500
Textil	3400
Madera	4300
Plástico	5000
Cáscaras de cítricos	1000
Césped	4500

Fuente: Conesa, 2005

En general el poder calorífico de los residuos urbanos se encuentra entre 1500 y 2200 Kcal/Kg.

2.1.1.3.2 Propiedades Físicas

- **Peso:** Los residuos urbanos utilizan unidades de peso como gramos, kilogramos, toneladas, etc. El peso de los residuos puede ser seco o húmedo, cuando el peso es húmedo se refiere al peso de los residuos tal y como se los genera.
- **Humedad:** Es la cantidad de agua que contienen los residuos (ver tabla 2.5), la humedad se determina a partir de la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco de los residuos como se indica en la ecuación 2.1. El nivel de humedad de los residuos es importante si se calcula el poder calorífico, el tamaño del vertedero, reactores, entre otros.

$$\% H_2O = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100$$

(2.1)

(Kiely, 1999)

TABLA 2. 5. Poder calorífico inferior de los residuos sólidos urbanos

Componente	% H2O
Alimentos	70
Papel y cartón	5
Plásticos	2
Textiles	10
Vidrio	2
Metales	2
Cenizas, polvo	8

Fuente: Tchobanoglous,1993

- **Peso específico:** El peso específico o la densidad de los residuos sólidos sirve para determinar el volumen ocupado por una masa de residuos (ver tabla 2.6). Sus unidades son: kg/m^3 , g/cm^3 , kg/L .

TABLA 2. 6. Peso específico de los residuos sólidos urbanos

Tipos de residuos	Peso específico Kg/m^3	
	Rango	Típico
Residuos de comida	13 - 481	291
Papel	42 - 131	89
Cartón	42 - 80	50
Plásticos	42 - 131	65
Textiles	42 - 101	65
Cuero	10 -261	160
Residuos de jardín	59 - 225	101
Madera	131 - 320	237
Vidrio	160 - 481	196
Latas de hojalata	50 - 160	89
Aluminio	65 - 240	160
Cenizas	650 - 831	745

Fuente: Tchobanoglous George.et.al.,1998

2.1.1.3.3 *Propiedades Biológicas*

- Biodegradabilidad: Se entiende como la capacidad que tienen los residuos sólidos urbanos para degradarse mediante la acción de agentes biológicos. En el proceso de biodegradación se producen gases como metano, dióxido de carbono y otros compuestos que dan lugar a malos olores, característicos de la fermentación de los residuos sólidos urbanos. Además es importante tener en cuenta el contenido de lignina, el cuál determina la fracción biodegradable de los residuos (ver ecuación 2.2).
Las fracciones más biodegradables son los restos de comida y de jardinería.

$$BF = 0,83 - 0,028 LC \quad (2.2)$$

donde:

BF= Fracción Biodegradable

LC= Contenido de lignina

(Kiely, 1999)

La fracción biodegradable de los residuos se puede observar en la tabla 2.7 que se presenta a continuación.

TABLA 2. 7. Fracción biodegradable de los residuos sólidos urbanos

Componente	Contenido de lignina	Fracción Biodegradable (%)
Orgánicos	0,4	82
Papel periódico	21,9	22
Papel blanco	0,4	82
Cartón	12,9	47
Residuos de Jardín	4,1	72

Fuente: Tchobanoglous George.et.al.,1993

2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los residuos sólidos urbanos o municipales comprenden una mezcla heterogénea de materiales, pero por su composición se clasifican en dos grupos orgánicos e inorgánicos.

2.1.2.1 Residuos Sólidos Inorgánicos

Los residuos sólidos inorgánicos son materiales provenientes del proceso de la industrialización de recursos naturales como: vidrio, latas, aluminio, otros metales, tierra, cenizas, etc (ver figura 2.2).

La mayoría de estos materiales son reciclados para convertirse en nuevos productos.

(Tchobanoglous et.al., 2000)

FIGURA 2. 2. Residuos sólidos inorgánicos



Fuente: <http://alreciclar.com/el-vidrio-y-la-importancia-de-su-reciclaje-2/>

2.1.2.2 Residuos Sólidos Orgánicos

Los residuos sólidos orgánicos se dividen en residuos de fácil biodegradación y de difícil biodegradación.

La degradación de los residuos orgánicos puede ser desde 1000 años como los plásticos o 5 días como la cáscara de frutas (ver tabla 2.8).

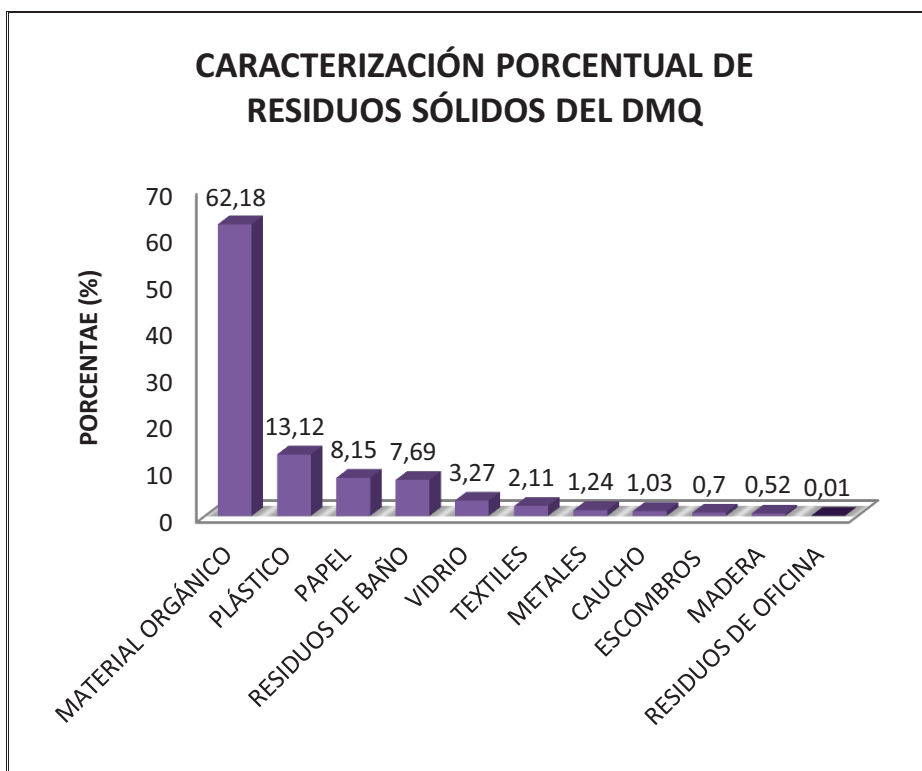
TABLA 2. 8. Tiempo de degradación de los residuos orgánicos

Residuos	Tiempo de Biodegradación
Cáscaras de frutas	De 5 días a 6 meses
Hortalizas	De 5 días
Madera en su forma natural	De 2 a 3 años
Papel	De 3 semanas a 2 meses
Cartón	De 5 años
Plásticos	De 100 a 1000 años
Cuero	De 24 años

Fuente: <http://www.ecologiahoy.com/biodegradacion>, 2011

2.1.2.2.1 Residuos de fácil biodegradación

Los residuos sólidos orgánicos de fácil biodegradación representan alrededor del 60% de los residuos sólidos urbanos (ver gráfico 2.1).

GRÁFICO 2. 1. Estimación de la producción de residuos sólidos

Fuente: EMASEO, 2010

Los residuos orgánicos de fácil biodegradación se descomponen en un tiempo relativamente corto, en su mayor parte son materiales resultantes de elaboración de comida y de restos vegetales, por ejemplo: frutas, restos de alimentos, vegetales, cáscaras, entre otros (ver figura 2.3).

Los residuos de fácil degradación en su descomposición producen olores fuertes y son fuente de atracción vectores causantes de enfermedades.

FIGURA 2. 3. Residuos orgánicos de fácil biodegradación



Fuente: http://spcolostrum.blogspot.com/2012_12_01_archive.html

2.1.2.2 Residuos de difícil biodegradación

Son residuos orgánicos que tienen ciclos de descomposición muy largos debido a sus características químicas, estos residuos al igual que los residuos inorgánicos se pueden reciclar para generar otros productos.

Los residuos orgánicos de difícil degradación son: papel, cartón, madera, plásticos, cuero, textiles, etc (ver figura 2.4).

FIGURA 2. 4. Residuos orgánicos de difícil biodegradación



Fuente: <http://www.ecologismo.com/2009/01/09/reciclaje-de-carton/>

2.1.3 TASA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

2.1.3.1 Cantidad de Residuos Sólidos

Conocer la cantidad de residuos generados por una población es indispensable para proporcionar un tratamiento adecuado a estos residuos. La cantidad de residuos se calcula con la siguiente fórmula (ver ecuación 2.3):

$$C.R.S = T.P.C * P_0 \quad (2.3)$$

donde:

C.R.S= Cantidad de Residuos

T.P.C= Tasa Per Cápita

P_0 = Población

(Muñoz, 2008)

2.1.3.2 Tasa Per Cápita (TPC)

Es la relación entre la cantidad de residuos generados en un día respecto al número de habitantes (ver tabla 2-9), para su determinación se utiliza la siguiente fórmula (ver ecuación 2.4):

$$T.P.C = \frac{\text{Peso registrado en un día } \left(\frac{Kg}{\text{día}}\right)}{\text{Número de habitantes (hab)}} , \quad \left(\frac{Kg}{\text{hab} * \text{día}}\right) \quad (2.4)$$

(Muñoz, 2008)

TABLA 2. 9. Tasa per cápita de los residuos sólidos urbanos para países con ingresos bajos, medianos e industrializados

Residuos Sólidos	Países		
	Bajos Ingresos	Medianos Ingresos	Industrializados
Generación per cápita kg/hab/día	0,3 a 0,6	0,5 a 1,0	0,7 a 2,2
Generación per cápita ton/hab/año	0,2	0,3	0,6

Fuente: Jaramillo J, 1999

De acuerdo a la CEPIS, la producción de residuos sólidos domiciliarios en América Latina y el Caribe varía entre 0,3 a 1,0 Kg/hab/día.

2.1.4 MODELOS DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La gestión de los residuos sólidos es un conjunto de operaciones articuladas entre factores técnicos, sociales, económicos y legales, con el propósito de contribuir a la protección del ambiente y el bienestar de las personas. Se busca lograr el manejo integral de los residuos sólidos desde su origen, almacenamiento, recolección, transporte, comercialización y disposición final.

(Hernández, 2010)

En la legislación del Ecuador el Manejo de los Residuos Sólidos en todo el país le corresponde a las municipalidades, de acuerdo a la Constitución de la República del Ecuador, Código Orgánico de Ordenamiento Territorial y Descentralización (COOTAD) y la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Salud.

Los principales actores involucrados en lo relacionado con los residuos sólidos son el municipio, el sector privado y la ciudadanía, los dos últimos deben tener una actitud responsable en cuanto a los residuos que generan, así como el municipio debe brindar un buen servicio en la gestión de estos residuos.

(Muñoz, 2008)

Debido a los problemas con la generación y manejo de residuos sólidos se han propuesto modelos de gestión basados en el principio de clasificación de residuos, para que estos sean aprovechados de una mejor manera y en algunos casos se conviertan en materia prima.

2.1.4.1 Modelo de Gestión de Residuos Mezclados

En este modelo los residuos sólidos van directamente al relleno sanitario sin una previa separación, lo cual provoca las siguientes desventajas:

1. Disminución de la vida útil del relleno sanitario
2. Incremento la producción de lixiviado
3. Reducción del precio de venta del material recuperado
4. Deterioro de los residuos reciclables
5. Aumento de la producción de biogás
6. Contaminación de todos los materiales

Uno de los problemas en el modelo de gestión de residuos mezclados es la generación de lixiviado, que contamina el agua superficial, subterránea y contribuye a la acidificación del suelo.

2.1.4.1.1 Lixiviado

El lixiviado es un líquido que se percola a través de los residuos en descomposición, formado por el agua de lluvia, escorrentía, humedad de los residuos o descomposición de los residuos orgánicos, este líquido tiene una alta carga orgánica, metales pesados, coliformes fecales entre otros. Este problema se genera cuando no existe un control adecuado de la entrada de líquidos en los rellenos sanitarios o en los botaderos.

(Muñoz, 2008)

En la tabla 2.10 se presenta la composición típica del lixiviado de un relleno sanitario de residuos domésticos.

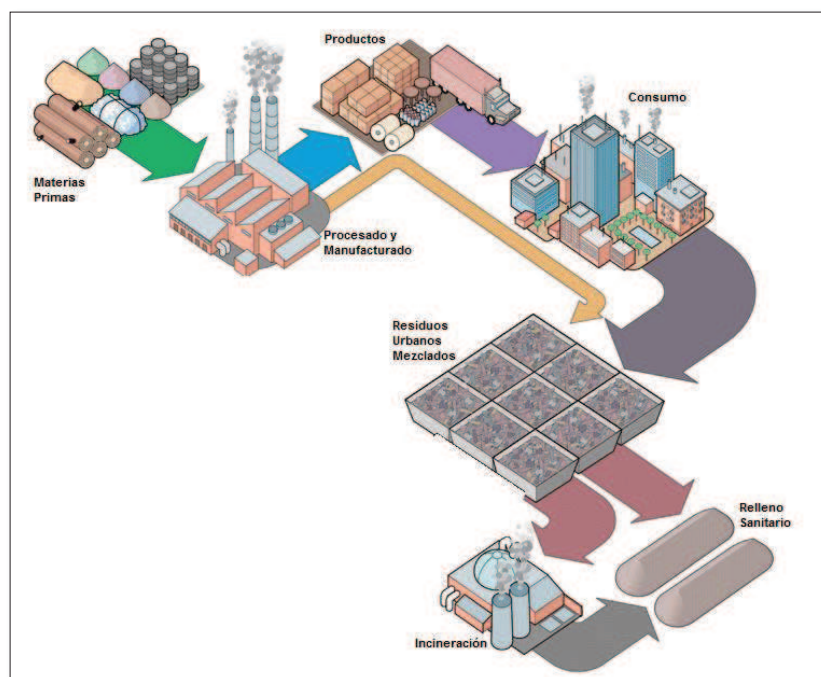
TABLA 2. 10. Composición de lixiviado de un relleno sanitario

Componentes	Rango (mg/l)	Componentes	Rango (mg/l)
Cloruros	100 - 400	Sodio	200 - 2000
Cobre	0 - 9	Sulfatos	100 - 1500
Hierro	50 - 600	Nitratos	5 - 40
Flúor	0 - 1	Dureza	300 - 10000
Cadmio	0 - 17	DBO	2000 - 30000
Cromo VI	2	DQO	3000 - 45000
Plomo	2	pH	5,3 - 8,5

Fuente: Muñoz, 2008

Para evitar los problemas de contaminación que se tiene en este modelo, se propone incrementar una planta de reciclaje después de la recolección mezclada, en donde se separen los residuos que pueden ser recuperados. Además en los países que poseen una alta tecnología los residuos mezclados van directamente a una planta de incineración para luego producir energía eléctrica (ver figura 2.5).

FIGURA 2. 5. Modelo de gestión de residuos mezclados



Fuente: <https://sites.google.com/site/dacbiolcarlostorresb/generacion-y-minimizacion-de-residuos-solidos-urbanos-e-industriales>

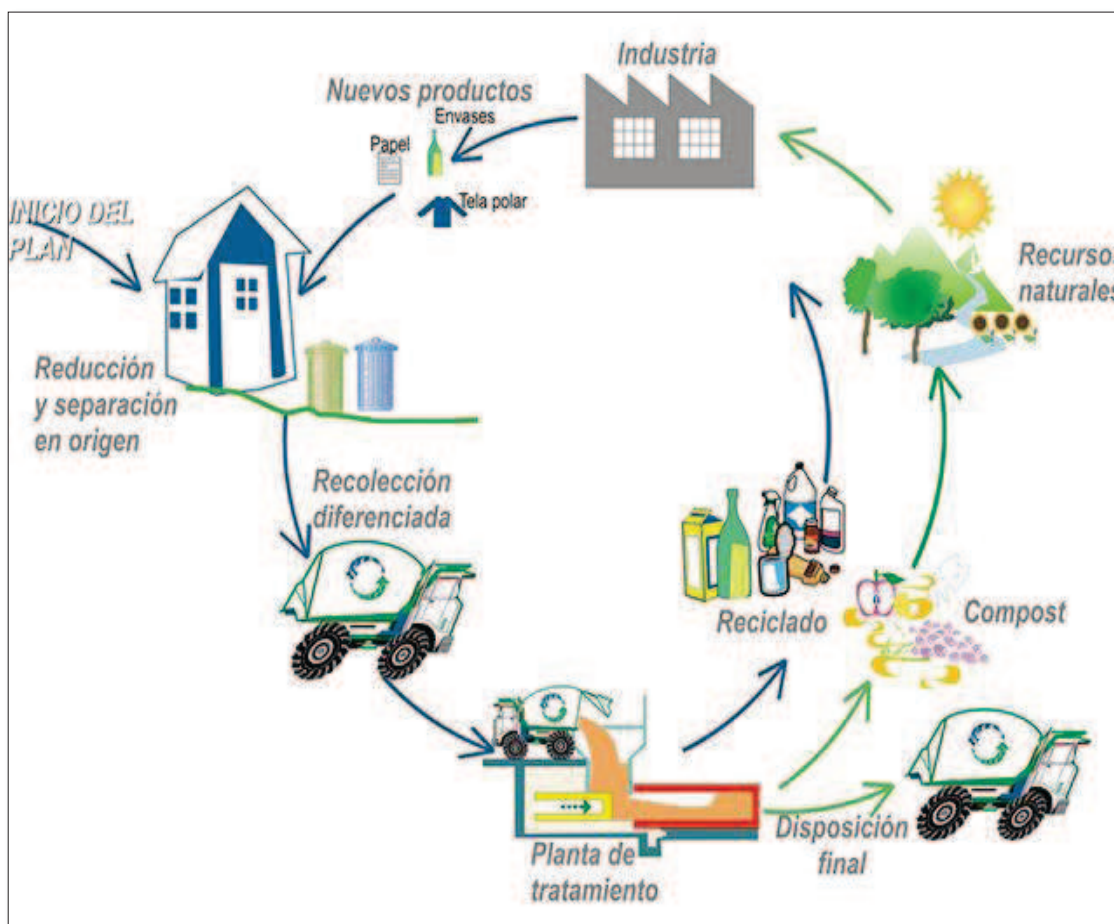
2.1.4.2 Modelo de Gestión de Residuos Separados

Este modelo se basa en la clasificación de los residuos desde el origen, es decir que desde las casas e industrias se clasifica los residuos en orgánicos e inorgánicos, y luego se colocan en el contenedor adecuado para realizar una recolección diferenciada.

Los residuos orgánicos de fácil degradación serán transformados en composto mediante actividad biológica.

Los residuos orgánicos de difícil degradación y los inorgánicos serán reciclados, para luego convertirse en materia prima o en un componente de la elaboración de un nuevo producto (ver figura 2.6).

FIGURA 2. 6. Modelo de gestión de residuos separados



Fuente: <http://www.limpiezaprofesional.com/notas.php?avanzado=true>

A continuación se presenta la tabla 2.11, en donde se comparan los dos modelos de gestión de residuos enunciados anteriormente.

TABLA 2. 11. Comparación entre un relleno sanitario con residuos mezclados y residuos separados

Relleno Sanitario con Residuos Mezclados	Relleno Sanitario con Residuos Separados
Todos los residuos es decir el 100%	Menor cantidad de residuos aproximadamente el 40%.
Producción de lixiviado	No hay producción de lixiviado
Generación de roedores e insectos	No existe la generación de roedores e insectos.
Mayor costo de operación y mantenimiento	Menor costo de operación y mantenimiento.
Producción de biogás	No hay producción de biogás
Menor periodo útil	Mayor periodo útil

Fuente: Muñoz, 2008

2.1.4.3 Modelo de Gestión de Residuos para el Área Rural

En las zonas rurales donde las viviendas se encuentran distantes una de otra y por lo cual los tiempos de transporte son muy costosos, se realiza la gestión de residuos separados en donde los residuos orgánicos de fácil degradación sirven como alimento para los animales o para la elaboración de composto, mientras que los residuos orgánicos de difícil degradación y los inorgánicos son almacenados en un lugar de acopio estratégico hasta completar la carga del vehículo recolector como se puede observar en la figura 2.7.

(Muñoz, 2008)

FIGURA 2. 7. Modelo de gestión de residuos para el área rural

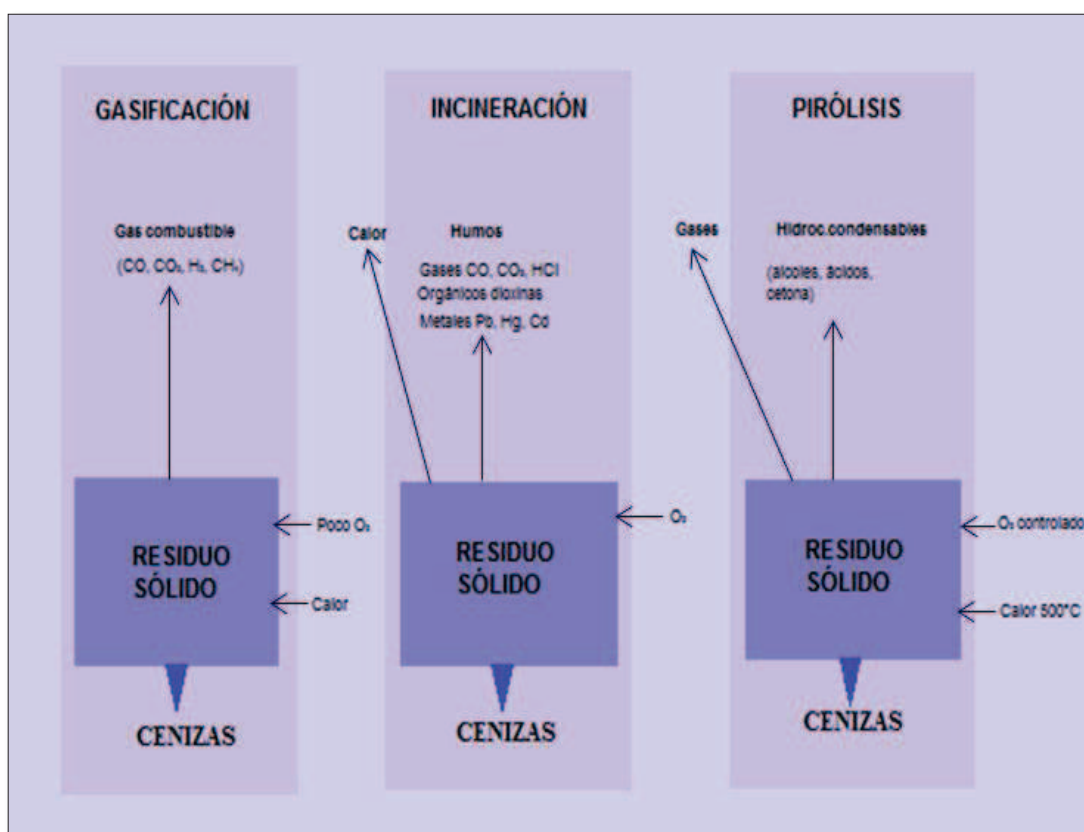


Fuente: <http://www.cesavebc.com/PIA%5CCAMPOLIMPIO.htm>

2.2 INCINERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La incineración es un proceso térmico de tratamiento de residuos sólidos urbanos. Los procesos térmicos de residuos sólidos urbanos no son más que la conversión térmica de los mismos con la simultánea y subsiguiente emisión de energía en forma de calor. Se pueden clasificar en base a sus requerimientos de oxígeno. Como procesos térmicos de tratamiento de residuos sólidos urbanos se encuentran la incineración, la gasificación y la pirólisis. La gasificación y pirólisis se empleaba básicamente en la industria petroquímica pero se ha extendido su empleo también para el tratamiento de residuos. A continuación en la figura 2.8 se observa un balance general de sistemas de tratamiento térmico.

FIGURA 2. 8. Sistemas de Tratamiento Térmico



Fuente: Casas J., Garriga E., Martell M., Torras A., 2005

La pirólisis es la degradación térmica de los residuos sólidos urbanos sin presencia del agente oxidante, es decir en ausencia de aire durante el proceso y se realiza entre 400°C y 800°C, aunque existe un tipo de pirólisis denominada "flash" por ser de corta exposición se realiza a temperaturas más altas, entre

900°C y 1000 °C. El gas obtenido en estos procesos tiene un poder calorífico comprendido entre 15 y 20 MJ/Nm³ y con la combustión del mismo se genera vapor para producir energía (Álvarez J., 2008).

La pirólisis se realiza en cámaras en donde se introduce poco o nada de aire y en lugar de efectuarse combustión, se producen una serie de reacciones de descomposición completa y otras químicas. La acción de calor descompone moléculas complejas en otras más simples.

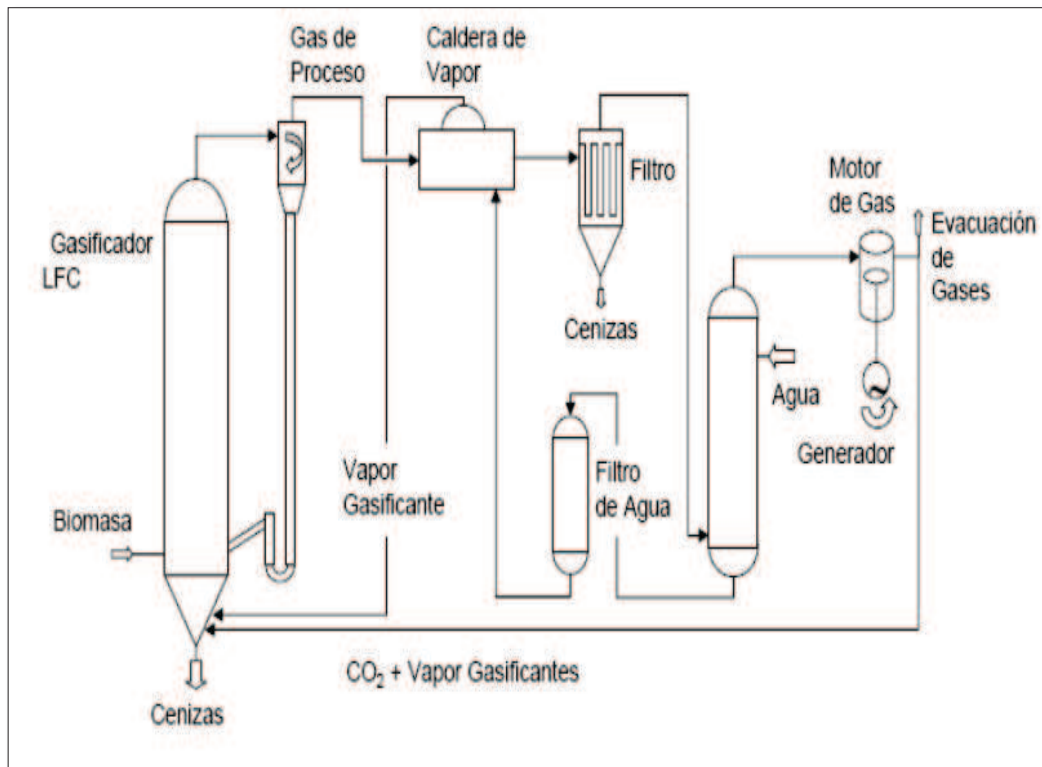
La pirólisis es un proceso físico-químico que agrega un contenido energético a los residuos sólidos urbanos, en el proceso se obtienen productos sulfuro-gaseosos, líquidos y sólidos, que pueden ser útiles como carburantes o materias primas químicas como por ejemplo aceites ligeros, ácido acético, etanol, alquitrán y agua. Los gases están constituidos por anhídrido carbónico, monóxido de carbono, hidrógeno, y amoníaco (Deffis A., 1989).

La gasificación es la degradación térmica de los residuos sólidos urbanos mediante una oxidación parcial con aplicación de calor y control en el suministro del agente oxidante que es por lo general aire.

La gasificación de residuos sólidos urbanos con un porcentaje alto de materia orgánica da como resultado una mezcla de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, metano, agua, nitrógeno y pequeñas cantidades de hidrocarburos. Este gas generalmente posee un poder calorífico bajo, del orden de 4 a 10 MJ/Nm³ (Álvarez J., 2008).

El gas que se obtiene del proceso de gasificación puede ser empleado para generar energía en calderas, motores o turbinas. Generalmente se utiliza como agente oxidante al aire pero en el caso de emplearse oxígeno, el gas resultante tendrá un poder calorífico mayor del orden de 10 a 15 MJ/Nm³. En los dos casos el gas que se obtiene del proceso de gasificación de residuos sólidos urbanos requiere un postratamiento para su adecuación como combustible. Se puede observar el proceso de gasificación en la figura 2.9 (Álvarez J., 2008).

FIGURA 2. 9. Proceso de gasificación



Fuente: Álvarez J., 2008

2.2.1 GENERALIDADES DE LA INCINERACIÓN

La incineración es una de las técnicas de tratamiento de residuos sólidos que permite la reducción de los mismos tanto en peso como en volumen, convirtiéndolos en un material no peligroso, proporcionando estabilidad química y microbiológica, además permite la posibilidad de obtener energía (Muñoz, 2008; Trejo, 1999).

Al ser la incineración un proceso térmico de oxidación química sus productos son gases calientes de combustión, compuestos principalmente de nitrógeno, monóxido de carbono y vapor de agua (gas de chimenea) y residuos no combustibles (ceniza). Debido a que es un sistema extremadamente exotérmico, se puede recuperar energía mediante el intercambio del calor procedente de los gases calientes de combustión (Barradas, 2009).

El poder calorífico de los residuos domésticos y la contaminación producida ha obligado a estudiar y mejorar los procedimientos de incineración con el fin de incrementar mayores rendimientos en la combustión y mayor eficacia en la eliminación de contaminantes.

Por la formación de contaminantes tóxicos como dioxinas y furanos, que junto a diferentes metales pesados pueden ser emitidos en la incineración de residuos sólidos urbanos, existe oposición a esta técnica. Las normas legales de cada país han incrementado su rigidez ante los límites de emisión de las incineradoras, por lo que ha sido necesario desarrollar nuevas tecnologías para el sistema de combustión y para el sistema de depuración de gases (Muñoz, 2008).

2.2.1.1 Ventajas de la Incineración

1. Es un método casi completamente higiénico.
2. Produce una reducción inmediata de volumen de 10 a 1, o aún mayor.
3. El peso de las cenizas es un 30% del peso original.
4. El área requerida para la disposición de la ceniza es mucho menor que el que se requiere para los residuos sin incineración en un relleno sanitario.
5. Se reducen problemas de salud, originados por la contaminación y los vectores producidos por la acumulación de residuos orgánicos.
6. Los residuos son inertes y de fácil manejo.
7. Se puede recuperar energía.

(Muñoz, 2008; Trejo, 1999; Deffis, 1989)

2.2.1.2 Desventajas de la Incineración

1. Requiere de una inversión alta de capital.
2. Presenta costos de mantenimiento y funcionamiento continuos.
3. No es un método completo puesto que es necesario disponer las cenizas producidas.
4. Requiere combustible adicional si el poder calorífico de los residuos no es suficiente para la combustión.

5. Al quemar los residuos domésticos en conjunto se emiten contaminantes tóxicos como dioxinas, furanos, metales pesados tales como plomo, cadmio y mercurio, gases de efecto invernadero, gases ácidos y partículas ultra finas.
6. En la incineración de residuos domésticos mezclados se producen pérdidas de materiales que pueden ser reciclados.

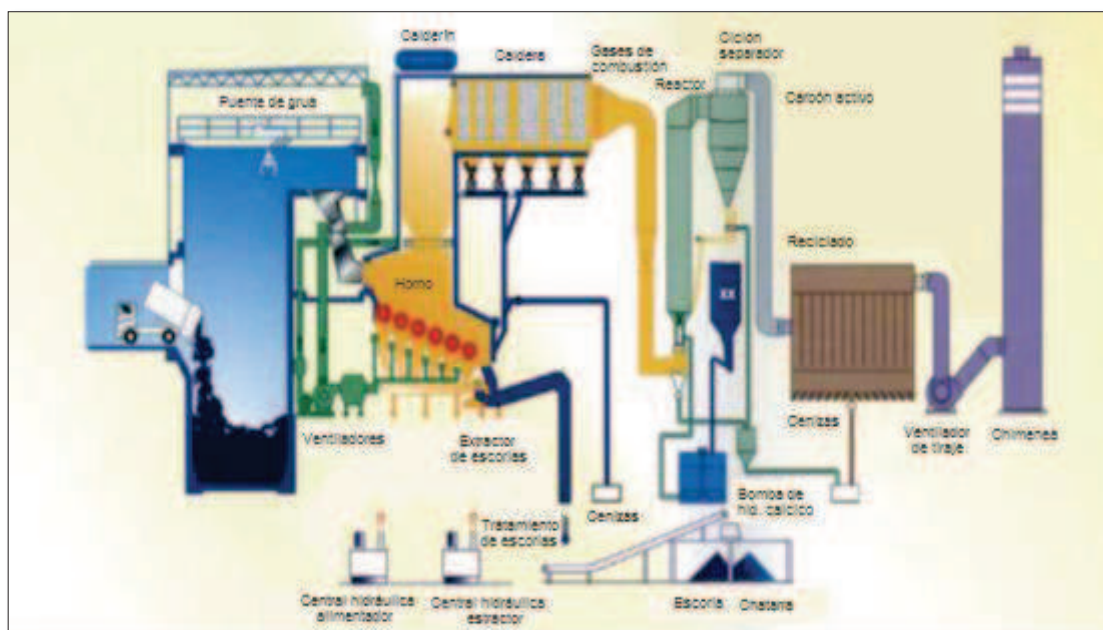
(Muñoz, 2008; Trejo, 1999; Deffis, 1989)

2.2.1.3 Proceso de la Incineración

El proceso de incineración consiste en un secado de los residuos al llevarlos a la temperatura de combustión, introducción del aire necesario para la combustión, recuperación de energía, depuración de gases, retiro de los remanentes para su depósito en vertedero o reutilización y control de emisiones, como se puede observar en la figura 2.10 (Barradas, 2009; Muñoz, 2008).

Una buena combustión requiere de tiempo suficiente, regulación del aire, control de la temperatura y de mezclado de oxígeno combustible. (Trejo, 1999).

FIGURA 2. 10. Esquema de una planta incineradora



Fuente: Casas J. et al., 2005

Se considera a la incineración u otros procesos térmicos o biológicos como tratamiento antes de la disposición en el relleno sanitario, como parte de un sistema de gestión integrada de residuos sólidos urbanos, donde se destaca la reducción en la generación de residuos, la recuperación de los materiales reciclables y finalmente el tratamiento y eliminación de los residuos inevitables y no reciclables.

El poder calorífico de los residuos orgánicos de fácil biodegradación varía de acuerdo a su composición. En la incineración de residuos la combustión se da de forma inmediata sin necesidad de adición de combustibles excepto para los arranques de los hornos, permitiendo utilizar el calor producido por dichos residuos (Deffis, 1989).

En el presente proyecto de titulación se pretende incinerar los residuos orgánicos de fácil biodegradación como residuos de frutas y verduras sin utilizar plásticos ni papel, con el fin de reducir peso, volumen y contaminación producida en incineración de residuos mezclados, y analizar la factibilidad de plantearlo como alternativa de gestión de residuos sólidos.

2.2.1.4 Tipos de incineradores

Para la incineración de residuos sólidos urbanos existen diversos tipos de hornos, entre ellos están los hornos de parrillas fijas, los de parrillas móviles, con diferentes tipos de parrillas y movimientos, los hornos rotatorios, los lechos fluidizados burbujeantes o los lechos fluidizados recirculantes.

2.2.1.4.1 Incineración con horno de cámara fija

La incineración con horno de cámara fija se utiliza únicamente con residuos líquidos o gaseosos con un bajo contenido de inertes, en instalaciones pequeñas y con operación discontinua para la limpieza de inertes. Alimentando los residuos líquidos mediante bombas y con la ayuda de boquillas atomizadoras para mejorar la reacción con el oxígeno.

2.2.1.4.2 Incineración con horno de parrilla móvil

En la incineración de residuos sólidos urbanos mediante hornos con parrillas móviles existe una tolva que es alimentada por los residuos mediante una grúa, pasando posteriormente a un dosificador que los distribuye sobre la parrilla que se mueve en el horno con una velocidad regulable según la entrada de residuos.

En la parrilla se secan y queman los residuos a elevadas temperaturas con suministro de aire. Las cenizas y la fracción no combustible de los residuos abandonan la parrilla en forma de escoria por el puerto de cenizas (ver figura 2.11).

La parrilla es el pilar de este tipo de incineración y ayudan a transportar, agitar los residuos y a distribuir adecuadamente el aire para la combustión, tiene distintos diseños de movimientos según el fabricante.

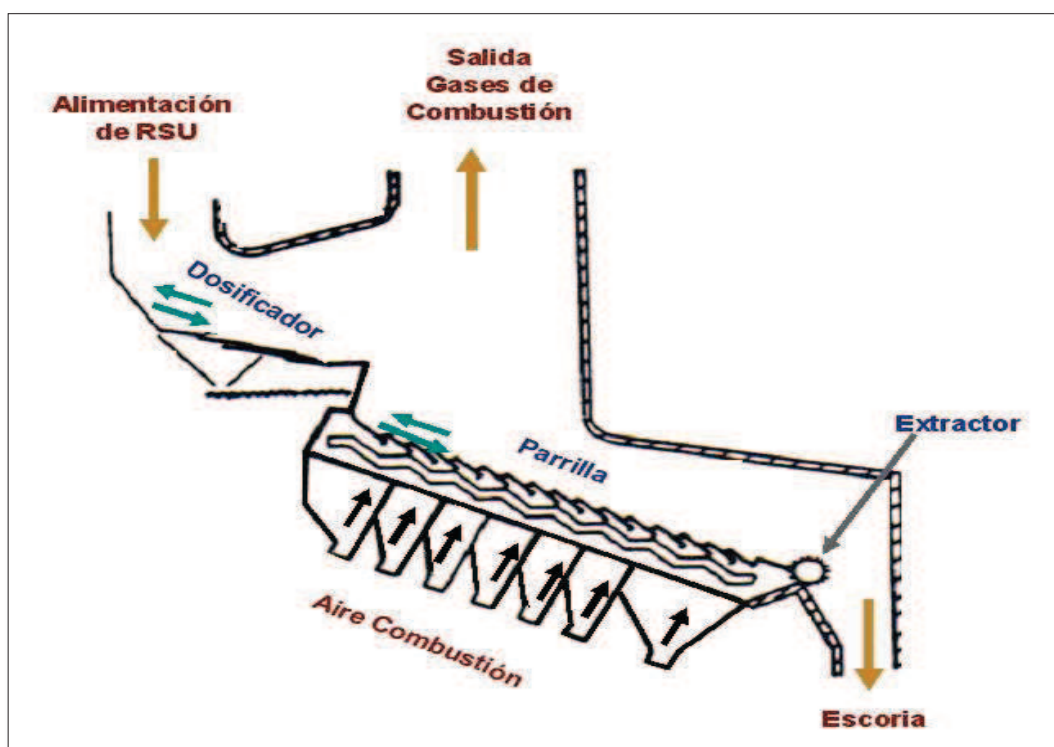
En ocasiones el aire de combustión utilizado es precalentado para tolerar variaciones en el poder calorífico de los residuos, calentando el aire de 10°C a 145°C, dependiendo de la composición de los residuos sólidos y de su contenido de humedad.

Los gases de salida con un mínimo contenido de 6% de oxígeno, deben permanecer como mínimo dos segundos a una temperatura de 850°C. Se suele instalar un quemador auxiliar de seguridad en una cámara de post-combustión, que se activa automáticamente cuando en dicha cámara la temperatura baja a 850°C, lo que asegura un mínimo de compuestos órgano clorados (Sarmiento R., 2008).

Dentro del horno las paredes se las puede recubrir con un material refractario o con pared de agua, las mismas que operan con un exceso de aire menor, reduciendo el volumen del horno y el tamaño del equipo de control de contaminantes. Se debe intentar una buena refrigeración de las paredes, excelente distribución del aire y una buena recolección de las partículas finas para evitar obstrucciones.

A la tolva de descarga se dirigen las cenizas y luego de pasar por un depósito de acero en el que se mantiene una circulación continua de agua de refrigeración. Un rascador con grúa extrae las cenizas y escoria, pasándolas a una rampa de escurrido, de donde se llevan por una banda transportadora a un depósito de almacenamiento (Sarmiento R., 2008).

FIGURA 2. 11. Esquema de un horno de parrilla



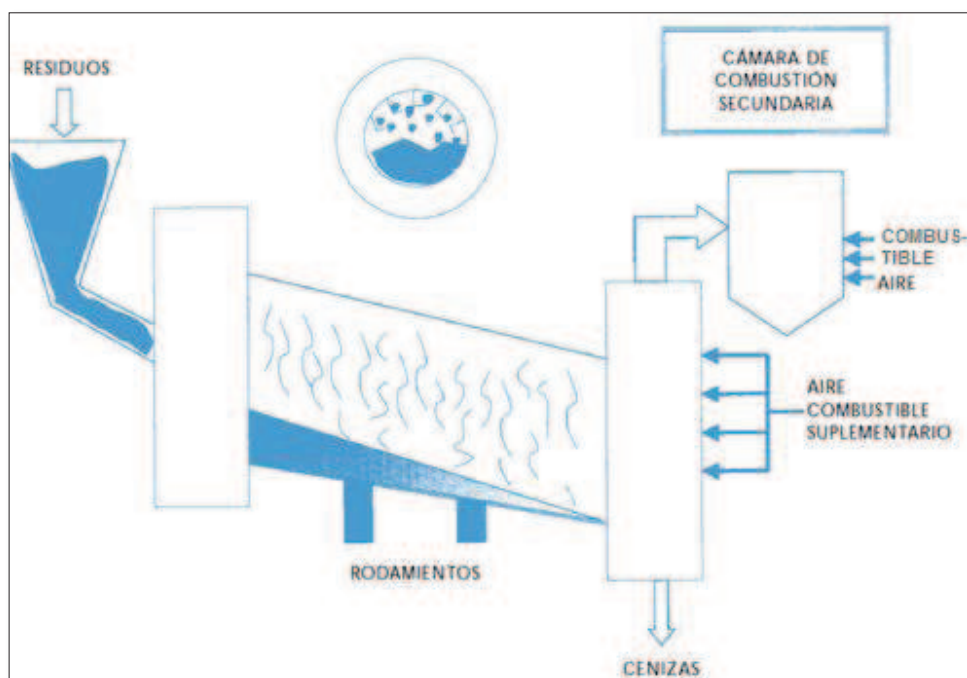
Fuente: Sarmiento R., 2008

2.2.1.4.3 Incineración en horno rotatorio

En la incineración de residuos sólidos urbanos mediante incineradores con horno rotatorio (ver figura 2.12), los residuos son transportados a lo largo del horno por la rotación de un cilindro inclinado con paredes refractarias o paredes de agua. El cilindro puede tener de 1 a 5 metros de diámetro y de 8 a 20 metros de longitud. La capacidad puede ser tan baja como de 2.4 toneladas/día (0.1 toneladas/hora) y hasta aproximadamente 480 toneladas/día (20 toneladas/hora) (Sarmiento R., 2008).

La relación de exceso de aire, aumenta con respecto a los de parrilla móvil y lecho fluidizado. La eficiencia energética es menor pero puede llegar hasta el 80 %. La variación de velocidad de rotación del horno influye en el tiempo de permanencia de los residuos, donde se pueden obtener márgenes de operación más amplios para residuos heterogéneos. Debido a que el tiempo de retención de los gases de combustión es demasiado corto para la completa reacción dentro del horno, el cilindro se conecta con una cámara de post-quemado que debe incorporarse en la primera parte de la caldera (Sarmiento R., 2008).

FIGURA 2. 12. Esquema de un incinerador de horno rotatorio



Fuente: Casas J. et al., 2005

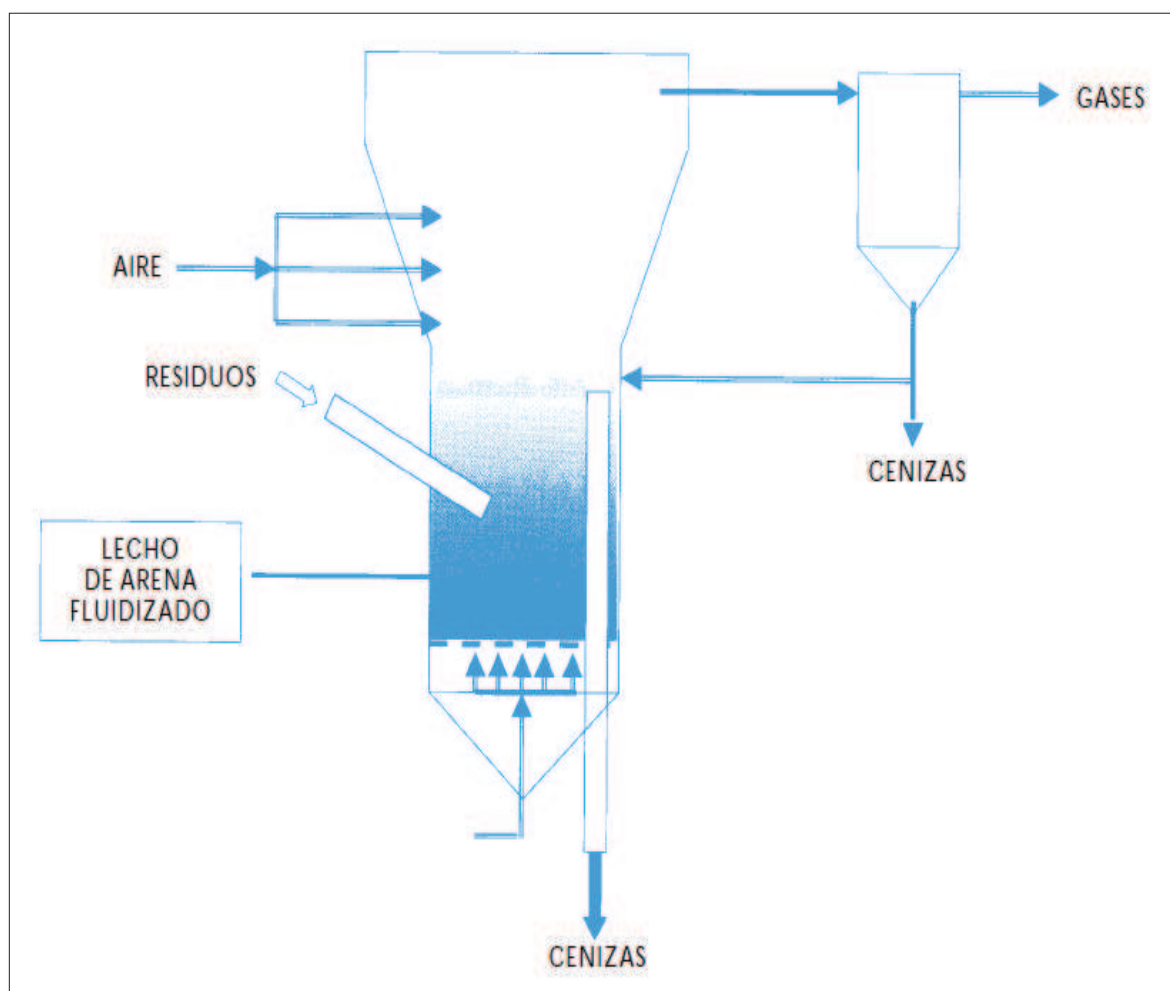
2.2.1.4.4 Incineración en lecho fluidizado

En la incineración de residuos sólidos urbanos en lecho fluidizado, las partículas sólidas mezcladas con el combustible, se fluidizan con el aire. El reactor suele ser un recipiente de acero vertical con material refractario, que contiene un lecho de material granular como arena sílica, cal o un material cerámico, como por ejemplo el ilustrado en la figura 2.13.

Ventajas con respecto a la combustión: reducción de sustancias peligrosas en el mismo reactor de lecho fluidizado, eficiencia térmica elevada, flexibilidad con relación a alimentaciones múltiples de combustible y costo.

La principal desventaja para incineración de residuos con esta tecnología es la demanda general de pretratamiento, de manera que se alcancen los requerimientos más estrictos de tamaño, poder calorífico, contenido de cenizas y otros. (Álvarez J., 2008; Sarmiento R., 2008).

FIGURA 2. 13. Esquema de un incinerador de lecho fluidizado



Fuente: Casas J. et al., 2005

2.2.1.4.5 Comparación de los tipos de incineración

En la tabla 2.12 se puede observar una comparación entre la incineración con hornos de parrilla móvil, horno rotatorio y lecho fluidizado, destacando sus ventajas y desventajas.

TABLA 2. 12. Comparación de los diferentes tipos de incineración

COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE INCINERACIÓN			
	PARRILLA MÓVIL	HORNO ROTATORIO	LECHO FLUIDIZADO
VENTAJAS	No se requiere selección o desmenuzado previo. La tecnología ha sido ampliamente utilizada y probada. Cubre las demandas de funcionamiento técnico. Puede tolerar grandes variaciones en composición y poder calorífico de los residuo. Proporciona una eficiencia térmica total de hasta 85%. Cada horno puede construirse con una capacidad de hasta 1200 tons/día (50 tons/hora).	No se requiere selección o desmenuzado previo. Proporciona una eficiencia térmica completa de hasta 80%. Es capaz de aceptar grandes variaciones en composición y poder calorífico de los residuos.	Costos relativamente bajos de capital y mantenimiento, debido a un concepto de diseño simple. Proporciona una eficiencia térmica total de hasta 90%. Apropiado para un amplio rango de combustibles y mezclas de combustibles. Puede manejar residuos sólidos o líquido, ya sea en combinación o por separado.
DESVENTAJAS	Los costos de capital y de mantenimiento son relativamente elevados.	Tecnología menos común para la incineración de RSU. Los costos de capital y de mantenimiento son relativamente altos. La capacidad máxima de cada horno está limitada a aprox. 480 tons/día (20 tons/h).	En la actualidad no es una tecnología muy común, ni probada para la incineración de RSU. La capacidad se ha limitado a 10 tons/hora, inconveniente para cantidades grandes de RSU. Demanda relativamente estricta de tamaño y composición de los residuos, que generalmente requieren pre tratamiento completo.

Fuente: Sarmiento R., 2008

2.3 EFECTOS AMBIENTALES

2.3.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El agua se contamina debido al proceso de degradación de los residuos orgánicos en donde se produce lixiviados que al estar mezclados con residuos inorgánicos desprende sustancias tóxicas y mediante infiltración o escorrentía llegan a los cuerpos de agua superficial y subterránea (ver figura 2.14).

FIGURA 2. 14. Cuerpos de agua contaminados



Fuente: <http://contaminacionunpeligroparalahumanidad.blogspot.com/2012/03/factores-que-contribuyen-en-la.html>

Cuando los residuos orgánicos son arrojados directamente en los cuerpos de agua estos son degradados por bacterias aerobias y anaerobias, lo que produce la disminución del oxígeno disuelto, alteración en el color del agua volviéndola turbia y despide olores fuertes, causando la muerte de las especies acuáticas.

2.3.2 CONTAMINACIÓN DEL SUELO

La contaminación del suelo es provocado por la infiltración de lixiviados generados por los residuos, que disminuyen la productividad debido a la pérdida de nutrientes, acidificación y muerte de la micro fauna, aumentado la desertificación de este recurso (ver figura 2.15).

FIGURA 2. 15. Suelos contaminados por residuos urbanos



Fuente: <http://sucesos-globales.blogspot.com/2011/02/Tipos-de-contaminacion-imagenes.html>

Además de la contaminación por lixiviados, también se origina una fuente de proliferación de vectores como: ratas, moscas, causantes de enfermedades en las personas.

2.3.3 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Los residuos sólidos urbanos que tienen su disposición final en un botadero a cielo abierto, emiten gases hacia la atmósfera debido a la descomposición de los residuos orgánicos, deteriorando la calidad del aire y produciendo enfermedades a la personas.

2.3.3.1 Producción de biogás

El biogás como producto de la degradación anaerobia de la materia orgánica, está compuesto por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y otros gases en pequeñas proporciones, los dos primeros son considerados como gases de efecto invernadero y siendo de estos dos el más perjudicial el metano.

(Muñoz, 2008)

2.3.3.2 Quema a cielo abierto

En algunas ciudades o poblaciones que no poseen instalaciones adecuadas para los residuos urbanos, la opción es la quema de residuos para reducir su volumen y evitar la proliferación de roedores e insectos.

La quema de la basura a cielo abierto genera una gran cantidad de sustancias como: monóxido de carbono, el dióxido de azufre, material particulado, metales pesados, dioxinas y furanos, que son dañinas para el hombre y contaminantes para el ambiente (ver figura 2.16).

(Muñoz, 2008)

FIGURA 2. 16. Quema a cielo abierto



Fuente: <http://terretero.blogspot.com/2011/03/envenenamiento-cielo-abierto.html>

2.3.4 EFECTOS AMBIENTALES POR LA INCINERACIÓN

En la incineración de los residuos urbanos se liberan a la atmósfera contaminantes tóxicos como: metales pesados, gases de efecto invernadero, material particulado, dioxinas y furanos, los dos últimos contaminantes son sustancias cancerígenas, resistentes a la degradación y bioacumulables en los seres vivos.

Los procesos de incineración de residuos sólidos urbanos producen un impacto ambiental negativo (ver tabla 2.13) que incluye:

- Olores.
- Riesgos de emisión de gases por chimenea.
- Diseminación de residuos en el medio.
- Alteración del paisaje y costos ambientales asumidos por la población.
- Depreciación del suelo.
- Condiciones de riesgo cuando el tratamiento no opera correctamente.

TABLA 2. 13. Impactos ambientales ocasionados por plantas incineradoras

TIPO	IMPACTOS
IMPACTOS POR EMISIONES GASEOSAS	Contaminantes gaseosos.
	Partículas sólidas.
IMPACTO POR VERTIDOS LÍQUIDOS	Efluentes del sistema de escorias.
	Efluentes de la planta desmineralizadora de agua para calderas.
	Purgas de calderas.
	Lixiviados del foso de residuos.
	Agua pluviales y de limpieza de la Planta.
	Aguas sanitarias.
IMPACTO DE RESIDUOS SÓLIDOS	Escorias.
	Residuos de la depuración de gases.
	Residuos sólidos urbanos.
	Suciedad.
IMPACTOS FÍSICOS	Olores.
	Ruidos.
OTROS IMPACTOS	Paisaje.
	Insectos, roedores y aves.
	Tráfico.
	Servidumbre aérea.

Fuente: Muñoz M., 2008

CAPÍTULO 3

INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

3.1 MODELO DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

En el presente proyecto se utilizó el modelo de gestión de residuos separados en el origen, en donde se plantea la separación de los residuos a partir de su fuente de generación, en este caso los domicilios, en donde se los divide en residuos orgánicos de fácil biodegradación y el resto será considerado como residuos inorgánicos (ver fotografía 3.1).

FOTOGRAFÍA 3. 1. Recolección de residuos en la fuente de generación



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

3.2 RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES

Luego de la separación de residuos en los domicilios, para el presente proyecto se utilizó residuos orgánicos biodegradables como residuos de frutas y verduras como se muestra en la tabla 3.1, debido a que por su rápida descomposición son causantes del lixiviado y vectores en el modelo de gestión con residuos mezclados y el proyecto tiene como fin encontrar una alternativa para reducir los problemas ambientales generados por los residuos biodegradables.

TABLA 3. 1. Contenido de las muestras de residuos sólidos orgánicos de fácil biodegradación.



Residuos de:			
Acelga	Coco	Limón	Pimiento
Achotillo	Col	Maduro	Piña
Aguacate	Coliflor	Mandarina	Sandía
Alcachofa	Culantro	Manzana	Tomate de árbol
Apio	Flores	Maracuyá	Tomate riñón
Babaco	Frutilla	Melón	Toronja
Brócoli	Granadilla	Naranja	Uva
Cebolla blanca	Guineo	Papa	Verde
Cebolla paiteña	Haba	Papaya	Yuca
Cebolla perla	Kiwi	Pepinillo	Zapallo
Choclo	Lechuga	Perejil	Zapote

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

3.3 ACONDICIONAMIENTO

Como acondicionamiento se detalla la preparación de las áreas, materiales e insumos necesarios para la separación de los residuos y los procedimientos previos a la incineración.

Para este proyecto se utilizó como muestra semanal los residuos orgánicos biodegradables producidos en nuestros domicilios, por lo tanto fueron los primeros lugares en los que se realizó una recolección diferenciada que se presenta a continuación:

- Disponer un recipiente rotulado de 14L para colocar los residuos orgánicos biodegradables que se utilizan en el proyecto (ver fotografía 3.2).

FOTOGRAFÍA 3. 2. Recipiente de recolección de los residuos orgánicos

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Colocar en el interior del recipiente una funda de color blanco con una capacidad mayor a la del mismo y doblarla hacia afuera, recubriendo sus bordes (ver fotografía 3.3).

FOTOGRAFÍA 3. 3. Recipiente con funda blanca

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Ubicar los recipientes lo más cerca posible a la fuente de generación, en este caso en la cocina de los domicilios (ver fotografía 3.4).

FOTOGRAFÍA 3. 4. Recipiente de recolección en la cocina



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

La segregación es uno de los procedimientos fundamentales de la adecuada gestión de residuos sólidos y consiste en separarlos en el punto de generación ubicándolos en el recipiente correspondiente. Es importante señalar que la participación activa de los miembros del domicilio permitirá una buena segregación de los residuos.

Luego de la recolección de los residuos sólidos orgánicos biodegradables en los domicilios se procede a cerrar las fundas y trasladarlos semanalmente al laboratorio de microbiología de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, en donde para la obtención de una mezcla más homogénea se procede a disminuir el tamaño de los residuos mediante triturado, facilitando así su manejo en la investigación.

3.3.1 TRITURADO

Para un mejor manejo de la muestra que entrará a la mufla, se tritura los residuos sólidos de fácil biodegradación hasta obtener pedazos pequeños con diámetros de aproximadamente de 0,6 cm, para ello:

- Se utiliza una tina grande que sirve para mezclar los residuos orgánicos biodegradables semanalmente producidos en nuestros domicilios (ver fotografía 3.5).

FOTOGRAFÍA 3. 5. Mezcla de los residuos orgánicos



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- En una bandeja de color tomate se tritura los residuos hasta lograr el tamaño deseado (ver fotografía 3.6).

FOTOGRAFÍA 3. 6. Triturado de los residuos biodegradables



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Se coloca los residuos triturados en una bandeja de color azul y se mezcla, para su posterior uso en las diferentes muestras para incineración (ver fotografía 3.7).

FOTOGRAFÍA 3. 7. Residuos picados



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

3.4 INCINERACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

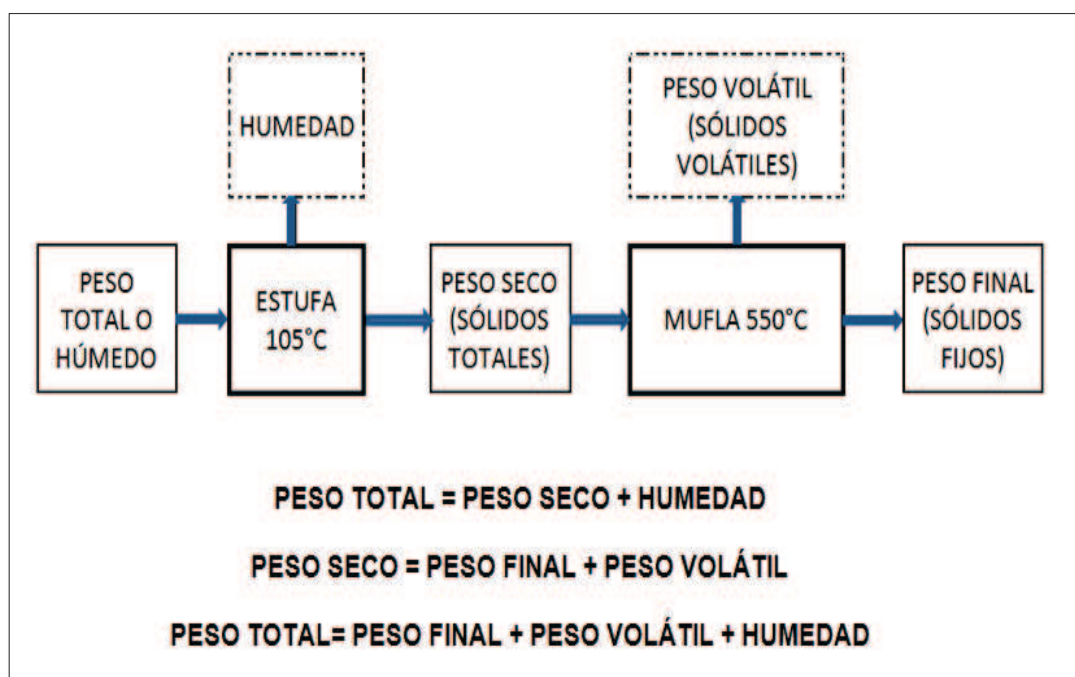
3.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES QUE SE VAN A INCINERAR

Para el control de los parámetros es necesario conocer las características de los residuos a incinerar mediante el análisis de la humedad de la muestra, porcentaje de sólidos volátiles a partir de la muestra húmeda y el porcentaje de sólidos volátiles a partir de la muestra seca.

El análisis de humedad se determinó con la ecuación 2.1 del capítulo 2 y se lo realizó con una muestra triturada de residuos sólidos orgánicos de fácil degradación que se la colocó en la estufa a 105°C y posteriormente en el desecador para que no absorba humedad y se enfríe para pesarla. En la investigación se determinó un 83% de humedad en muestras de este tipo de residuos como se puede ver en la tabla 3.2.

Se considera como peso total o húmedo al peso de la muestra de entrada con humedad, peso seco al peso de la muestra luego de la estufa, es decir al peso de la muestra sin humedad, y el peso final se lo considera como el peso de las cenizas a la salida de la mufla, es decir los sólidos fijos que obtenemos (ver figura 3.1).

FIGURA 3. 1. Esquema de determinación de sólidos fijos a partir del peso total



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

Como se observa en la figura 3.1, en esta parte de la experimentación se colocó los residuos primero a la estufa a un proceso de secado para quitar la humedad y luego a la mufla a una temperatura de 550°C con el fin de obtener como residuos de la incineración a los sólidos fijos de la muestra.

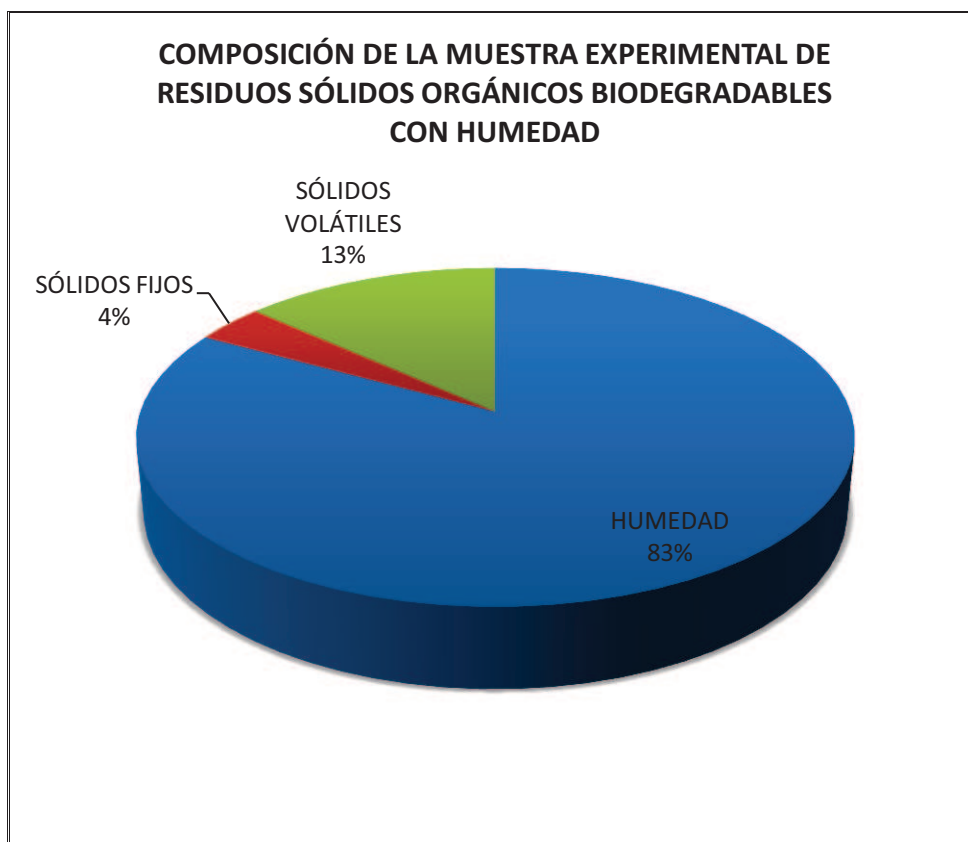
TABLA 3. 2. Relación de pesos de una muestra de residuos sólidos orgánicos

PESO TOTAL PT (g)	35,068
PESO SECO PS (g)	5,962
HUMEDAD	83%
PESO FINAL PF (g)	1,277
PESO VOLATIL PV (g)	4,684
PF/PT	0,036
PV/PT	0,134
PF/PS	0,214
PV/PS	0,786

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

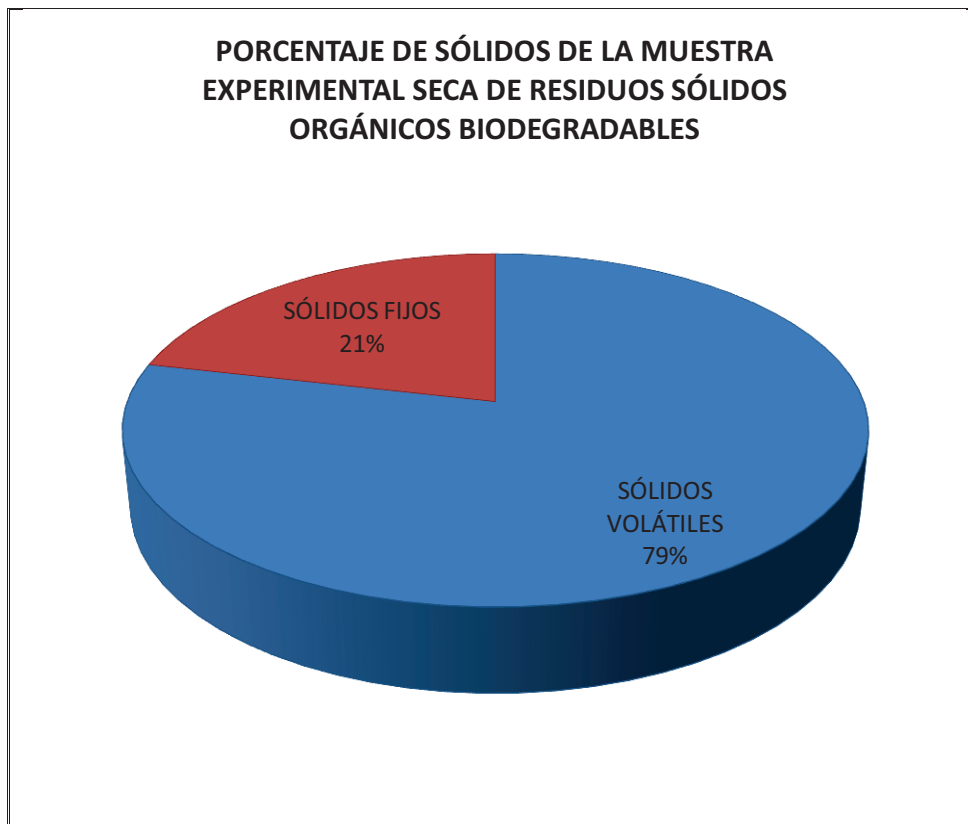
Con los datos de la tabla 3.2 se elaboraron los siguientes gráficos:

GRÁFICO 3. 1. Composición de la muestra experimental de residuos sólidos orgánicos biodegradables con humedad



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

GRÁFICO 3. 2. Porcentaje de sólidos de la muestra experimental seca de residuos sólidos orgánicos biodegradables



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

El peso final es decir los sólidos fijos en relación al peso de entrada con humedad es un 3,6 % y con respecto al peso seco de la muestra es un 21,4 %, por ende al relacionar los sólidos volátiles de la muestra podemos establecer el porcentaje de orgánicos en la muestra, obteniendo un 13,4% de sólidos volátiles en la muestra con humedad, y determinando que un 78,6% de sólidos en la muestra seca son volátiles es decir SV/ST de 0,786 que no es más que la fracción de orgánicos volátiles que se encuentran en la muestra sólida. Con los datos obtenidos también podemos considerar que a la entrada tenemos 35,068g y al final 1,277g por tanto se ha llegado a reducir un 96,36% en peso la muestra con humedad.

3.4.2 ESTUDIO PREVIO DE LA MUESTRA EXPERIMENTAL

Para la investigación se necesita previamente identificar el tiempo de incineración de los residuos y el rango de temperatura mediante una experimentación previa en laboratorio:

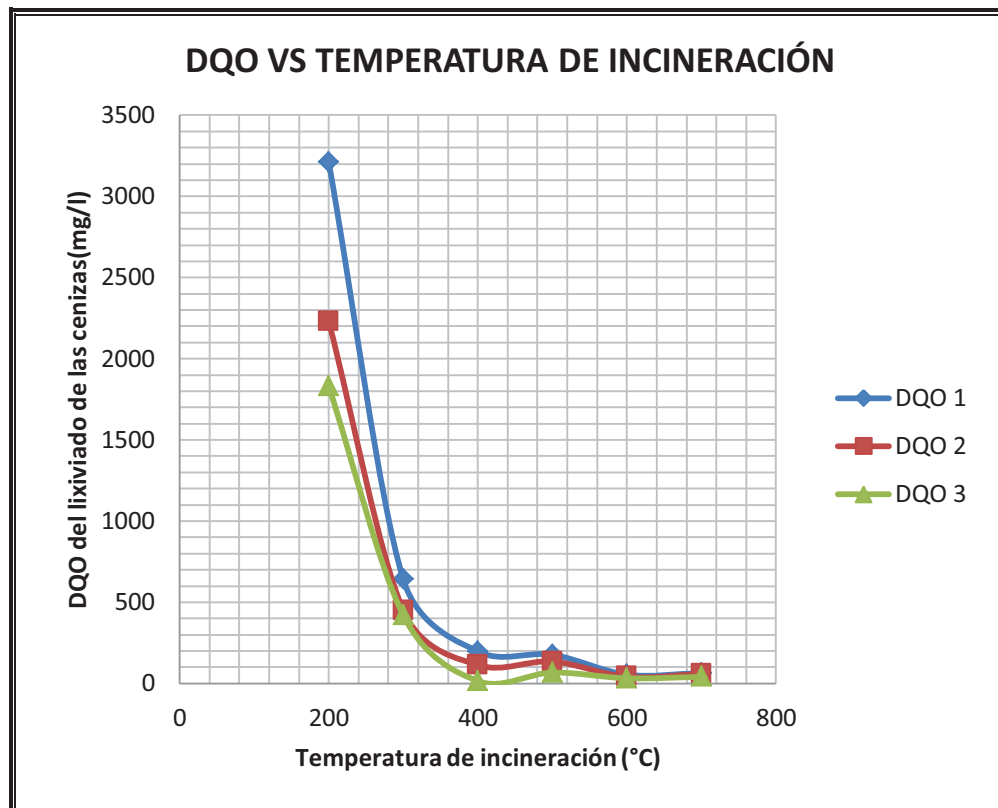
- En el presente proyecto se realizó experimentos de incineración a temperatura constante de 200°C (temperatura más baja de investigación, es decir el peor escenario en cuestión de parámetros de control) y a distintos tiempos, determinando que se puede percibir un cambio considerable de reducción de peso (uno de los parámetros de control) a los 15 minutos de colocar la muestra a dicha temperatura. Por lo cual se decidió uniformizar este tiempo a las demás temperaturas de investigación.
- La determinación del rango de temperaturas óptimas se analizó en base a la reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del lixiviado de la muestra incinerada (procedimiento detallado en el numeral 3.5.5), eligiendo el rango de temperatura en el que mejor se observe dicha reducción (ver tabla 3.3 y gráfico 3.3), el rango elegido fue de 400°C a 600 °C.

TABLA 3. 3. Resultados de la DQO de lixiviación obtenidos a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)		200	300	400	500	600	700
Volumen(15cm) (ml)		5,20	6,00	6,00	6,50	6,00	5,50
Peso (5cm) (g)		1,10	0,50	0,18	0,15	0,21	0,17
DQO del lixiviado de la muestra incinerada (mg/l)	1*	3210	640	198	177	54	64
	2**	2230	450	114	135	41	59
	3***	1830	420	15	67	32	41
*DQO1:DQO del lixiviado de la primera lluvia **DQO2:DQO del lixiviado de la segunda lluvia ***DQO3: DQO del lixiviado de la tercera lluvia							

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

GRÁFICO 3. 3. Variación de la DQO de la muestra de experimentación a diferentes temperaturas de incineración



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

A la par también se analiza la relación SV/ST en función de la temperatura obteniendo los datos de la tabla siguiente:

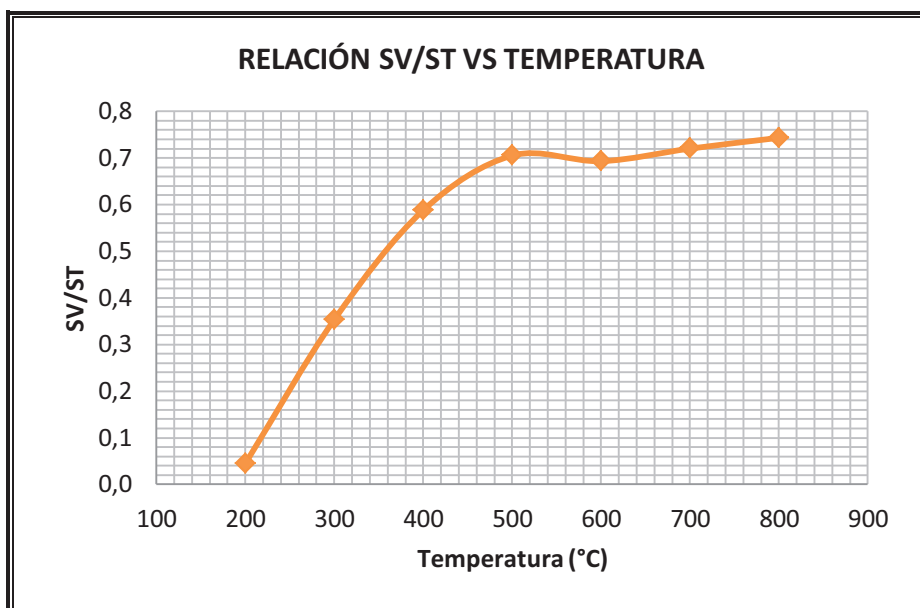
TABLA 3. 4. Sólidos Fijos, Volátiles y Totales de la muestra experimental en función de la temperatura

Temperatura °C	Peso Seco-Sólidos Totales ST (g)	Peso Final-Sólidos Fijos SF (g)	Sólidos Volátiles SV (g)	SV/ST
200	50,009	47,768	2,241	0,045
300	50,010	32,340	17,670	0,353
400	25,002	10,305	14,697	0,588
500	25,004	7,372	17,632	0,705
600	30,007	9,206	20,801	0,693
700	30,108	8,426	21,682	0,720
800	30,997	7,957	23,040	0,743

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

Con los datos de la tabla anterior se elabora el gráfico 3.4 en donde se observa la tendencia asintótica a partir de la temperatura 500°C, por lo que se considera que a temperaturas mayores a 500°C ya se eliminaron todos los sólidos volátiles, quedando solo cenizas o sólidos fijos con un peso prácticamente invariable.

GRÁFICO 3. 4. Relación SV/ST en función de la temperatura



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

Una vez determinados los dos parámetros más importantes, es decir quince minutos como tiempo de incineración y las temperaturas de incineración (400°C, 500°C y 600°C), se examina en la muestra experimental la reducción de peso y volumen a partir de la muestra húmeda y DQO del lixiviado de la muestra incinerada, obteniendo los resultados de la tabla 3.5 y 3.6.

TABLA 3. 5. Resultados de reducción de peso y volumen de la muestra experimental

MUESTRA EXPERIMENTAL		
Temperatura (°C)	Reducción de Peso (%)	Reducción de Volumen (%)
400	94,116	74,875
500	95,679	78,386
600	96,358	82,764

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

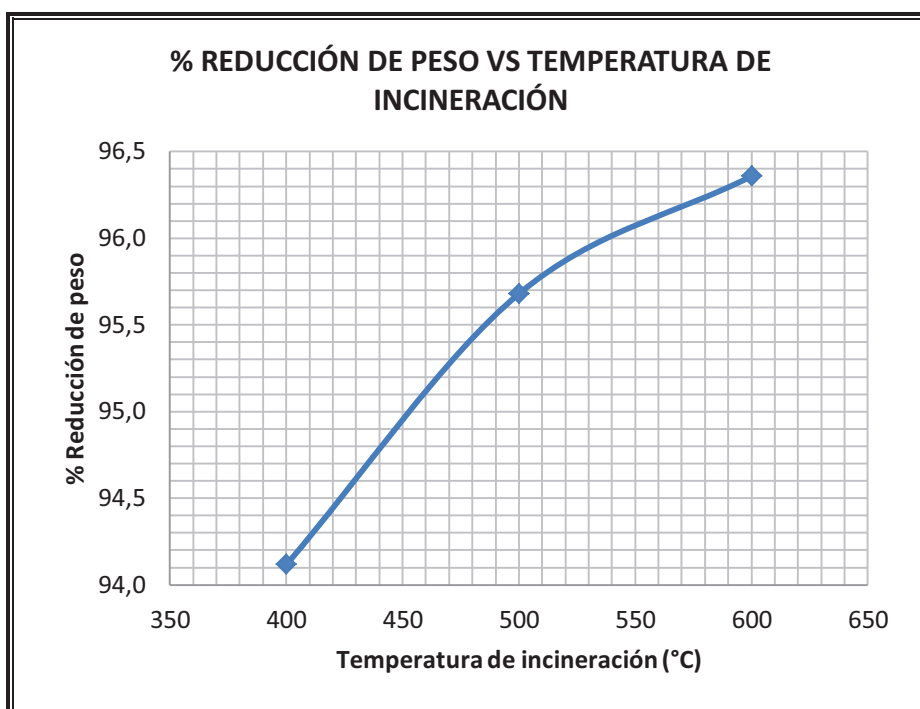
TABLA 3. 6. Resultados de la DQO del lixiviado de la muestra experimental incinerada

DQO DE LA MUESTRA EXPERIMENTAL (mg/l)			
Lluvias de 150 mm	400°C	500°C	600°C
1	399	324	185
2	58	35	22
3	33	36	1

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

A continuación se obtiene los siguientes gráficos de los datos de la muestra experimental presentados de la en la tabla 3.5.

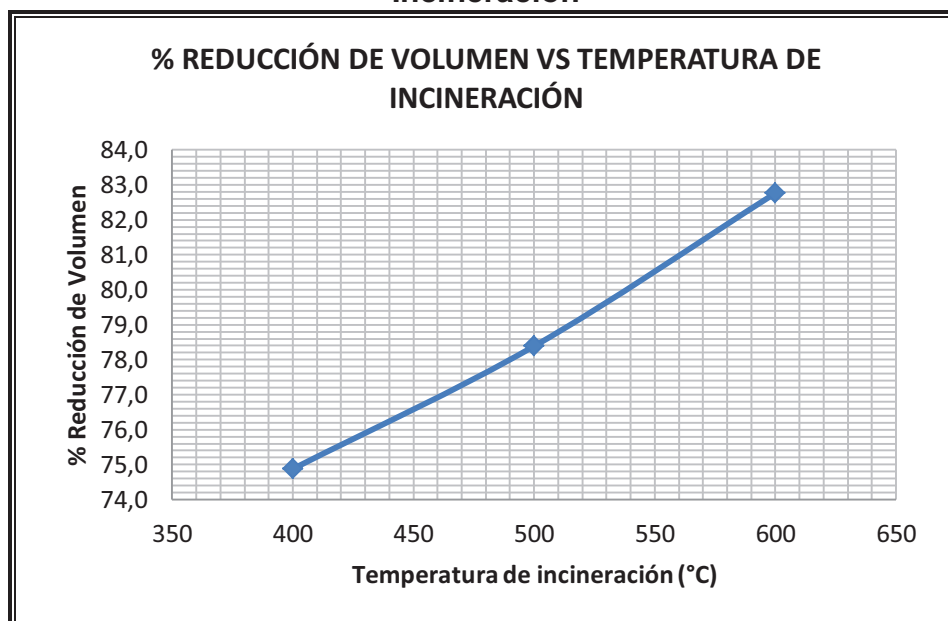
GRÁFICO 3. 5. Porcentaje de Reducción de Peso vs Temperatura de Incineración



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

En el gráfico 3.5 se observa como aumenta el porcentaje de reducción del peso de la muestra ingresada con respecto a la temperatura de incineración.

GRÁFICO 3. 6. Porcentaje de Reducción de Volumen vs Temperatura de Incineración



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

En el gráfico 3.6 se observa como aumenta el porcentaje de reducción del volumen de la muestra ingresada con respecto a la temperatura de incineración.

De los datos observados se puede concluir que la temperatura adecuada es de 600°C.

3.5 PARÁMETROS DE CONTROL

3.5.1 PODER CALORÍFICO INFERIOR

Como se mencionó en el capítulo anterior el poder calorífico inferior es la cantidad de calor desprendido en la combustión completa sin tomar en cuenta el calor del vapor de agua de la combustión.

Para obtener el poder calorífico de las cinco muestras de residuos orgánicos biodegradables obtenidas de nuestros domicilios se realizó los siguientes pasos:

- Picar los residuos biodegradables en pedazos medianos, para que el secado en la estufa sea más rápido, y colocarlos en bandejas de aluminio. (ver fotografía 3.8).

FOTOGRAFÍA 3. 8. Residuos picados



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Colocar las bandejas en la estufa a 105°C durante 48 horas, mezclando continuamente para que el secado sea uniforme (ver fotografía 3.9).

FOTOGRAFÍA 3. 9. Secado de los residuos biodegradables



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Una vez secas las muestras colocar en vasos de precipitación y dejar enfriar en el desecador y pesar, volver a ingresar la muestra a la estufa, sacar y enfriar, cuando ya no sufra variaciones de peso sabemos que la muestra está seca, una vez fría la muestra guardar en fundas herméticas para que no absorba humedad (ver fotografía 3.10).

FOTOGRAFÍA 3. 10. Muestras enfriándose en el desecador

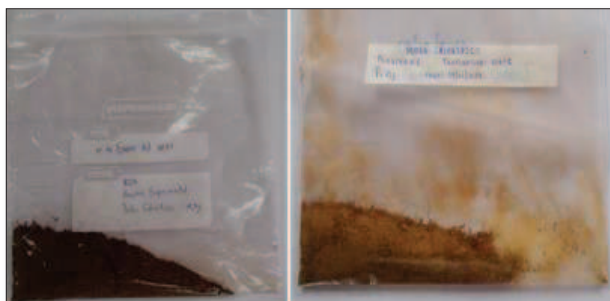
Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Poner una cantidad representativa de la muestra seca en un mortero para molerlo hasta obtener una textura muy fina y una cantidad mayor a un gramo (ver fotografía 3.11).

FOTOGRAFÍA 3. 11. Muestra molida

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Por último colocar la muestra molida en una funda hermética y rotularle (ver fotografía 3.12).

FOTOGRAFÍA 3. 12. Muestra rotulada

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Para determinar el poder calorífico inferior, se coloca un gramo de la muestra molida y seca en una bomba calorimétrica, que será ubicada dentro del equipo de poder calorífico (ver fotografía 3.13).

FOTOGRAFÍA 3. 13. Determinación del poder calorífico

		
Equipo para medir el poder calorífico	Muestra en el crisol de la bomba y en contacto con el alambre de ignición	Introducción de oxígeno en la bomba calorimétrica
		
Bomba calorimétrica dentro del equipo	Muestra en combustión	Restos del alambre de ignición después de la combustión

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

Los resultados obtenidos del poder calorífico de las cinco muestras de residuos de fácil degradación están en el rango de 4073,38 a 3809,84 Kcal/Kg (ver Anexo N°2), un valor muy parecido al poder calorífico de la madera presentado en la tabla 2.4.

En la tabla 3.7 se presenta los valores del poder calorífico inferior obtenido de las cinco muestras.

TABLA 3. 7. Poder calorífico inferior de las cinco muestras

Muestras	Poder Calorífico (J/g)			Poder Calorífico (Kcal/Kg)		
	Medición 1	Medición 2	Promedio	Medición 1	Medición 2	Promedio
Muestra 1	16805,32	16444,29	16624,81	4013,69	3927,46	3970,58
Muestra 2	16835,08	17275,42	17055,25	4020,80	4125,97	4073,38
Muestra 3	17077,50	16423,50	16750,50	4078,70	3922,50	4000,60
Muestra 4	15856,61	16067,89	15962,25	3787,11	3837,57	3812,34
Muestra 5	16141,33	15762,23	15951,78	3855,11	3764,56	3809,84

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

Según datos obtenidos por EMASEO la cantidad de residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano de Quito es de 1622 Ton/día, tomando en cuenta que los residuos sólidos orgánicos biodegradables equivalen al 60% del total, se tendría una cantidad de 973,2 Ton/día, por lo cual si se implementara este nuevo modelo de gestión en Quito se obtendría 4.308,37 MWh de energía en un día, tomando en cuenta el menor poder calorífico de la tabla 3.7 (3809,84 Kcal/Kg).

3.5.2 REDUCCIÓN DE VOLUMEN

La reducción del volumen de las muestras a diferentes temperaturas es un parámetro importante en la gestión de los residuos urbanos, debido a que su volumen se reduce aproximadamente en un 80 % a una temperatura de 600°C, lo cual nos ayuda a aumentar el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios.

A continuación se describe el procedimiento que se utilizó para la determinación del volumen de las cinco muestras:

- Mezclar los residuos orgánicos biodegradables obtenidos de los hogares y picarlos en pedazos pequeños (ver fotografía 3.14).

FOTOGRAFÍA 3. 14. Residuos orgánicos biodegradables picados

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Pesar aproximadamente 100g de muestra para cada temperatura (400°C, 500°C y 600°C), y colocar en jarras graduados en mililitros para medir su volumen total, es decir incluido el volumen de los poros (ver fotografía 3.15).

FOTOGRAFÍA 3. 15. Medición del volumen antes de entrar a la mufla

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Poner las muestras en las cápsulas y colocar en la mufla por 15 minutos para cada temperatura, luego dejar en el desecador hasta que se enfríe.
- Una vez fría la muestra colocar en las jarras graduados para medir su volumen total (ver fotografía 3.16).

FOTOGRAFÍA 3. 16. Medición del volumen a la salida de la mufla



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Para conocer el porcentaje de reducción del volumen se hace una diferencia entre el volumen inicial y el volumen final como se lo presenta a continuación:

$$\text{Reducción de volumen (\%)} = \frac{\text{Volumen}_{\text{inicial}} - \text{Volumen}_{\text{final}}}{\text{Volumen}_{\text{inicial}}} * 100$$

(3.1)

A continuación se presenta el ejemplo de cálculo de reducción de volumen de la Muestra 1 a una temperatura de 400°C.

$$\text{Reducción de volumen (\%)} = \frac{125\text{cm}^3 - 29\text{cm}^3}{125\text{cm}^3} * 100 = 76,8$$

- Para obtener la reducción de volumen a diferentes temperaturas de las otras muestras se sigue el procedimiento mencionado anteriormente.

En la tabla 3.8 se presenta los datos obtenidos de la reducción de volumen de las cinco muestras a temperaturas de 400°C, 500°C y 600°C.

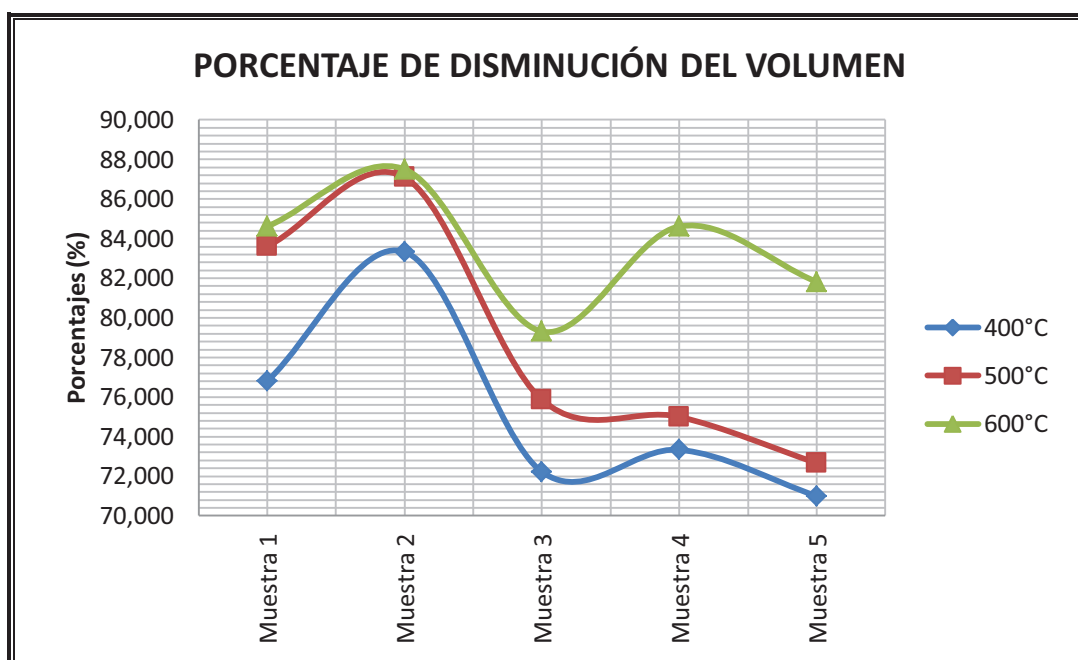
TABLA 3. 8. Resultados del porcentaje de disminución del volumen

Temperatura (°C)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
400	76,800	83,3333	72,222	73,333	71,000	75,3378
500	83,607	87,0968	75,862	75,000	72,667	79,2843
600	84,615	87,5000	79,310	84,615	81,818	82,4590

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

En el gráfico 3.7 que se presenta a continuación se observa el volumen en función de la temperatura, es decir que al aumentar la temperatura el volumen de las muestras disminuye.

GRÁFICO 3. 7. Porcentaje de disminución del volumen en función de la temperatura



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

3.5.3 REDUCCIÓN DE PESO

La reducción del peso de los residuos orgánicos biodegradables se obtuvo mediante el proceso de incineración, alcanzando una reducción de peso de alrededor del 96% a una temperatura de 600°C.

El procedimiento que se utilizó en la reducción del peso se describe a continuación:

- Una vez mezclada y picada la muestra, se procede a pesar aproximadamente 100 g de la muestra para las diferentes temperaturas.
- Pesarse las cápsulas de porcelana antes de colocar los residuos en estas, y después pesarse las cápsulas con los residuos (ver fotografía 3.17).

FOTOGRAFÍA 3. 17. Medición del peso de las cápsulas y de las muestras



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Colocar las cápsulas de porcelana con los residuos en la mufla por 15 min y a la temperatura adecuada, luego sacar las cápsulas y colocarlas en el desecador hasta que se enfríen (ver fotografía 3.18).

FOTOGRAFÍA 3. 18. Incineración de los residuos



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Una vez frías las muestras se procede a pesar los residuos, tomando en cuenta que hay que restar el peso de la cápsula para obtener el peso total de los residuos (ver fotografía 3.19).

FOTOGRAFÍA 3. 19. Medición del peso de las muestras salidas de la mufla



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- La reducción de peso se obtiene mediante la diferencia entre el peso inicial y el peso final como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Reducción de peso (\%)} = \frac{\text{Peso}_{\text{inicial}} - \text{Peso}_{\text{final}}}{\text{Peso}_{\text{inicial}}} * 100$$

(3.2)

A continuación se muestra el ejemplo de cálculo de reducción de peso de la Muestra 1 a una temperatura de 400°C.

$$\text{Reducción de volumen (\%)} = \frac{61,586 \text{ g} - 3,912 \text{ g}}{61,586 \text{ g}} * 100 = 93,648$$

- Para calcular la reducción de peso de las cinco muestras y a diferentes temperatura se sigue los pasos anteriormente mencionados.

En la tabla 3.9 se muestra el porcentaje de reducción del peso de los residuos orgánicos biodegradables a diferentes temperaturas.

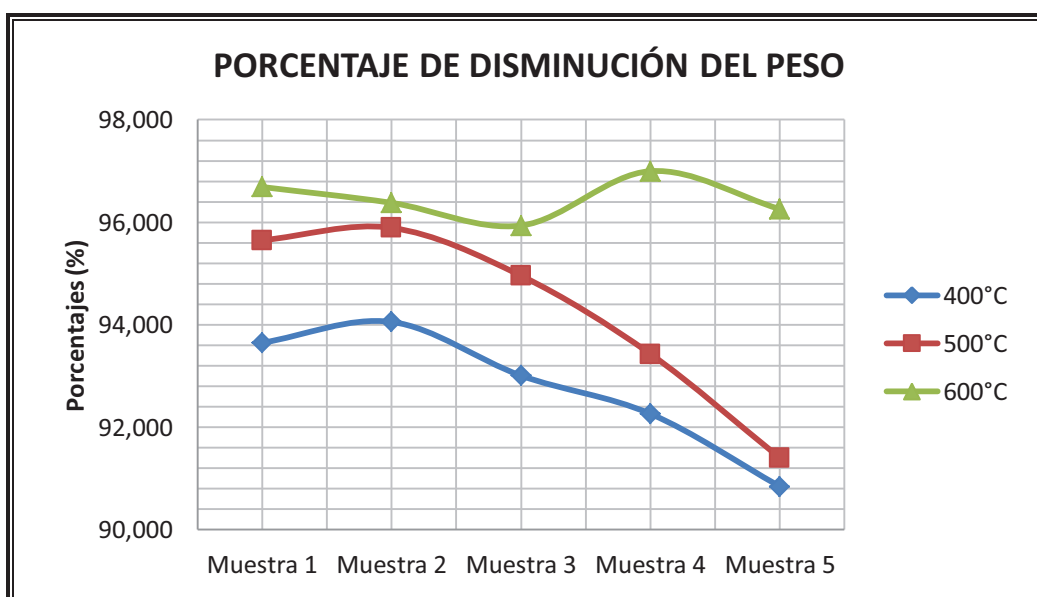
TABLA 3. 9. Porcentaje de reducción del peso de las muestras

Temperatura (°C)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
400	93,648	94,054	93,006	92,260	90,841	92,7618
500	95,648	95,891	94,956	93,428	91,400	94,2647
600	96,689	96,379	95,936	96,998	96,257	96,4515

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

A continuación se presenta el gráfico 3.8 que representa la reducción del peso de los residuos en función de la temperatura.

GRÁFICO 3. 8. Porcentaje de disminución del peso en función de la temperatura



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

3.5.4 PESO ESPECÍFICO

El peso específico o densidad es una característica importante en la gestión de los residuos, debido a que determina el volumen ocupado por una cierta masa. Conocer la densidad de los residuos orgánicos biodegradables cuando salen de la mufla es substancial para saber qué destino final se le va a dar a los residuos.

3.5.4.1 Determinación de la Densidad Aparente de las Cenizas

La densidad aparente es aquella en la que se toma en cuenta el volumen de los poros, para la determinación de la densidad aparente se realizó los siguientes pasos:

- Medir el volumen total (incluido el volumen de los poros) de la muestra después de salir de la mufla.
- Sacar la muestra de la mufla, dejar enfriar en el desecador y medir su peso.
- Una vez que se obtenga los datos de volumen y peso de la muestra, utilizar la siguiente fórmula.

$$Densidad_{Aparente} = \frac{Masa\ de\ los\ Residuos}{Volumen\ Total} ; \left(\frac{kg}{m^3}\right) \quad (3.3)$$

(Mendoza, 2009)

A continuación se indica un ejemplo de cálculo de la densidad aparente para la Muestra 1 a una temperatura de 400°C.

$$Densidad_{Aparente} = \frac{3,912\ g}{29\ cm^3} = 0,135\ \frac{g}{cm^3} = 135\ \frac{kg}{m^3}$$

- Para el cálculo de la densidad aparente de las otras muestras se sigue los pasos señalados anteriormente.

En la tabla 3.10 se presenta el valor de la densidad aparente para las cinco muestras a distintas temperaturas.

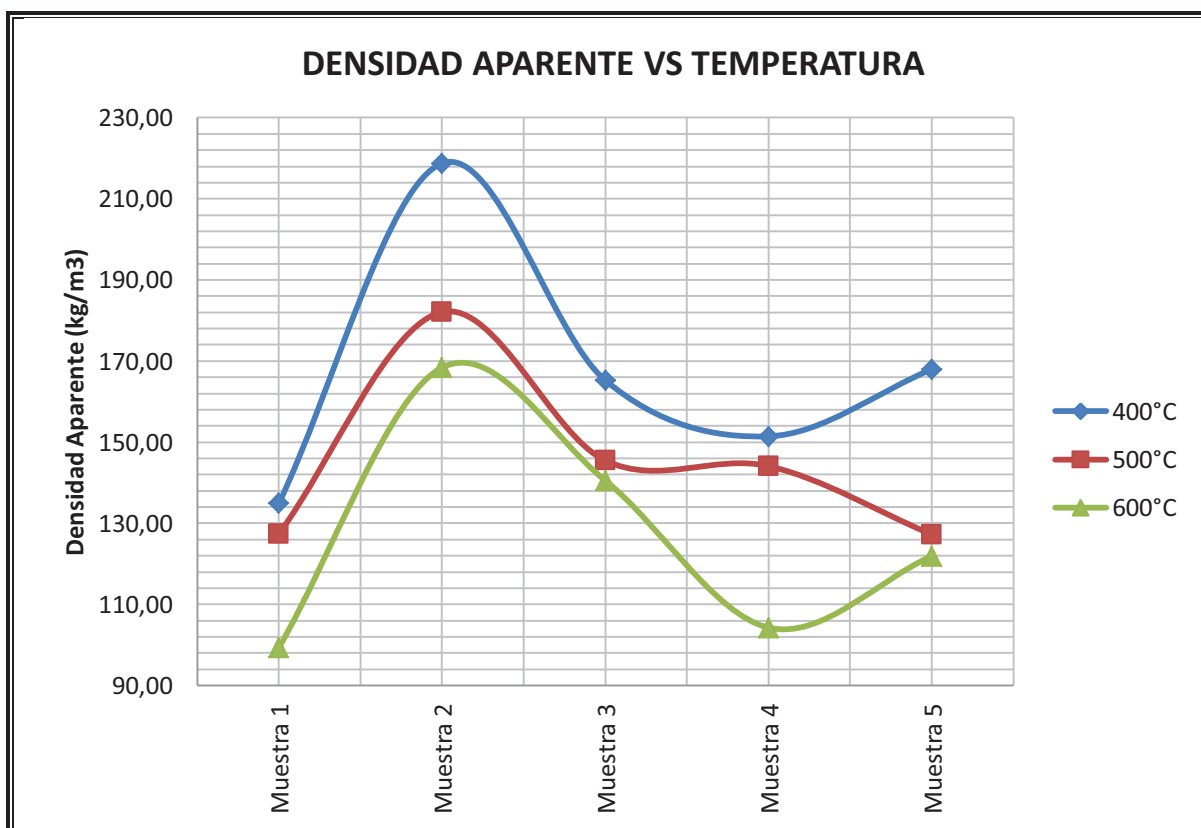
TABLA 3. 10. Densidad aparente de las cenizas de los residuos biodegradables

Temperatura (°C)	Muestra 1 (kg/m ³)	Muestra 2 (kg/m ³)	Muestra 3 (kg/m ³)	Muestra 4 (kg/m ³)	Muestra 5 (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)
400	134,90	218,76	165,26	151,44	167,96	167,66
500	127,35	182,08	145,47	144,10	127,24	145,24
600	99,32	168,38	140,55	104,27	121,90	126,88

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

En el gráfico 3.9 se observa que la densidad aparente disminuye al aumentar la temperatura.

GRÁFICO 3. 9. Densidad aparente en función de la temperatura



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

3.5.4.2 Determinación de la Densidad Real de las Cenizas

La densidad real es la relación entre la masa de los residuos y el volumen de los residuos, sin contar con el volumen de los poros.

Para determinar la densidad real de las muestras se sigue el siguiente proceso:

- En dosificadores graduados de 15ml colocar un volumen conocido de agua, en este caso se añadió 10ml de agua (ver fotografía 3.20).

FOTOGRAFÍA 3. 20. Dosificadores con un volumen conocido



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Pesar una cierta cantidad de la muestra incinerada y colocarla en el dosificador que contiene agua (ver fotografía 3.21).

FOTOGRAFÍA 3. 21. Colocación de la muestra incinerada en el dosificador



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Agitar un poco y medir el nuevo volumen, una vez medido el volumen inicial y final del agua se utiliza la siguiente fórmula.

$$Volumen_{Residuos} = Volumen\ Final_{agua} - Volumen\ Inicial_{Agua} \quad (3.4)$$

(García, 2009)

Con la utilización de la ecuación anterior se presenta un ejemplo de cálculo del volumen de los residuos después de la incineración.

$$Volumen_{Residuos} = 11,2\text{mL} - 10\text{ mL} = 1,2\text{ mL}$$

- Para calcular la densidad real se divide la masa de las cenizas de los residuos pesados anteriormente y el volumen de los mismos (ver Anexo N°3). A continuación se presenta la fórmula utilizada.

$$Densidad_{Real} = \frac{Masa\ de\ los\ Residuos}{Volumen\ de\ los\ residuos} ; \left(\frac{kg}{m^3}\right) \quad (3.5)$$

(Mendoza, 2009)

En este ejemplo se indica el cálculo de la densidad real de la Muestra 1 a una temperatura de 400°C, y de la misma manera se realiza con las demás muestras.

$$Densidad_{Real} = \frac{1,4816\text{ g}}{1,2\text{ cm}^3} = 1,235\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1\ 235\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

En la tabla 3.11 se presenta los datos de densidad real obtenida de las cinco muestras a temperaturas de 400°C, 500°C y 600°C.

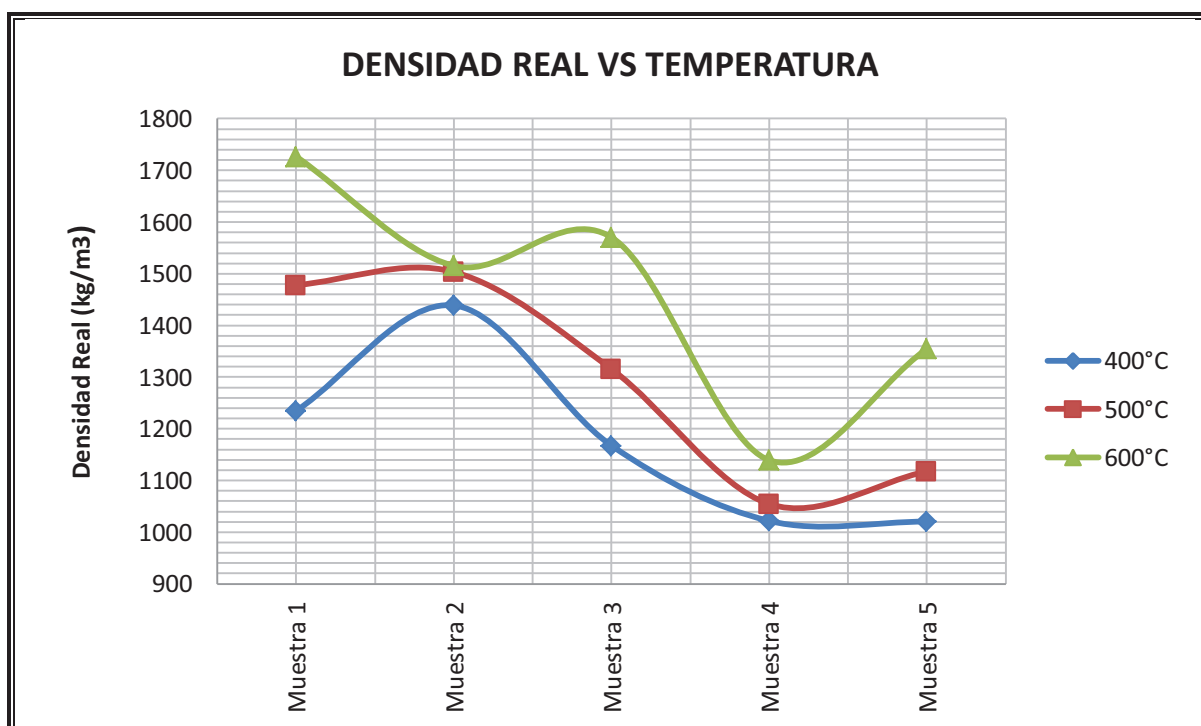
TABLA 3. 11. Densidad real de las cenizas de los residuos biodegradables

Temperatura (°C)	Muestra 1 (kg/m ³)	Muestra 2 (kg/m ³)	Muestra 3 (kg/m ³)	Muestra 4 (kg/m ³)	Muestra 5 (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)
400°	1234,67	1605,33	1167,40	1224,22	1020,42	1250,41
500°	1478,11	1503,33	1315,50	1054,50	1117,60	1293,81
600°	1726,83	1515,30	1570,38	1139,22	1354,88	1461,32

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

En el gráfico 3.10 se observa que la densidad real disminuye al aumentar la temperatura.

GRÁFICO 3. 10. Densidad real en función de la temperatura



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

3.5.5 LIXIVIACIÓN DE CENIZAS

La lixiviación de las cenizas es un parámetro muy importante en el nuevo modelo de gestión de los residuos urbanos, debido a que se mide la reducción de la Demanda Química de Oxígeno de los residuos después de haber pasado por un proceso térmico.

Para la determinación de la DQO de las cenizas de los residuos biodegradables se sigue los siguientes procedimientos:

3.5.5.1 Determinación de la lluvia de intensidad máxima

En la determinación de la Demanda Química de Oxígeno de las cenizas de los residuos se simuló una lluvia intensa y de poca duración en el Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual se utilizó el método del Inamhi:

- Escoger la estación meteorológica adecuada, en este caso se escogió la estación Izobamba.
- Ubicar la estación escogida en el mapa de zonas del Inamhi, para la estación de Izobamba le corresponde la Zona 11.
- Obtener las ecuaciones de intensidad máxima para la Zona 11.

$$I_{TR} = 137,27t^{-0,5153} \cdot Id_{TR} \quad 5 \leq t < 60 \quad (3.6)$$

$$I_{TR} = 578,56t^{-0,8736} \cdot Id_{TR} \quad 60 \leq t < 1440 \quad (3.7)$$

I_{TR} : Intensidad máxima con duración y periodo de retorno, (mm/h)

Id_{TR} : Intensidad máxima diaria con periodo de retorno, (mm/h)

t : Duración, (min)

(Inamhi, 1999)

- Encontrar el $I_{d_{TR}}$ con las cartas de isolíneas correspondientes o utilizar el valor que se encuentra en tablas (ver Anexo N°4), para un periodo de retorno de 25 años el $I_{d_{TR}} = 2,5$.
- A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de las intensidades máximas para una duración de 5 y 60 minutos.

$$t = 5 \text{ min}$$

$$I_{TR} = 137,27t^{-0,5153} \cdot I_{d_{TR}} \quad 5 \leq t < 60$$

$$I_{TR} = 137,27(5)^{-0,5153} \cdot 2,5 = 149,7395 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

$$t = 60 \text{ min}$$

$$I_{TR} = 578,56t^{-0,8736} \cdot I_{d_{TR}} \quad 60 \leq t < 1440$$

$$I_{TR} = 578,56(60)^{-0,8736} \cdot 2,5 = 40,4478 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

En la tabla 3.12 se presenta los datos calculados de las intensidades máximas con el método del Inamhi.

TABLA 3. 12. Intensidades máximas

Tr = 25 años	
t (min)	I _{TR} (mm/h)
5	149,7395
10	104,7648
15	85,0111
30	59,4778
60	40,4478
120	22,0757
360	8,4547
720	4,6145
1440	2,5185

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

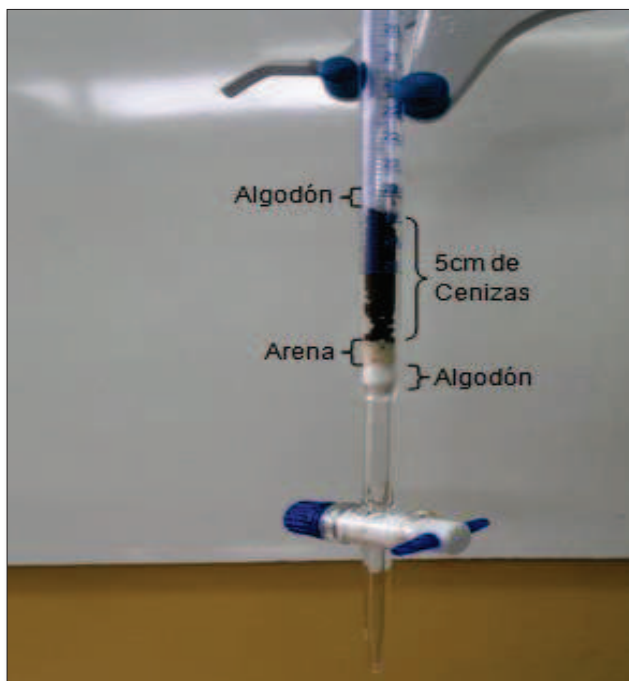
La lluvia que se utilizó en la parte experimental es la que tiene una intensidad de 150 mm/h con una duración de 5 minutos, debido a que en un relleno sanitario una lluvia de estas características produce el aumento del lixiviado.

3.5.5.2 Simulación del paso de la lluvia en el área de cenizas de los residuos

En la simulación del paso de la lluvia por una determinada área de las cenizas de los residuos se siguió los siguientes pasos:

- Utilizar una bureta para formar el área por el cuál va a pasar la lluvia, se usó una bureta debido a que su área es pequeña y la cantidad de ceniza es escasa para realizar en un área más grande.
- Colocar un pedazo pequeño de algodón en el fondo de la bureta y luego poner medio centímetro de arena para que las cenizas no tapen la punta de la bureta y permita el paso del lixiviado.
- Poner las cenizas en la bureta hasta que nos de 5 cm de altura, y previamente pesar lo que equivale a los 5cm, por último colocar un pedazo pequeño de algodón para evitar que las cenizas floten al colocar el agua (ver fotografía 3.22).

FOTOGRAFÍA 3. 22. Formación del área de cenizas en la bureta



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Por último con una pipeta colocar agua destilada en la bureta manteniendo la llave cerrada hasta que nos de 15 cm, que simula la lluvia calculada anteriormente (ver tabla 3.12) y medir el volumen de agua que equivale a los 15 cm (ver fotografía 3.23).

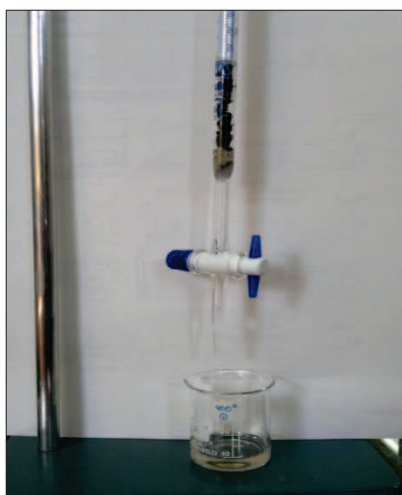
FOTOGRAFÍA 3. 23. Colocación del agua destilada en la bureta



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Para la simulación de la lluvia se abre la llave y se deja que el agua pase por el área de cenizas, este lixiviado se recoge en un vaso de precipitación para después medir su DQO (ver fotografía 3.24).

FOTOGRAFÍA 3. 24. Recolección del lixiviado



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- El paso anterior se lo repite dos veces más para cada temperatura simulando tres lluvias intensas al año y de esta manera conocer como varía la DQO del lixiviado (ver fotografía 3.25).

FOTOGRAFÍA 3. 25. Recolección del lixiviado a diferentes temperaturas



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Para las cuatro muestras restantes se realiza el mismo procedimiento mencionado anteriormente.

3.5.5.3 Medición de la Demanda Química de Oxígeno del lixiviado de las cenizas

La medición de la Demanda Química de Oxígeno del lixiviado de las cenizas a diferentes temperaturas y con tres lluvias intensas, nos indica si el nuevo modelo de gestión es conveniente para la disminución de la DQO en los residuos.

En la medición de la DQO del lixiviado de las cenizas se tomó como base el Método 8000 de los procedimientos seleccionados del manual de Hach sobre análisis del agua (ver Anexo N°5).

A continuación se presenta los pasos a seguir para la medición de la DQO del lixiviado de las cenizas de los residuos biodegradables:

- Tomar con una pipeta 2ml del lixiviado que se encuentra en los vasos de precipitación y colocar en los viales adecuados, para las temperaturas de 400°C y 500°C se utilizó viales de alto rango y para la temperatura de 600°C se utilizó viales de bajo rango (ver fotografía 3.26).

FOTOGRAFÍA 3. 26. Muestra del lixiviado de las cenizas en el vial



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Cerrar los viales con las tapas e invertirlos suavemente para mezclar el lixiviado con el reactivo que tiene el vial (ver fotografía 3.27).

FOTOGRAFÍA 3. 27. Mezcla de los viales



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Preparar un blanco colocando 2ml de agua destilada en un vial de rango bajo y en un vial de rango alto (ver fotografía 3.28).

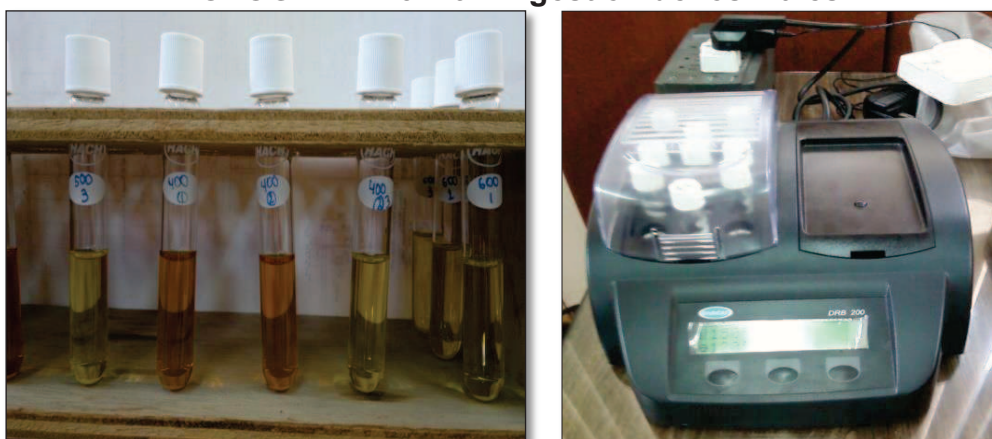
FOTOGRAFÍA 3. 28. Blanco de bajo y alto rango



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Con anterioridad precalentar el digestor hasta que llegue a una temperatura de 150°C.
- Una vez que estén listas las muestras y el digestor este precalentado, colocar las muestras en el digestor por dos horas (ver fotografía 3.29).

FOTOGRAFÍA 3. 29. Digestión de los viales



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- Sacar las muestras del digestor y esperar que se enfríen para medir la DQO en el espectrofotómetro (ver fotografía 3.30).

FOTOGRAFÍA 3. 30. Enfriamiento de las muestras de lixiviado



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

- En el espectrofotómetro escoger el programa adecuado para medir la DQO, luego encerrar con el blanco y por último medir el vial con el lixiviado (ver fotografía 3.31).

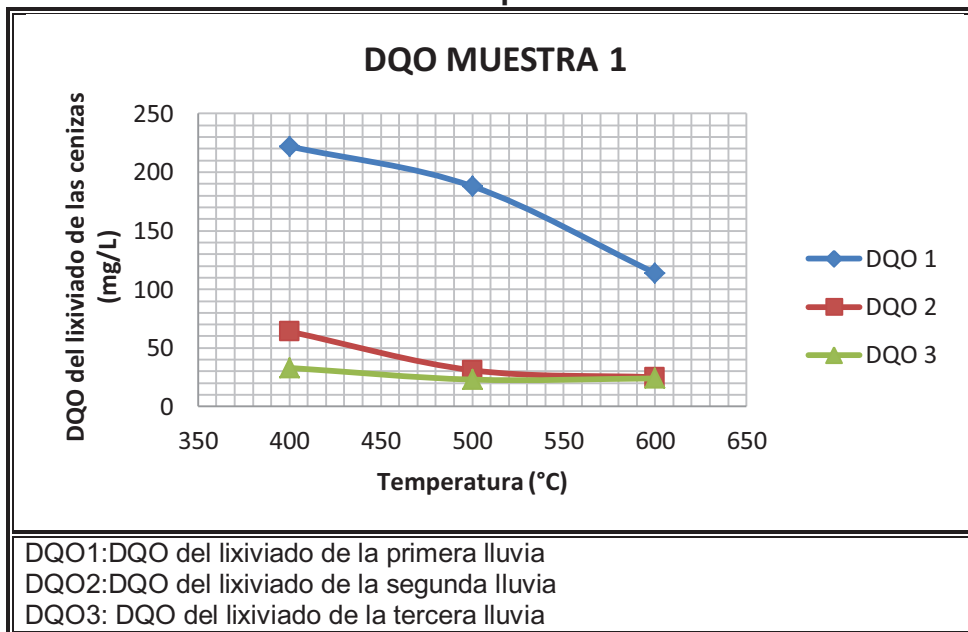
FOTOGRAFÍA 3. 31. Medición de la DQO del lixiviado de las cenizas



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

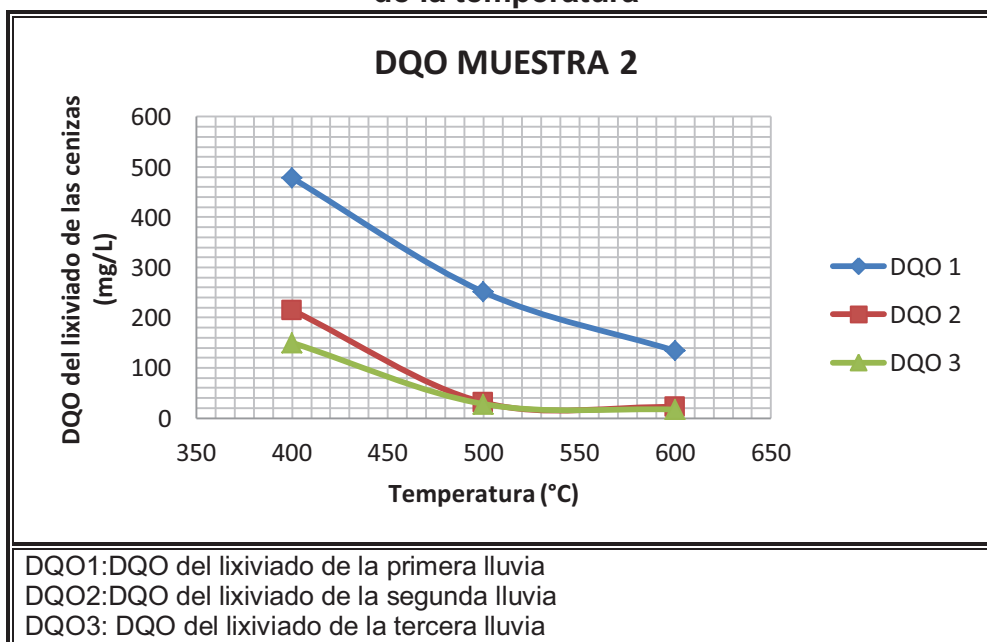
A continuación se presenta los gráficos de la reducción de la DQO del lixiviado de las cenizas de las cinco muestras en función de las temperaturas 400°C, 500°C y 600°C, que se encuentran en las tablas del Anexo N°3.

GRÁFICO 3. 11. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 1 en función de la temperatura



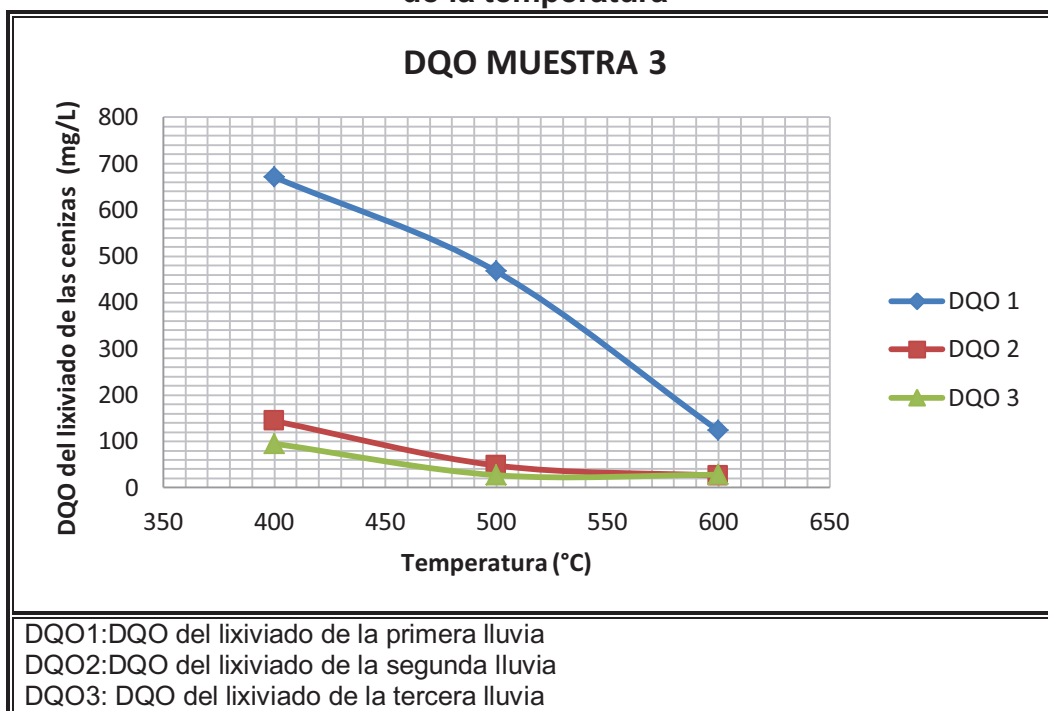
Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

GRÁFICO 3. 12. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 2 en función de la temperatura



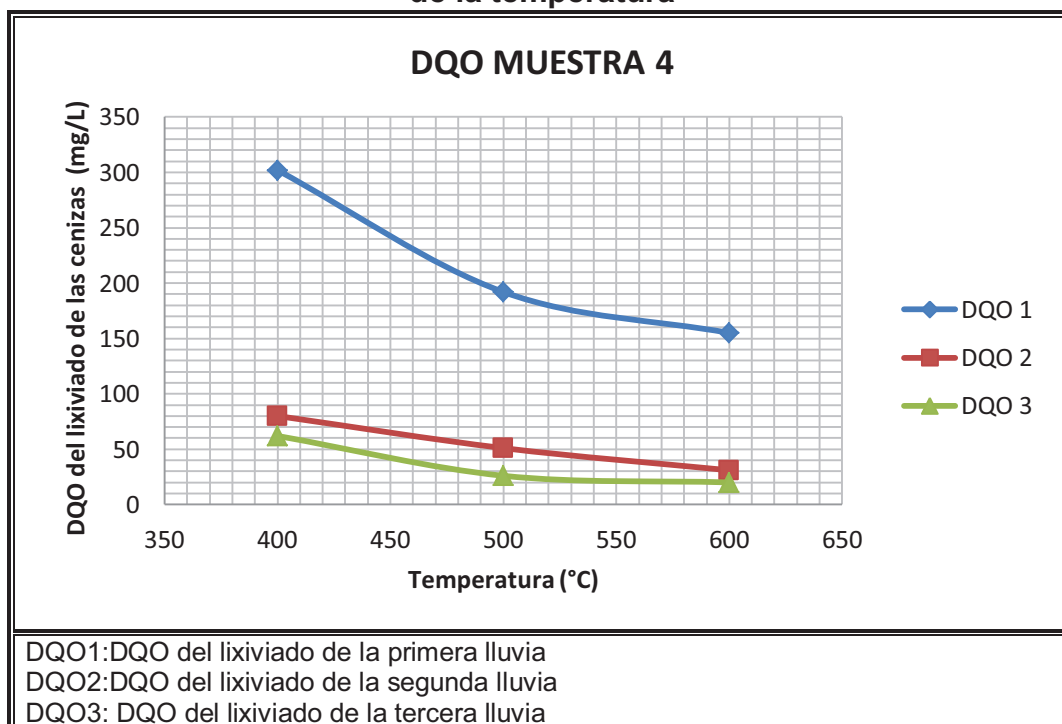
Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

GRÁFICO 3. 13. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 3 en función de la temperatura



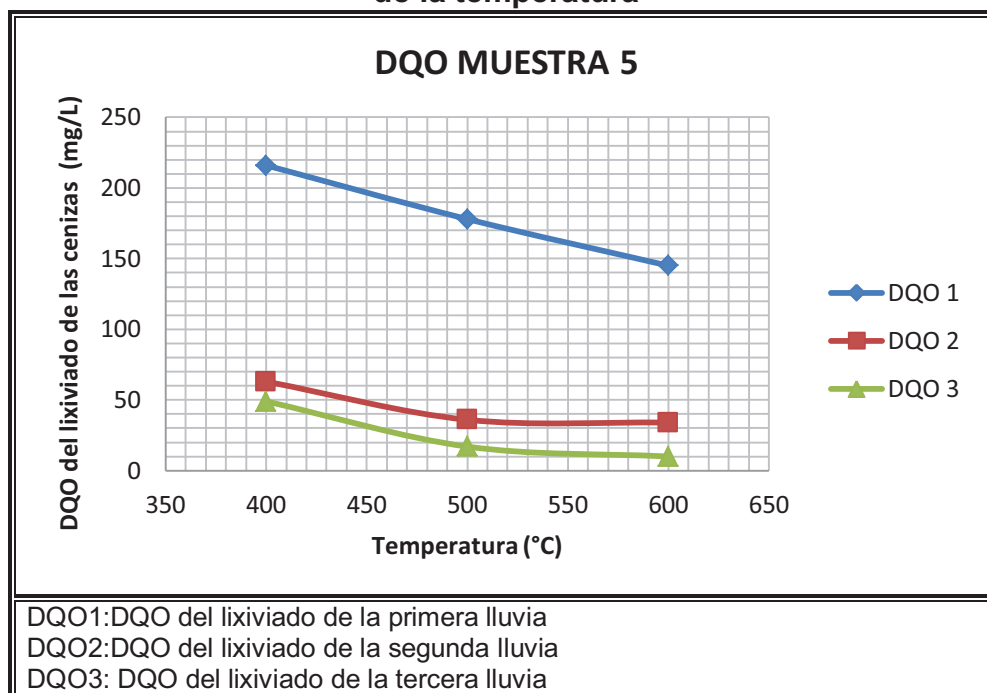
Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

GRÁFICO 3. 14. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 4 en función de la temperatura



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

GRÁFICO 3. 15. DQO del lixiviado de las cenizas de la Muestra 5 en función de la temperatura



Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

4.1 EMISIONES

En la incineración de residuos sólidos urbanos mezclados se producen emisiones atmosféricas que contiene: metales pesados, dioxinas y furanos, el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono CO₂, cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), los cuales son perjudiciales para el ambiente y para la salud de las personas, si no se los trata adecuadamente.

La investigación realizada propone la incineración de los residuos orgánicos de fácil degradación, previamente separados del resto de residuos urbanos, ya que evita tener productos como: metales pesados, dioxinas, furanos, entre otros. Obteniendo como resultado emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y cenizas, que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión (TULSMA, Libro VI, Anexo 3).

El procedimiento para medir las emisiones gaseosas de la incineración de residuos orgánicos se encuentra en el Anexo N°6, al igual que los resultados obtenidos, para comparar con la normativa vigente se tiene que cambiar de unidades con las siguientes fórmulas:

$$CO \text{ (mg/m}^3\text{)} = CO(\text{ppm}) \times 1,25 \quad (4.1)$$

(Jecht, 2007)

$$NO_x \text{ (mg/m}^3\text{)} = NO_x(\text{ppm}) \times 2,05 \quad (4.2)$$

(Jecht, 2007)

$$SO_2 \text{ (mg/m}^3\text{)} = NO_2(\text{ppm}) \times 2,86$$

(4.3)
(Jecht, 2007)

A continuación se indica cómo se hizo el cambio de unidades a los resultados:

$$CO = 3 \times 1,25 = 3,25 \text{ mg/m}^3$$

$$NO_x = 62 \times 2,05 = 127,1 \text{ mg/m}^3$$

$$SO_2 = 42 \times 2,86 = 120,1 \text{ mg/m}^3$$

En la tabla 4.1 se indicada los resultados obtenidos de la incineración de residuos orgánicos de fácil degradación y los límites máximos permisibles correspondiente a emisiones al aire para fuentes fijas de combustión en operación a partir de enero del 2003, según la legislación ecuatoriana.

TABLA 4. 1. Comparación de los resultados con los límites máximos permisibles

Contaminante Emitido	Unidad	Límite máximo permisible	Medición de la Incineración de Residuos Biodegradables	Cumplimiento
Óxidos de Nitrógeno	mg/Nm ³	850	127,1	Si Cumple
Dióxido de azufre	mg/Nm ³	1650	120,1	Si Cumple

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

Otro contaminante emitido es el material particulado, que en este caso no pudo ser medido debido a las condiciones experimentales en las que se trabajó, pero se asume que se encuentra dentro de la norma y en el caso que no cumpla se utilizaría un equipo de control de material particulado como sedimentadores gravitacionales, ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros o lavadores.

Con respecto a los otros contaminantes emitidos por la incineración de residuos biodegradables, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre cumplen con la norma vigente ya que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

4.2 CALIDAD DE LAS CENIZAS

Las cenizas obtenidas en la incineración de residuos orgánicos de fácil degradación a 600°C están alrededor del 3,5% (ver tabla 4.2) del peso total de los residuos, las cenizas se consideran como sólidos fijos debido a que a la temperatura de 550°C se eliminan todos los volátiles como se puede observar en el gráfico 3.4. Esto implica que se tiene un residuo estable que no es perjudicial para el ambiente ni para la salud de las personas.

En la tabla 4.2 se presenta el porcentaje de cenizas o sólidos fijos obtenidos en la incineración.

TABLA 4. 2. Porcentaje de cenizas obtenidas en la incineración de residuos orgánicos biodegradables

Porcentaje de Cenizas						
Temperatura	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
400°	6,352	5,946	6,994	7,740	9,159	7,2382
500°	4,352	4,109	5,044	6,572	8,600	5,7353
600°	3,311	3,621	4,064	3,002	3,743	3,5485

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

Las cenizas son sólidos fijos compuestos por sustancias inorgánicas como sales minerales, en este caso elementos como el sodio, potasio, calcio, magnesio, entre otros, que forman parte de la composición de los residuos orgánicos biodegradables incinerados.

La gestión final que se le da a las cenizas es colocarlas en un relleno sanitario debido a que ya no ocupa mucho espacio en el relleno o también ser utilizadas como acondicionamiento para el suelo, ya que no posee sustancias tóxicas ni metales pesados, ni patógenos.

4.3 ANÁLISIS DE LA LIXIVIACIÓN DE CENIZAS (DQO)

El lixiviado en los rellenos sanitarios que reciben residuos urbanos mezclados está formado de metales pesados, coliformes fecales y principalmente tiene una Demanda Química de Oxígeno muy elevada, los cuales contaminan en agua superficial y subterránea, siendo la incineración parte de un modelo de gestión para evitar estos problemas.

El nuevo modelo de gestión de los residuos separados mediante la incineración de los residuos orgánicos de fácil degradación nos da como resultado la disminución de la demanda química de oxígeno de una manera muy eficiente en comparación con la DQO del lixiviado de un relleno sanitario de residuos domésticos mezclados que se encuentra en el rango de 3000 – 45000 mg/l (ver tabla 2.10).

El lixiviado original de los residuos durante una semana de recolección tiene una DQO de 5050 mg/l (dato experimental) y al incinerar los residuos a 600°C da como resultado promedio una DQO de 148 mg/l en la primera lluvia; se puede observar que la incineración ayuda a disminuir la DQO de los residuos en un porcentaje del 97,1%.

En la tabla 4.3, 4.4 y 4.5, se presenta la disminución de la DQO del lixiviado de las cenizas en función de la temperatura y con la simulación de tres lluvias.

TABLA 4. 3. DQO del lixiviado de las cenizas a una temperatura de 400°C

DQO del lixiviado a temperatura de 400°C						
N° de lluvias	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
1	188	478	671	302	216	371
2	64	215	144	80	63	113
3	33	150	95	62	49	78

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

TABLA 4. 4. DQO del lixiviado de las cenizas a una temperatura de 500°C

DQO del lixiviado a temperatura de 500°C						
N° de lluvias	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
1	222	251	467	192	145	255
2	31	31	48	51	36	39
3	23	28	27	26	17	24

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

TABLA 4. 5. DQO del lixiviado de las cenizas a una temperatura de 600°C

DQO del lixiviado a temperatura de 600°C						
N° de llovias	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
1	114	134	123	155	178	148
2	25	22	26	31	34	27
3	24	17	28	20	10	17

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

Los resultados obtenidos en las tablas anteriores se comparan con los límites correspondientes en la normativa ecuatoriana para conocer la calidad del lixiviado de las cenizas después de la incineración. A continuación se compara con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y a un cuerpo de agua marina en donde la DQO es 250 mg/l (TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 12 y 13).

Si se toma los valores promedios de la DQO del lixiviado de las cenizas a diferentes temperaturas se puede observar que:

- En la temperatura de 400°C las DQO cumplen con la norma desde la segunda lluvia.
- La DQO a una temperatura de 500°C cumplen con la norma desde la segunda lluvia, aunque en la primera lluvia se acerca mucho a los límites permisibles.
- A la temperatura de 600°C se puede observar que la DQO cumple con la norma desde la primera lluvia que percola en las cenizas y con un valor más bajo que el límite permisible.

En el caso de los límites de descarga al sistema de alcantarillado público el límite máximo permisible de la DQO es 500 mg/l (TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 11), por lo tanto el valor promedio de la DQO del lixiviado de las cenizas de las tres llovias y a diferentes temperaturas (400°, 500°C, 600°C) cumplen con la norma.

4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

Considerando que actualmente en el Ecuador se utiliza rellenos sanitarios como disposición final de residuos sólidos, se presenta la tabla 4.6 donde se compara los de costos operacionales de un relleno sanitario, del compostaje de residuos orgánicos y de un incinerador convencional de residuos mezclados.

TABLA 4. 6. Costos operacionales por tonelada de residuos sólidos en países de Latino América

DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	ECUADOR (\$/Ton)	MÉXICO (\$/Ton) ^c
Relleno Sanitario	13,50 ^a	13,57
Incineración con Residuos Mezclados	-	47,55
Compostaje	22,31 ^b	26,84

Fuentes:
a. Solano F, Municipio de Quinindé
b. Ruiz S, Plan de gestión de residuos del camal del cantón Antonio Ante.
c. Aguirre R., Camacho I., Análisis multicriterio y evaluación del beneficio ambiental de la incineración de residuos sólidos municipales en la ciudad de México.

Elaborado por: Calvachi V., Navarro N.

La tecnología de incineración de residuos sólidos mezclados tiene un costo mayor debido a la complejidad de los equipos operacionales utilizados en comparación con el compostaje y la disposición en rellenos sanitarios.

A pesar de que los costos de operación de un relleno sanitario son menores, se debe considerar que el tratamiento de los gases emitidos es más complejo porque se encuentran dispersos en toda el área ocupada por el relleno.

En la incineración de residuos mezclados se produce contaminantes tóxicos como dioxinas y furanos, por lo cual la depuración de los gases de incineración tiene un costo elevado respecto a un incinerador de residuos sólidos orgánicos biodegradables en donde no se generan este tipo de contaminantes.

En el presente proyecto de titulación se propone la incineración de residuos sólidos orgánicos biodegradables a una temperatura de 600°C (temperatura baja en comparación con las temperaturas de operación de incineradores convencionales), con lo que se reduciría el costo de incineración de residuos mezclados.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En base a los resultados de esta investigación, expuestos anteriormente se puede concluir lo siguiente:

1. Los resultados de poder calorífico de las muestras de residuos orgánicos de fácil degradación establecen un rango entre 3809,84 y 4073,38 Kcal/Kg, un valor parecido al poder calorífico de la madera que es 4300 kcal/kg que es utilizada como fuente energética alternativa de forma parcial.
2. La energía neta que pueden producir los residuos orgánicos biodegradables de Quito es de aproximadamente 4 308,37 MWh diarios.
3. Se eligió 600°C como la temperatura óptima de incineración en la gestión de los residuos orgánicos de fácil degradación porque a esta temperatura las emisiones gaseosas de la incineración y la DQO del lixiviado de las cenizas cumplen con la normativa vigente, mientras que los otros parámetros analizados en esta investigación contribuyen favorablemente en la disminución los impactos ambientales y las emisiones se encuentran dentro de los límites permisibles de la normativa vigente.
4. Al considerar la variación de sólidos volátiles con respecto a sólidos totales se observa que a temperaturas mayores a 500°C se obtiene una curva asintótica, dando como producto de la incineración únicamente sólidos fijos.

5. La reducción de peso de las muestras de los residuos sólidos orgánicos urbanos de fácil biodegradación es de 96,5% luego de la incineración a 600°C facilitando así su manejo.
6. Las cenizas como producto de incineración son inertes y de fácil manejo.
7. Del volumen de entrada de los residuos sólidos orgánicos urbanos de fácil biodegradación se obtuvo una reducción de 82% a 600°C, siendo un resultado muy favorable en la gestión de los residuos debido a que ayuda a aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios.
8. La densidad real de las cenizas de los residuos biodegradables es menor a la densidad aparente de las mismas, ya que esta última toma en cuenta el volumen de los poros.
9. La demanda química de oxígeno del lixiviado de las cenizas a 600°C cumplen con los límites máximos permisibles desde la primera lluvia para descargas en cuerpos de agua dulce, en cuerpos de agua marina y para descargas al sistema de alcantarillado público.
10. La incineración de los residuos orgánicos biodegradables reduce en un 97% del lixiviado original, y con respecto a la DQO de la composición típica del lixiviado de un relleno sanitario se encuentra por muy debajo del rango.
11. El lixiviado de las cenizas de la incineración de residuos sólidos orgánicos biodegradables no produce mayor contaminación de los recursos agua y suelo, debido a que no contienen patógenos ni metales pesados.
12. La incineración evita los vectores producidos por la acumulación de los residuos orgánicos biodegradables.
13. La incineración de residuos sólidos urbanos mezclados producen contaminantes tóxicos como son las dioxinas y furanos y en la presente

investigación al incinerar únicamente residuos orgánicos biodegradables no se generan este tipo de contaminantes.

- 14.** Los gases emitidos en la incineración de residuos sólidos urbanos biodegradables, como óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, cumplen con los límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión establecidos en el TULSMA.
- 15.** La implementación de un modelo de gestión de residuos sólidos separados en Quito reduce la cantidad de residuos generados, utilizando los residuos inorgánicos que se puedan reciclar y junto con la incineración de los residuos orgánicos biodegradables se obtendría un mejor manejo de residuos sin afectar a la salud ni al bienestar de la comunidad.
- 16.** La incineración de residuos orgánicos biodegradables, es una técnica muy recomendable dentro de la gestión de los residuos separados, debido a los excelentes resultados de los parámetros de control mencionados anteriormente.

5.2 RECOMENDACIONES

- 1.** Proponer un modelo de gestión de residuos separado en Quito que involucre activamente a todos los actores, a través de espacios (talleres, campañas de educación, información, sensibilización, entre otros) que deben ser brindados por la municipalidad.
- 2.** Debido a que las cenizas son materiales inorgánicos, pueden ser utilizadas para rellenos, pavimentación de calles y usos similares. En esta investigación como las cenizas de los residuos orgánicos biodegradables no poseen metales, ni patógenos se las puede utilizar para acondicionamiento del suelo.

3. En el caso de que las emisiones de incineración de residuos orgánicos biodegradables no cumplan con la normativa vigente se recomienda implementar equipos de control de contaminantes a la atmósfera como sedimentadores gravitacionales, ciclones, precipitadores electrostáticos, filtros o lavadores, tomando en cuenta que la depuración de los gases es más simple que en el caso de incineración con residuos mezclados.
4. Diseñar un modelo de un incinerador de residuos sólidos orgánicos biodegradables para conocer el rendimiento del mismo.
5. Realizar un balance de masa y energía para conocer las pérdidas que se producen y la cantidad de energía útil que puede proporcionar la incineración de residuos sólidos orgánicos de fácil degradación.
6. Analizar la necesidad de un proceso de secado previo de los residuos orgánicos biodegradables antes de la incineración.
7. Una vez comprobada la factibilidad de la investigación, es recomendable realizar un análisis económico del diseño y operación del incinerador propuesto.
8. Con el análisis económico del incinerador de residuos sólidos orgánicos biodegradables se recomienda realizar una comparación con los otros tratamientos que se les da a los residuos sólidos orgánicos biodegradables como la generación de biogás y el compostaje, con el fin de elegir el tratamiento que más se acople a las necesidades del medio en el que se aplicará.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvares J., (2008), Planta de aprovechamiento energético de la fracción combustible de los residuos sólidos urbanos con producción de energía eléctrica, Universidad Pontificia Comillas, Madrid-España.
2. Barradas A., (2009), Gestión integral de residuos sólidos municipales, Minatitlán-México.
3. Camacho I., Aguirre R., (2003), Análisis multicriterio y evaluación del beneficio ambiental de la incineración de residuos sólidos municipales en la ciudad de México, México D.F- México, Recuperado en Julio del 2012, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/camacho.pdf>.
4. Campoverde I., (2011), Elaboración de una guía didáctica sobre manejo de residuos sólidos urbanos en el mercado de la Magdalena al sur de Quito, Universidad Central del Ecuador, Ecuador.
5. Cantalupi A., (2009), Densidad real y densidad aparente, Recuperado en Abril del 2013, <http://www.slideshare.net/gueste95e25a/densidad-real-y-densidad-aparente-de-un-alimento>
6. Casas J., Garriga E., Martell M., Torras A., (2005), Gestión de los residuos sólidos urbanos-Los residuos municipales y su gestión, Metrópolis, Catalunya-España.
7. Castro B., (2000), Manual para el manejo de los residuos sólidos en medianos y pequeños municipios, Corporación OIKOS-USAID, Quito-Ecuador.

8. CETESB, (1978), Determinação de poder calorífico inferior do lixo domiciliar do município de São Paulo, São Paulo-Brasil.
9. Chávez H., Vega C., (2001), Diseño de un sistema de incineración de basura tipo III, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
10. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, (2011), Capítulo III: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, Sección Primera, Naturaleza Jurídica, Sede y Funciones, Art.55-d, Ecuador.
11. Constitución política del Ecuador 2008, Art. 66, Art. 83, Art. 264, Art. 397, Ecuador.
12. Corbitt R., (2003), Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental, Mc Graw-Hill/Interamericana, Madrid-España.
13. Deffis A., (1989), La basura es la solución, Editorial Concepto S.A., México D.F.-México.
14. EMASEO, (2010), Plan de servicios de aseo administración zonal La Delicia, Recuperado en Abril del 2013, http://www.emaseo.gob.ec/documentos/planes_aseo/plandeaseoladelicia.pdf.
15. EMASEO, (2010), Plan de servicios de aseo administración zonal Quitumbe, Recuperado en Abril del 2013, http://www.emaseo.gob.ec/documentos/planes_aseo/plandeaseoquitumbe.pdf
16. Félix J., Poder calorífico, Recuperado en Abril del 2013, http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf
17. Fernández A., (2007), Planta de incineración de residuos sólidos urbanos con tecnología de parrilla y recuperación energética, Madrid, España,

- Recuperado en Junio del 2012, de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/46e81ca3a8e0a.pdf>
18. FREIERMUTH F., (2000), La incineración de la basura doméstica, una alternativa para Latinoamérica, En: CHANALUISA L., "Memorias del primer encuentro sobre alternativas de recolección, manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos", Cooperación Española, Editorial Medicus Mundi, Orellana-Ecuador.
 19. Fuchs B., The Spittelau thermal waste treatment plant, Revista-Technology Sustains ONR lifestyle, Fern Wärme Wien.
 20. Gaggero E., Gestión integral de residuos sólidos urbanos, Recuperado en Abril del 2013, http://www.opds.gba.gov.ar/uploaded/File/residuos_03_10.pdf.
 21. García A., (1993), Estudio termoquímico y cinético de la pirólisis de residuos sólidos urbanos, Universidad de Alicante.
 22. García C., (2008), Densidad aparente y densidad real, Recuperado en Abril del 2013, http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/1/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%201%20_Propiedades%20generales-densidad.pdf
 23. Guzmán L., (2007), Generación y manejo de desechos sólidos, Recuperado en Abril del 2013, <http://www.slideshare.net/daniel526/desechos-solidos-presentation>.
 24. Haukohl J., Marxen U., Rand T., (2000), Municipal solid waste incineration, World Bank Technical Paper No. 462, Washington, D. C.-USA.
 25. Jiménez R., (2002), La incineración ambiental entre el reto y la oportunidad, Editorial Síntesis S.A., Madrid-España.
 26. La Hora, (2013), Quinindé recibirá los desechos de La Concordia, Quito-Ecuador, Recuperado en Julio del 2012, <file:///D:/Quinind%C3%A9%20recibir%C3%A1%20los%20desechos%20de>

%20La%20Concordia%20%20%20Noticias%20Esmeraldas%20%20%20L
a%20Hora%20Noticias%20de%20Ecuador,%20sus%20provincias%20y%2
0el%20mundo.htm#.Ufczr21m5qk.

27. Ley de gestión ambiental, Codificación 19, Registro Oficial Suplemento 418 de 10 de Septiembre del 2004, Título I: Ámbito y principios de la gestión ambiental, Art. 2, Ecuador.
28. Ley de prevención y control de la contaminación ambiental, Codificación 20, Registro Oficial Suplemento 418 de 10 de Septiembre del 2004, Capítulo III: De la prevención y control de la contaminación de los suelos, Art. 13, Art. 14, Art. 15, Ecuador.
29. Ley orgánica de salud, Ley 67, Registro Oficial Suplemento 423 de 22 de Diciembre del 2006, Capítulo II: De los desechos comunes, infecciosos, especiales y de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, Art. 97, Art. 98, Art. 100, Ecuador.
30. López J., Pereira J, Rodríguez R., (1980), Eliminación de los residuos sólidos urbanos, Editores Técnicos Asociados, Barcelona-España.
31. Muñoz M., (2008), Manual de manejo de residuos sólidos, Quito-Ecuador.
32. Pierzynski G., Sims T., Vance G., (1994), Soils and environmental quality, Lewis Publishers, EEUU.
33. Reyes H., (2006), Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del cono norte de Lima Metropolitana. Capítulo V. Evaluación técnica, económica y del impacto ambiental de la producción de energía térmica a partir de los residuos sólidos, Lima-Perú, Recuperado en Junio del 2012, de http://www.cybertesis.edu.pe/sisbib/2006/pala_rh/pdf/pala_rh-TH.5.pdf
34. Rivera S., (2003), Gestión de residuos sólidos, Buenos Aires-Argentina.

35. Rocha A., (2009), Estudio de diferentes tipos de inóculos en la elaboración de compost a partir de desechos domésticos orgánicos, Escuela Politécnica Nacional.
36. Ruiz S., (2011), Plan de gestión de residuos del camal del cantón Antonio Ante, Recuperado en Julio del 2012, <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3743/1/CD-3437.pdf>
37. Rubio A., (2003), Estudio Técnico de una Central Eléctrica de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos, Recuperado en Junio del 2012, de <http://cde05.etse.urv.es/pub/pdf/477pub.pdf>
38. Salvador R., Incineración de Residuos Sólidos Urbanos, Dpto. de Ingeniería Química. Facultad de CC. Químicas. Universidad Complutense de Madrid, Madrid-España. Recuperado en Junio del 2012, de <http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/C2-327.pdf>
39. Sandoval L., (2001), Marco conceptual de los residuos sólidos, Recuperado en Febrero del 2013 <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/marco/marco.pdf>.
40. Sarmiento R., (2008), Incineración de residuos sólidos urbanos y generación de electricidad, Recuperado en Abril del 2013, <http://www.energiaadebate.com/Articulos/enero2008/Sarmientoene2008.htm>.
41. Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., (1998), Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen II, Mc Graw-Hill, México.
42. Texto unificado legislación secundaria, medio ambiente, Libro VI, Anexo 6, Norma De Calidad Ambiental Para El Manejo Y Disposición Final De Desechos Sólidos No Peligrosos, Actualizada a enero de 2003, págs. 1-34, Ecuador.
43. Trejo R., (1999), Procesamiento de la basura urbana, Editorial Trillas, México D.F.-México.

44. Vaca V., (2001), Análisis para la implementación de una central de generación eléctrica a partir de biomasa y energía solar en el Cantón Santo Domingo, Escuela Politécnica Nacional.
45. Weinstein P., (2007), Manejo Sustentable de Residuos Sólidos y Generación de Energía Limpia, Recuperado en Junio del 2012, de [/www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/PaulaEstevez_VersionFinal3.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/PaulaEstevez_VersionFinal3.pdf)

ANEXOS

ANEXO N° 1

MARCO JURÍDICO

MARCO JURÍDICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL ECUADOR

LEYES	ARTÍCULOS
CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	<p>Art. 14. Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, <i>sumak kawsay</i>. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.</p> <p>Art. 66. Se reconoce y garantizará a las personas:</p> <p>27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.</p> <p>Art. 83. Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:</p> <p>6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.</p> <p>13. Conservar el patrimonio cultural y natural del país, y cuidar y mantener los bienes públicos.</p> <p>Art. 264. Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:</p> <p>4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.</p> <p>Art. 397. En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:</p> <p>2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.</p>

<p style="text-align: center;">LEY DE GESTION AMBIENTAL</p>	<p>Art. 2. La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.</p> <p>Art. 9. Le corresponde al Ministerio del ramo: j) Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes.</p> <p>Art. 97. La autoridad sanitaria nacional dictará las normas para el manejo de todo tipo de desechos y residuos que afecten la salud humana; normas que serán de cumplimiento obligatorio para las personas naturales y jurídicas.</p>
<p style="text-align: center;">LEY ORGÁNICA DEL SISTEMA NACIONAL DE SALUD</p>	<p>Art. 98. La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con las entidades públicas o privadas, promoverá programas y campañas de información y educación para el manejo de desechos y residuos.</p> <p>Art. 100. La recolección, transporte, tratamiento y disposición final de desechos es responsabilidad de los municipios que la realizarán de acuerdo con las leyes, reglamentos y ordenanzas que se dicten para el efecto, con observancia de las normas de bioseguridad y control determinadas por la autoridad sanitaria nacional. El Estado entregará los recursos necesarios para el cumplimiento de lo dispuesto en este artículo.</p>
<p style="text-align: center;">LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.</p>	<p>Art. 13. Los Ministerios de Salud y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, en coordinación con las municipalidades, planificarán, regularán, normarán, limitarán y supervisarán los sistemas de recolección, transporte y disposición final de basuras en el medio urbano y rural.</p> <p>Art. 14. Las personas naturales o jurídicas que utilicen desechos sólidos o basuras, deberán hacerlo con sujeción a las regulaciones que al efecto se dictará. En caso de contar con sistemas de tratamiento privado o industrializado, requerirán la aprobación de los respectivos proyectos e instalaciones, por parte de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia.</p> <p>Art. 15.- El Ministerio del Ambiente regulará la disposición de los desechos provenientes de productos industriales que, por su naturaleza, no sean biodegradables, tales como plásticos, vidrios, aluminio y otros.</p>

<p>TEXTO UNIFICADO LEGISLACIÓN SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE</p>	<p>LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL, Anexo 6: Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de los desechos sólidos no peligrosos.</p>
<p>CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN</p>	<p>Artículo 55. Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal: d) Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.</p>

ANEXO N° 2

**RESULTADOS DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS BIODEGRADABLES**



Departamento De Ingeniería Química

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA



RESULTADOS DE ANÁLISIS

P.C. -13 - 003

PRUEBA: Determinación del poder calorífico

FECHA DE REALIZACIÓN: 06 - 05 - 2013

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:

Identificación	1A	2A	3A	4A	5A
Código del Laboratorio	LTM 005-MAY	LTM 006-MAY	LTM 007-MAY	LTM 008-MAY	LTM 009-MAY

SOLICITADO POR: Nathalia Navarro

EQUIPO UTILIZADO: Bomb Calorimeter Parr

MÉTODO: DIN 51900

RESULTADOS

MUESTRA	P.C (J/g)
LTM 005-MAY	16 805,32
LTM 006-MAY	16 835,08
LTM 007-MAY	17 077,50
LTM 008-MAY	15 856,61
LTM 009-MAY	16 141,33

Ing. Luis Mera S.
JEFE DE DEPARTAMENTO
INGENIERIA QUIMICA



Departamento De Ingeniería Química
LABORATORIO DE TERMODINÁMICA



RESULTADOS DE ANÁLISIS

P.C. -13 - 004

PRUEBA: Determinación del poder calorífico

FECHA DE REALIZACIÓN: 10 - 05 - 2013

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:

Identificación	1B	2B	3B	4B	5B
Código del Laboratorio	LTM 010-MAY	LTM 011-MAY	LTM 012-MAY	LTM 013-MAY	LTM 014-MAY

SOLICITADO POR: Nathalia Navarro

EQUIPO UTILIZADO: Bomb Calorimeter Parr

MÉTODO: DIN 51900

RESULTADOS

MUESTRA	P.C (J/g)
LTM 010-MAY	16444,29
LTM 011-MAY	17275,42
LTM 012-MAY	16423,50
LTM 013-MAY	16067,89
LTM 014-MAY	15762,23

Ing. Luis Mera S.
JEFE DE DEPARTAMENTO
INGENIERIA QUIMICA

ANEXO N° 3

**DATOS DE REDUCCIÓN DE PESO, REDUCCIÓN DE VOLUMEN,
DENSIDAD APARENTE, DENSIDAD REAL, DEMANDA QUÍMICA
DE OXÍGENO, SÓLIDOS FIJOS (SF)**

MUESTRA N°1

Datos de peso, volumen, densidad aparente.

Temperatura	P. Entrada (g)	P. Salida (g) (SF)	Porcentaje que disminuyó en Peso (%)	Volumen Inicial (cm ³)	Volumen Final (cm ³)	Porcentaje que disminuyó en Volumen (%)	Densidad Aparente (g/m ³)
400°	61,5863	3,9120	93,6479	125	29	76,8000	0,1349
500°	87,7918	3,8204	95,6483	183	30	83,6066	0,1273
600°	89,9844	2,9797	96,6886	195	30	84,6154	0,0993

Datos de DQO y densidad real.

Temperatura (°C)		400	500	600
DETERMINACIÓN DE LA DQO				
Volumen (15cm de agua destilada) (ml)		7,50	8,00	7,50
Peso (5cm de cenizas) (g)		0,2231	0,2415	0,2001
Tiempo (s)	1	29,38	21,37	18,49
	2	25,88	19,94	31,01
	3	39,24	32,49	34,33
DQO (mg/l)	1	222	188	114
	2	64	31	25
	3	33	23	24
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL				
Masa (g)		1,48	1,33	1,04
Volumen (cm ³)		1,20	0,90	0,60
Densidad Real (g/cm ³)		1,235	1,478	1,727

MUESTRA N°2

Datos de peso, volumen, densidad aparente.

Temperatura	P. Entrada (g)	P. Salida (g) (SF)	Porcentaje que disminuyó en Peso (%)	Volumen Inicial (cm ³)	Volumen Final (cm ³)	Porcentaje que disminuyó en Volumen (%)	Densidad Aparente (g/m ³)
400°	55,1876	3,2814	94,0541	90	15	83,3333	0,2188
500°	88,6258	3,6416	95,8910	155	20	87,0968	0,1821
600°	92,9978	3,3676	96,3788	160	20	87,5000	0,1684

Datos de DQO y densidad real.

Temperatura (°C)	400	500	600
DETERMINACIÓN DE LA DQO			
Volumen (15cm de agua destilada) (ml)	7,50	7,50	7,50
Peso (5cm de cenizas) (g)	0,4587	0,4201	0,3403
Tiempo (s)	1	39,60	58,86
	2	48,73	82,71
	3	56,25	81,24
DQO (mg/l)	1	478	251
	2	215	31
	3	150	28
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL			
Masa (g)	1,73	1,35	1,52
Volumen (cm ³)	1,20	0,90	1,00
Densidad Real (g/cm ³)	1,439	1,503	1,515

MUESTRA N°3

Datos de peso, volumen, densidad aparente.

Temperatura	P. Entrada (g)	P. Salida (g) (SF)	Porcentaje que disminuyó en Peso (%)	Volumen Inicial (cm ³)	Volumen Final (cm ³)	Porcentaje que disminuyó en Volumen (%)	Densidad Aparente (g/m ³)
400°	59,0730	4,1315	93,0061	90	25	72,2222	0,1653
500°	100,9468	5,0913	94,9565	145	35	75,8621	0,1455
600°	103,7421	4,2164	95,9357	145	30	79,3103	0,1405

Datos de DQO y densidad real.

Temperatura (°C)	400	500	600
DETERMINACIÓN DE LA DQO			
Volumen (15cm de agua destilada) (ml)	7,50	8,00	7,50
Peso (5cm de cenizas) (g)	0,3229	0,2679	0,1982
Tiempo (s)	1	18,13	58,27
	2	28,13	60,71
	3	24,03	58,45
DQO (mg/l)	1	467	123
	2	48	26
	3	27	28
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL			
Masa (g)	1,17	1,05	1,26
Volumen (cm ³)	1,00	0,80	0,80
Densidad Real (g/cm ³)	1,167	1,316	1,570

MUESTRA N°4

Datos de peso, volumen, densidad aparente.

Temperatura	P. Entrada (g)	P. Salida (g) (SF)	Porcentaje que disminuyó en Peso (%)	Volumen Inicial (cm ³)	Volumen Final (cm ³)	Porcentaje que disminuyó en Volumen (%)	Densidad Aparente (g/m ³)
400°	54,7836	4,2404	92,2597	105	28	73,3333	0,1514
500°	98,6655	6,4843	93,4280	180	45	75,0000	0,1441
600°	104,1806	3,128	96,9975	195	30	84,6154	0,1043

Datos de DQO y densidad real.

Temperatura (°C)	400	500	600
DETERMINACIÓN DE LA DQO			
Volumen (15cm de agua destilada) (ml)	7,50	8,00	6,50
Peso (5cm de cenizas) (g)	0,2556	0,2357	0,2201
Tiempo (s)	1	23,53	23,62
	2	25,97	32,90
	3	23,17	39,01
DQO (mg/l)	1	302	192
	2	80	51
	3	62	26
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL			
Masa (g)	1,02	1,05	1,03
Volumen (cm ³)	1,00	1,00	0,90
Densidad Real (g/cm ³)	1,022	1,055	1,139

MUESTRA N°5

Datos de peso, volumen, densidad aparente.

Temperatura	P. Entrada (g)	P. Salida (g) (SF)	Porcentaje que disminuyó en Peso (%)	Volumen Inicial (cm ³)	Volumen Final (cm ³)	Porcentaje que disminuyó en Volumen (%)	Densidad Aparente (g/m ³)
400°	53,1814	4,8708	90,8412	100	29	71,0000	0,1680
500°	88,7681	7,6342	91,3998	150	41	72,6667	0,1862
600°	97,7005	3,657	96,2569	165	30	81,8182	0,1219

Datos de DQO y densidad real.

Temperatura (°C)	400	500	600
DETERMINACIÓN DE LA DQO			
Volumen (15cm de agua destilada) (ml)	6,00	6,50	6,50
Peso (5cm de cenizas) (g)	0,3064	0,2507	0,2372
Tiempo (s)	1	18,94	18,99
	2	15,44	49,63
	3	29,47	79,25
DQO (mg/l)	1	216	178
	2	63	36
	3	49	17
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL			
Masa (g)	1,22	1,12	1,08
Volumen (cm ³)	1,20	1,00	0,80
Densidad Real (g/cm ³)	1,020	1,118	1,355

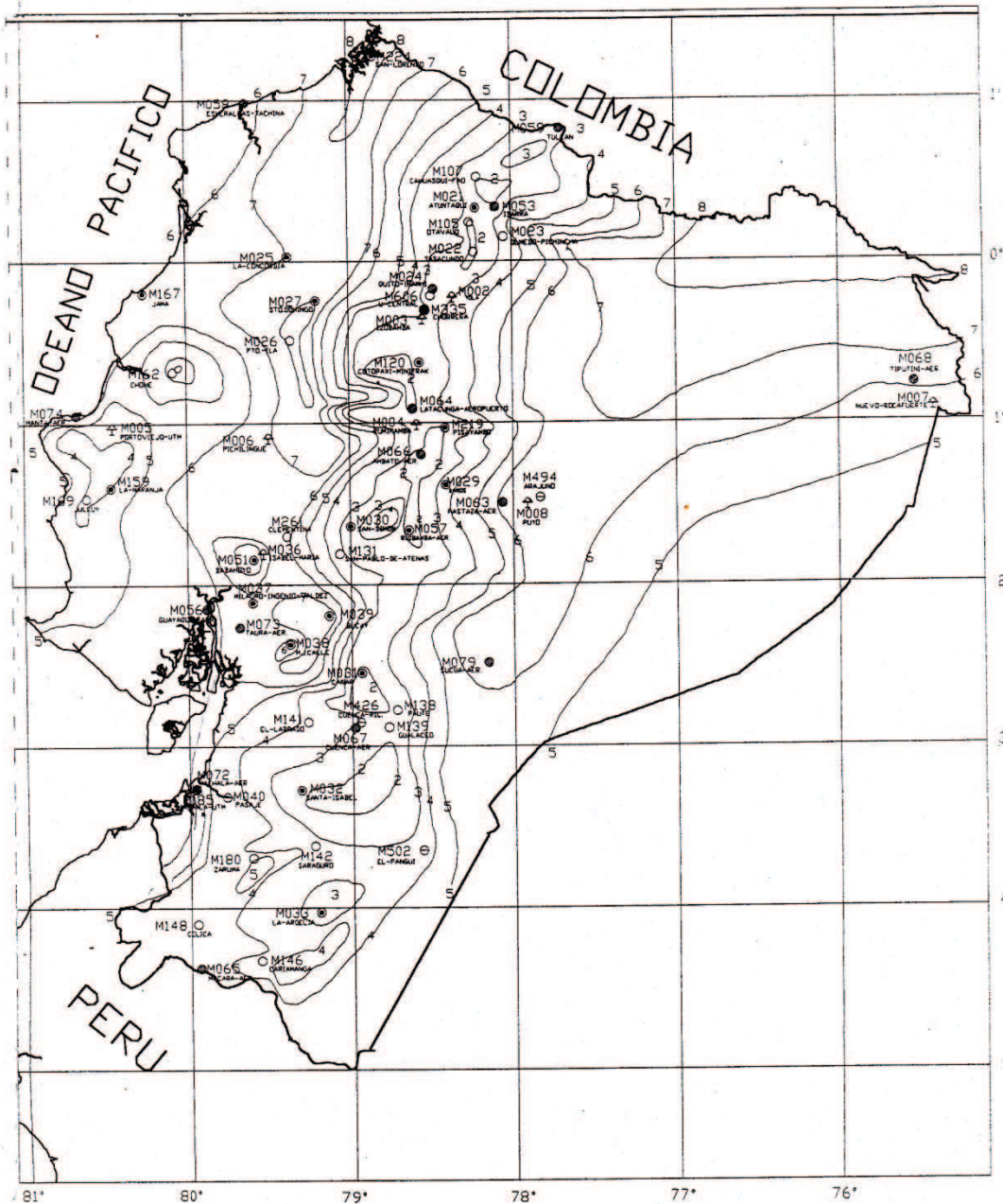
ANEXO N° 4**CARTAS DE ISOLÍNEAS Y TABLAS DE LA INTENSIDAD MÁXIMA
DIARIA**

ZONIFICACION DE INTENSIDADES

ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE LAS ZONAS

ZONA	DURACION	ECUACION
1	5 min < 130 min	$I_{TR} = 47.926 t^{-0.3387} Id_{TR}$
	130 min < 1440 min	$I_{TR} = 787.57 t^{-0.9154} Id_{TR}$
2	5 min < 30 min	$I_{TR} = 19.305 t^{-0.1332} Id_{TR}$
	30 min < 1440 min	$I_{TR} = 115.4 t^{-0.6546} Id_{TR}$
3	5 min < 90 min	$I_{TR} = 53.369 t^{-0.3278} Id_{TR}$
	90 min < 1440 min	$I_{TR} = 639.52 t^{-0.8838} Id_{TR}$
4	5 min < 20 min	$I_{TR} = 56.507 t^{-0.2694} Id_{TR}$
	20 min < 1440 min	$I_{TR} = 247.71 t^{-0.7621} Id_{TR}$
5	5 min < 40 min	$I_{TR} = 54.719 t^{-0.3875} Id_{TR}$
	40 min < 1440 min	$I_{TR} = 197.81 t^{-0.7378} Id_{TR}$
6	5 min < 120 min	$I_{TR} = 57.598 t^{-0.4267} Id_{TR}$
	120 min < 1440 min	$I_{TR} = 344.08 t^{-0.7982} Id_{TR}$
7	5 min < 60 min	$I_{TR} = 97.055 t^{-0.403} Id_{TR}$
	60 min < 1440 min	$I_{TR} = 869.87 t^{-0.9346} Id_{TR}$
8	5 min < 30 min	$I_{TR} = 80.068 t^{-0.3683} Id_{TR}$
	30 min < 1440 min	$I_{TR} = 351.73 t^{-0.7977} Id_{TR}$
9	5 min < 116 min	$I_{TR} = 40.035 t^{-0.341} Id_{TR}$
	116 min < 1440 min	$I_{TR} = 355.49 t^{-0.8043} Id_{TR}$
10	5 min < 88 min	$I_{TR} = 40.414 t^{-0.3124} Id_{TR}$
	88 min < 1440 min	$I_{TR} = 356.17 t^{-0.8009} Id_{TR}$
11	5 min < 60 min	$I_{TR} = 137.27 t^{-0.5153} Id_{TR}$
	60 min < 1440 min	$I_{TR} = 578.56 t^{-0.8736} Id_{TR}$
12	5 min < 50 min	$I_{TR} = 138.01 t^{-0.4882} Id_{TR}$
	50 min < 1440 min	$I_{TR} = 674.13 t^{-0.8935} Id_{TR}$
13	5 min < 36 min	$I_{TR} = 76.96 t^{-0.2953} Id_{TR}$
	36 min < 1440 min	$I_{TR} = 642.11 t^{-0.8898} Id_{TR}$
14	5 min < 40 min	$I_{TR} = 133.83 t^{-0.4283} Id_{TR}$
	40 min < 1440 min	$I_{TR} = 800.89 t^{-0.9189} Id_{TR}$
15	5 min < 230 min	$I_{TR} = 110.85 t^{-0.4943} Id_{TR}$
	230 min < 1440 min	$I_{TR} = 3197.1 t^{-1.1077} Id_{TR}$
16	5 min < 25 min	$I_{TR} = 76.946 t^{-0.4583} Id_{TR}$
	25 min < 1440 min	$I_{TR} = 174.47 t^{-0.7143} Id_{TR}$
17	5 min < 40 min	$I_{TR} = 201.28 t^{-0.4573} Id_{TR}$
	40 min < 1440 min	$I_{TR} = 1415.8 t^{-0.9947} Id_{TR}$
18	5 min < 50 min	$I_{TR} = 69.036 t^{-0.335} Id_{TR}$
	50 min < 1440 min	$I_{TR} = 510.71 t^{-0.849} Id_{TR}$

GRAFICO N° 6



- SIMBOLOGIA**
- EST. AGROMET. PRINCIPAL
 - EST. CLIMAT. PRINCIPAL
 - EST. CLIMAT. ORDINARIA
 - EST. FLUVIDIAGRAFICA
 - EST. FLUVIDIMETRICA

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DIRECCION DE HIDROLOGIA DEPARTAMENTO DE HIDROMETRIA		
ISOLINEAS DE INTENSIDADES DE PRECIPITACION PARA VARIOS PERIODOS DE RETORNO EN FUNCION DE LA MAXIMA EN 24 HORAS REGISTRO DE INFORMACION 1964-1998 TR= 25 AÑOS		
MAPA N° 4		MAYO 1999
ELABORACION	REVISADO	APROBADO
DPTO. HIDROMETRIA	ING. LUIS RODRIGUEZ F. JEFE DPTO. HIDROMETRIA	ING. MILTON SILVA C. DIRECTOR DE HIDROLOGIA

INTENSIDADES MAXIMAS EN 24 HORAS
DETERMINADAS CON INFORMACION PLUVIOGRAFICA

PERIODO : 1964-1998

CODIGO	ESTACION	COORDENADAS		ALTITUD (mts)	Tr (años)				
		LATITUD	LONGITUD		5	10	25	50	100
M-002	La Tola	00° 13' 46" S	78° 22' 00" W	2480	2,30	2,60	3,00	3,20	3,50
M-003	Izobamba	00° 22' 00" S	78° 33' 00" W	3058	2,00	2,20	2,50	2,70	2,90
M-004	Rumipamba	01° 01' 05" S	78° 35' 32" W	2680	1,80	2,10	2,40	2,70	2,90
M-005	Portoviejo	01° 02' 26" S	80° 27' 54" W	0046	2,94	3,53	4,28	4,84	5,40
M-006	Pichilingue	01° 06' 00" S	79° 27' 42" W	0120	5,76	6,33	6,95	7,35	7,71
M-007	Nuevo Rocafuerte	00° 55' 00" S	75° 25' 00" W	0265	4,50	4,80	5,30	5,60	5,90
M-008	Puyo	01° 30' 27" S	77° 56' 38" W	0960	5,50	6,10	6,90	7,50	8,00
M-021	Atuntaqui	00° 19' 39" N	78° 13' 17" W	2200	1,90	2,20	2,50	2,80	3,00
M-022	Tabacundo	00° 03' 11" N	78° 14' 06" W	2955	1,70	1,80	1,90	2,00	2,00
M-023	Olmedo-Pichincha	00° 08' 53" N	78° 02' 52" W	3120	2,00	2,40	3,10	3,70	4,40
M-024	Quito-Inamhi	00° 10' 00" S	78° 29' 00" W	2789	2,20	2,40	2,60	2,70	2,90
M-025	La Concordia	00° 01' 36" N	79° 22' 17" W	0379	6,14	6,56	7,00	7,29	7,55
M-026	Puerto Ila	00° 28' 34" S	79° 20' 20" W	0319	6,19	7,06	8,16	8,97	9,78
M-027	Sto. Domingo Aer.	00° 14' 44" S	79° 12' 00" W	0554	6,30	7,10	8,00	8,80	9,50
M-029	Baños	01° 23' 29" S	78° 25' 05" W	1695	2,50	3,00	3,70	4,30	5,00
M-030	San Simón	01° 38' 45" S	78° 59' 52" W	2530	1,80	2,00	2,40	2,60	2,90
M-031	Cañar	02° 33' 05" S	78° 56' 15" W	3083	1,10	1,20	1,40	1,50	1,60
M-032	Santa Isabel	03° 16' 28" S	79° 18' 46" W	1550	1,60	1,80	2,10	2,30	2,50
M-033	La Argelia-Loja	04° 02' 11" S	79° 12' 04" W	2160	2,30	2,50	2,70	2,90	3,00
M-036	Isabel María	01° 49' 41" S	79° 33' 49" W	0004	6,30	7,50	9,00	10,10	11,10
M-037	Milagro	02° 06' 56" S	79° 35' 57" W	0013	5,16	5,76	6,45	6,92	7,37
M-038	Manuel J. Calle	02° 22' 27" S	79° 22' 27" W	0050	6,18	7,08	8,12	8,85	9,54
M-039	Bucay	02° 11' 44" S	79° 08' 00" W	0480	5,76	6,48	7,39	8,07	8,75
M-040	Pasaje	03° 19' 47" S	79° 46' 55" W	0040	3,59	4,09	4,66	5,06	5,43
M-051	Babahoyo	01° 47' 49" S	79° 32' 00" W	0007	6,22	6,71	7,23	7,57	7,87
M-053	Ibarra	00° 20' 00" N	78° 06' 00" W	2214	1,60	1,70	2,00	2,10	2,30
M-056	Guayaquil Aer.	02° 12' 00" S	79° 53' 00" W	0006	5,30	6,50	8,00	9,10	10,20
M-057	Riobamba Aer.	01° 38' 00" S	78° 40' 00" W	2796	1,20	1,30	1,50	1,60	1,80
M-058	Esmeraldas Aer.	00° 58' 45" N	79° 37' 28" W	0007	4,18	4,89	5,72	6,31	6,87
M-059	Tulcán	00° 49' 00" N	77° 42' 00" W	2934	2,00	2,30	2,60	2,90	3,10
M-063	Pastaza	01° 30' 00" S	78° 04' 00" W	1038	5,40	5,70	6,10	6,30	6,50
M-064	Latacunga Aer.	00° 54' 48" S	78° 36' 56" W	2785	1,40	1,60	1,90	2,00	2,20
M-065	Macará Aer.	04° 22' 28" S	79° 56' 20" W	0427	3,20	3,70	4,40	4,90	5,40

ANEXO N° 5**PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA DEMANDA QUÍMICA DE
OXÍGENO CON EL HACH**



PROCEDIMIENTO CON DR/2010

OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA

Método 8000

Método de digestión de reactor*

Para agua, aguas residuales y agua de mar

Aprobado por la USEPA para realizar informes sobre análisis de aguas residuales**

* Jirka, A. M., Carter M. J., Química analítica, 1975, 47(8), 1397.

** Registro federal, 21 de abril de 1980, 45 (78), 26811-26812. El rango 0-15000 mg/l no está aprobado por la USEPA.

Digestión



1. Homogeneizar 100 ml de muestra durante 30 segundos en una mezcladora.

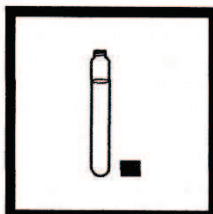
Nota: Mezclar la muestra antes de homogeneizarla. Para mejorar la exactitud y la reproducibilidad, verter la muestra homogeneizada en un vaso de precipitación de 250 ml y agitar suavemente con una placa agitadora magnética. Para muestras con grandes cantidades de sólidos, aumentar el tiempo de homogeneización.

Nota: Algunos de los productos químicos y aparatos utilizados en este procedimiento pueden atentar contra la salud y seguridad del usuario si se manejan incorrectamente o se utilizan accidentalmente de forma inapropiada. Sírvase leer todas las advertencias y la sección de seguridad de este manual. Usar protección para ojos y vestimentas adecuadas para la correcta protección del usuario. Si se produce un contacto, lavar el área afectada con agua corriente. Seguir las instrucciones cuidadosamente.



2. Conectar el reactor de DQO (demanda química de oxígeno). Precalentar a 150°C. Colocar el escudo plástico enfrente del reactor.

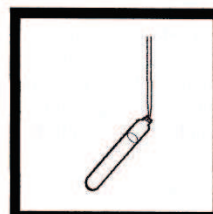
Nota: Asegurarse de que los dispositivos de seguridad estén en su lugar para proteger al analista de salpicaduras en caso de que ocurra una pérdida de reactivo.



3. Extraer la tapa de un tubo de reactivo para digestión de DQO para el rango apropiado:

Rango de conc. de muestra (mg/l)	Tipo de tubo de reactivo para DQO
0 a 150	Rango bajo
0 a 1500	Rango alto
0 a 15000	Rango alto plus

Nota: La mezcla de reactivo es sensible a la luz. Mantener los frascos no utilizados en el recipiente de envío opaco; si es posible, en un refrigerador. La luz que dé en los frascos durante la prueba no afectará los resultados.

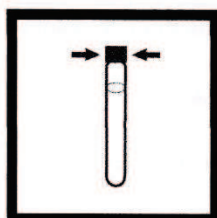


4. Sostener el tubo en un ángulo de 45 grados. Colocar con la pipeta 2,00 ml (0,2 ml para el rango 0 a 15000 mg/l) de muestra en el frasco.

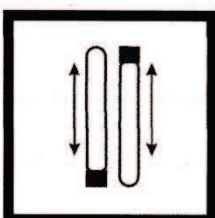
Nota: Para el rango 0-15000 mg/l, colocar con la pipeta sólo 0,20 ml de muestra, no 2,00 ml, utilizando una pipeta TenSette. Para obtener mayor exactitud se debe analizar un mínimo de tres reproducciones y los resultados se deben promediar.

Nota: El reactivo derramado afectará la exactitud de la prueba y es peligroso para la piel y otros materiales. No realizar pruebas con frascos que han sido derramados. Si se produce un derrame, lavar con agua corriente.

OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA

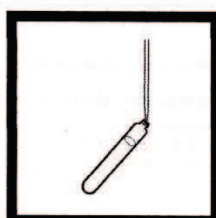


5. Volver a colocar la tapa del tubo bien ajustada. Enjuagar la parte exterior del tubo de DQO con agua desionizada y secarlo con una toalla de papel.



6. Sostener el tubo por la tapa y colocarlo sobre una tina. Invertir suavemente varias veces para mezclar los contenidos. Colocar el tubo en el Reactor DQO precalentado.

Nota: El tubo se calentará mucho durante la mezcla.



7. Preparar un blanco repitiendo los pasos 3 a 6, sustituyendo 2,00 ml (0,2 ml para el rango 0 a 15000 mg/l) de agua desionizada por la muestra.

Nota: Asegurarse de que la pipeta esté limpia.

Nota: Se debe realizar un blanco con cada juego de muestras. Realizar muestras y blancos con el mismo lote de tubos.

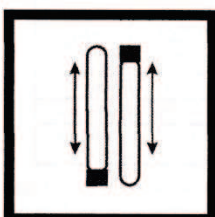


8. Calentar los tubos durante 2 horas.

Nota: Muchas muestras se digieren completamente en menos de dos horas. Si se desea, medir la concentración (mientras todavía está caliente) con intervalos de 15 minutos hasta que la lectura siga igual. Enfriar los tubos hasta temperatura ambiente para las mediciones finales.



9. Desconectar el reactor. Esperar aproximadamente 20 minutos hasta que los tubos se enfríen a 120°C o menos.



10. Invertir cada tubo varias veces mientras están aún calientes. Colocarlos en un estante. Esperar hasta que hayan alcanzado temperatura ambiente.

Nota: Si en la muestra reaccionada aparece un color verde puro, medir la DQO y, si es necesario, repetir la prueba con una muestra diluida.



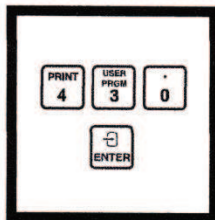
11. Utilizar una de las siguientes técnicas analíticas para medir la DQO:

- Método colorimétrico, 150 mg/l DQO
- Método colorimétrico, 1500 mg/l DQO
- Método colorimétrico, 15000 mg/l DQO

Nota: También hay disponible un método titulométrico. Contactar el Servicio al consumidor de Hach para obtener más detalles.

OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA

Determinación colorimétrica, 0 a 150 mg/l de DQO



1. Ingresar el número de programa almacenado para demanda química de oxígeno (DQO), bajo rango.

Presionar: **4 3 0 ENTER**

La pantalla mostrará:
Fijar nm par 420



2. Girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre:

420 nm

Cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente:

Muestra cero

luego:

mg/L COD LR

Nota: Al configurar la longitud de onda, siempre se debe ir desde los valores más altos a los más bajos.

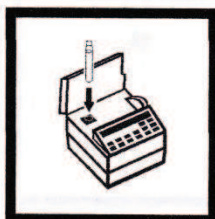


3. Colocar el adaptador para tubos de DQO en el soporte de celdas con el marcador hacia la derecha.



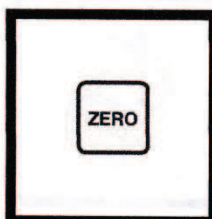
4. Limpiar la parte exterior del blanco con una toalla.

Nota: Limpiar la parte exterior con una toalla húmeda seguida de una seca eliminará las huellas dactilares y otras marcas.



5. Colocar el blanco en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.

Nota: El blanco es estable cuando se almacena en la oscuridad; remitirse a Blancos para determinación colorimétrica a continuación de estos procedimientos.



6. Presionar: **ZERO**

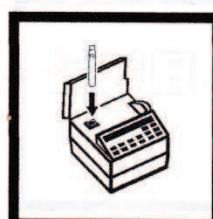
La pantalla mostrará:
Puesta a cero...

luego:

0 mg/L COD LR



7. Limpiar la parte exterior del tubo de muestra con una toalla.



8. Colocar el tubo en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.

OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA



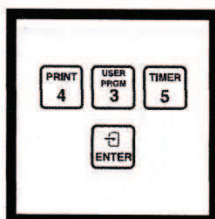
9. Presionar: READ

La pantalla mostrará:

Leyendo...
luego aparecerá el
resultado en mg/l de
DQO.

Nota: Para obtener resultados óptimos con muestras cercanas a los 150 mg/l de DQO, repetir el análisis con una muestra diluida.

Determinación colorimétrica, 0 a 1500 y 0 a 15000 mg/l de DQO



1. Ingresar el número de programa almacenado para demanda química de oxígeno, alto rango.

Presionar: **4 3 5 ENTER**

La pantalla mostrará:
Fijar nm par 620



2. Girar el cuadrante de longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre:

620 nm

Cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente:

Muestra cero
luego:
mg/LCOD HR



3. Colocar el adaptador para tubos de DQO en el soporte de celdas con el marcador hacia la derecha.



4. Limpiar la parte exterior del blanco con una toalla.

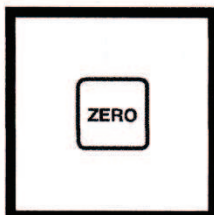
Nota: Limpiarla con una toalla húmeda seguida de una seca eliminará las huellas dactilares y otras marcas.

OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA



5. Colocar el blanco en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.

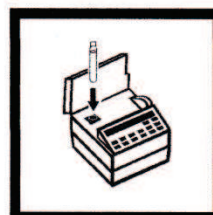
Nota: El blanco es estable cuando se almacena en la oscuridad; remitirse a Blancos para determinación colorimétrica a continuación de estos procedimientos.



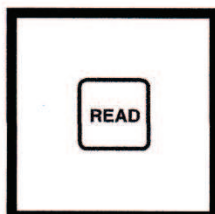
6. Presionar: **ZERO**
La pantalla mostrará:
Puesta a cero...
luego:
0 mg/L COD HR



7. Limpiar la parte exterior del tubo de muestra con una toalla.



8. Colocar el tubo en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.



9. Presionar: **READ**

La pantalla mostrará:
Leyendo...
luego aparecerá el resultado en mg/l de DQO.

Nota: Al utilizar los tubos de reactivos para digestión DQO Plus para alto rango, multiplicar la lectura por 10.

Nota: Para obtener resultados óptimos con muestras cercanas a los 1500 ó 15000 de mg/l DQO, repetir el análisis con una muestra diluida.

ANEXO N° 6

**INFORME DE LA CARACTERIZACIONES GASESOSAS DE LA
INCINERACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA BIODEGRADABLE**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
 RUC: 1760005620001 Tel.: (00593-2) 2 507 144 Ext.: 2623 • Telefax: (00593-2) 2 221 306 • Apartado 17-01-2759
 • E-mail: cicamepn@gmail.com Quito – Ecuador



1. INFORMACIÓN BÁSICA

1.1. CLIENTE

EMPRESA	Natalia Navarro
PERSONA DE CONTACTO	Natalia Navarro
CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN	Medición de materia orgánica en combustión
DIRECCIÓN	Av. La prensa N50-109 y Homero Salas
TELÉFONO	0987437699

1.1. EMPRESA RESPONSABLE DEL MONITOREO

EMPRESA	Centro de Investigaciones y Control Ambiental (CICAM); EPN
DIRECCIÓN	Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R". Ladrón de Guevara E 11-253 y Andalucía
TELÉFONO	2507 – 144 ext. 2623, 2221-306
EMAIL	cicamepn@gmail.com
SOLICITUD DE TRABAJO °N	

2. INTRODUCCIÓN

2.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El estudio realizado se hace con el fin de determinar la concentración de gases de combustión proveniente de la combustión de materia orgánica.

2.2. DEFINICIONES

2.2.1 Chimenea

Conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

2.2.2 Combustión

Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz calor.

2.2.3 Condiciones normales

Cero grados centígrados (0 °C) y mil trece milibares de presión (1 013 mbar).

2.2.4 Contaminante del aire

Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

2.2.5 Contaminantes comunes del aire

Cualquier contaminante del aire para los cuales se especifica un valor máximo de concentración permitida, a nivel del suelo, en el aire ambiente, para diferentes períodos de tiempo, según la normativa aplicable.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
 RUC: 1760005620001 Tel.: (00593-2) 2 507 144 Ext.: 2623 • Telefax: (00593-2) 2 221 306 • Apartado 17-01-2759
 • E-mail: cicamepn@gmail.com Quito – Ecuador



2.2.6 Fuente fija de combustión

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible.

2.2.7 Material particulado

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales.

2.2.8 Índice de isocinetismo

Relación entre la velocidad de succión en la boquilla y la velocidad del gas en la chimenea. El margen de error aceptado para validar los resultados del muestreo de Material Particulado (MP) es del $\pm 10\%$.

2.2.9 Temperatura de combustión

La temperatura de combustión suficientemente elevada es un requisito para una combustión completa. La temperatura a la cual se efectúa la combustión apropiada es principalmente una función de incineración del compuesto orgánico que interesa.

2.3 MÉTODO DE MONITOREO

2.3.1 PROCEDIMIENTO DE MONITOREO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Previo a la ejecución del monitoreo los técnicos planifican aspectos como cuidado de los equipos, ejecución del monitoreo, sujeción de la sonda isocinética, seguridad personal, provisión de energía eléctrica, zonificación del trabajo además de consultar con los operadores alguna indicación que sea de beneficio mutuo.

2.3.3 LEGISLACIÓN APLICABLE

- Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión (TULAS LIBRO VI ANEXO III (DE/CICAM/16), Ordenanza de Quito 213(DE/CICAM/14)).

2.3.4 RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE GASES

Antes de un monitoreo de gases se debe determinar el número de punto de medición tomando las dimensiones geométricas de la fuente fija y utilizando lo referido en el TULAS LIBRO VI anexo 3 (DE/CICAM/16).

Posteriormente se realiza el siguiente procedimiento:

1. Encender el equipo
2. Esperar que se encere. Esta operación dura alrededor de 60 segundos
3. Se verifica que la fecha y hora sean correctas en la unidad de control-system-change date, se puede ajustar el dato en el caso de que no sea correcto.
4. Para empezar la medición, se debe crear una carpeta en donde se contengan los datos medidos con el equipo. Para esto, se debe ingresar a la opción "Testo Measuring". Con la tecla de selección izquierda se ingresa a la memoria que contiene todas las carpetas y registros de medida del equipo. Para la creación de una nueva carpeta, se siguen los siguientes pasos:
 5. En la pantalla seleccionar la opción "change" y luego "New file o new location" dependiendo de si se tienen muchos equipos en una sola empresa o solo uno, respectivamente.
 6. Creada la carpeta se procede a la medición de los parámetros. Para esto se siguen los siguientes pasos:
 - Programar al equipo de acuerdo al número de puntos determinados para el equipo a ser monitoreado.
 7. Se debe verificar el tipo de combustible a utilizar de la siguiente manera:



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
RUC: 1760005620001 Tel.: (00593-2) 2 507 144 Ext.: 2623 • Telefax: (00593-2) 2 221 306 • Apartado 17-01-2759
• E-mail: cicamepn@gmail.com Quito – Ecuador



- Presionar la tecla de carpeta y seleccionar "Input", posteriormente fuel.
 - Finalmente seleccionar el combustible de acuerdo al que se utilice en el equipo a ser medido.
8. Posteriormente, ubicar la sonda en el puerto y prender la bomba con la opción "Pump" detallada en la pantalla principal.
 9. Presionar opción "star" en la pantalla.
 10. Cuando se termine el muestreo, en la pantalla se indicará que las celdas por las que pasa el gas contaminado se están limpiando; aparecerá en la pantalla un dialogo diciendo "refresh air".
 11. Terminado este proceso se termina con el muestreo. Los datos se almacenan en la memoria de la unidad de control.
 12. Posteriormente, se apaga la bomba con la opción PStop mostrada en la pantalla principal.
 13. Realizada la medición, se necesita, en algunos casos, la impresión de los parámetros como un respaldo adicional o para una referencia que necesite el cliente. Para esto existe la opción de imprimir la(s) medición (es), se siguen los siguientes pasos:
 - Seleccionar la carpeta
 - Luego Memory seguido de Read out memory. Seleccionando estas opciones aparecen las mediciones realizadas para un cierto equipo o empresa.
 - Se abre alguno de los archivos y se selecciona la tecla print para imprimir los datos.
 14. Además de la medición de gases se realiza una medida de opacidad. Esta medida se realiza con la bomba de humo así:
 - Se pone el papel filtro en la cavidad de la bomba.
 - Se introduce la punta metálica de la bomba de humo en el puerto.
 - Se succiona 10 veces asegurando que el émbolo recorra toda la cámara.
 - Posteriormente comparar con la escala.
 15. De la misma manera con el equipo se realiza la medida de flujo expresada en m³/h de la siguiente manera:
 - Presionar la tecla v_{on}, así el equipo se encera automáticamente y empieza la medición del flujo de gas.
 - Esperar a que la medida se estabilice.
 - Presionar la tecla v_{off}, para detener la medición del flujo. Las teclas v_{on} y v_{off} son una misma y se localizan en el menú del display del equipo.
 16. Finalmente los datos obtenidos serán registrados en el formato F-PEE-CICAM-05-04 "RESULTADOS DE EMISIONES GASEOSAS"

2.3.5 PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Los parámetros medidos fueron:

- Temperatura (°C)
- Porcentaje de O₂ (%)
- Emisión de SO₂ (mg / N m³)
- Emisión de NO₂ (mg / N m³)
- Emisión de NO (mg / N m³)
- Emisión de CO (mg / N m³)

PARÁMETROS CONTROLADOS

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO	MÉTODO DE ENSAYO
Flujo de gas seco	m ³ /h	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 2	USEPA M1, M2B
Temperatura	°C		PEE/CICAM/08
Oxígeno	%	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 3	PEE/CICAM/08
*Monóxido de Carbono (CO)	ppm	EPA CTM 30 Revisión 1997, EPA CTM 34 Revisión 1999	PEE/CICAM/08
*Monóxido de Nitrógeno (NO)	ppm		PEE/CICAM/08
*Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	ppm		PEE/CICAM/08
*Dióxido de Azufre (SO ₂)	ppm		PEE/CICAM/08

*Parámetros acreditados por el OAE




ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
 RUC: 1760005620001 Tel.: (00593-2) 2 507 144 Ext.: 2623 • Telefax: (00593-2) 2 221 306 • Apartado 17-01-2759
 • E-mail: cicamepn@gmail.com Quito – Ecuador



2.3.6 EQUIPOS

EQUIPO	MARCA	PARÁMETROS
Equipo medidor de gases 	Testo 350 XL	Temperatura Flujo CO NO NO2 SO2

2.3.6 CÁLCULOS

En el reporte de gases, cada parámetro posee una cierta concentración ver Gráfico 1, pero para el reporte final y para transformarlo a condiciones normales, se aplica las siguientes formulas:

Conversión de ppm a mg/m³ referido al valor de O₂ de referencia

$$\text{CO (mg/m}^3\text{)} \quad \text{CO} = \frac{21 - \text{O}_2 \text{ referencia}}{(21 - \text{O}_2)} \times \text{CO (ppm)} \times 1.25$$

21 : Contenido de oxígeno del aire
 O₂ : Contenido de oxígeno medido

$$\text{NO}_x \text{ (mg/m}^3\text{)} \quad \text{NO}_x = \frac{21 - \text{O}_2 \text{ referencia}}{(21 - \text{O}_2)} \times \text{NO}_x \text{ (ppm)} \times 2.05$$




21 : Contenido de oxígeno del aire
 O₂ : Contenido de oxígeno medido

$$\text{SO}_2 \text{ (mg/m}_3\text{)} \quad \text{SO}_2 = \frac{21 - \text{O}_2 \text{ referencia}}{21 - \text{O}_2} \times \text{SO}_2 \times 2.86$$

Referencia: Manual del equipo TESTO 350-XL

3. RESULTADOS

** Ver en hoja anexada

E.P.N. CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL		RESULTADOS DE EMISIONES GASEOSAS									
	NATALIA NAVARRO	30/04/2013	30/04/2013								
CLIENTE	NATALIA NAVARRO	FECHA DE MUESTREO	30/04/2013								
CONTACTO	NATALIA NAVARRO	FECHA DE REALIZACIÓN	30/04/2013								
DIRECCIÓN	Av. La Prensa N60-109 y Homero Salas	CÓDIGO DEL INFORME	IR13024G								
POTENCIA	NA	SOLICITUD DE TRABAJO	NA								
TIPO DE FUENTE	Mufa										
AÑO DE INICIO DE OPERACIÓN	NA										
MODELO/SERIE	093 Ord 8										
CARGA DE TRABAJO	NA										
COMBUSTIBLE	Materia Orgánica										
MONITOREADO POR	Nelson Salazar										
TEMPERATURA											
HUMEDAD											
20 °C											
40%											
CARGAS CONTAMINANTES CALCULADAS A 1013mbar, 0°C											
PARÁMETROS, LÍMITES PERMISIBLES Y MÉTODOS EMPLEADOS											
PARÁMETRO	UNIDAD	MEDICIÓN 1	MEDICIÓN 2	MÉTODO INTERNO	MÉTODO DE REFERENCIA	CARGAS CONTAMINANTES	Medida corregida al	Medida corregida al			
FLUJO DE GAS SECO	m ³ /h	NA	NA	PEE/CICAM/08	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 2	UNIDAD	7% O2	15% O2			
TEMPERATURA	° C	597.10	436.5	PEE/CICAM/08	A, Método 2	carga cont. CO					
OXIGENO	%	20.93	19.11	PEE/CICAM/08		carga cont. SO2					
DIÓXIDO DE CARBONO	%	Excede Límite máximo (Calculado)	Excede Límite máximo (Calculado)	PEE/CICAM/08	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 3	carga cont. NOX					
*MONÓXIDO DE CARBONO	ppm	3.00	> 10000	PEE/CICAM/08	EPA CTM 30, EPA CTM 34	carga cont. Partículas					
*DIOXIDO DE AZUFRE	ppm	< 0	42	PEE/CICAM/08							
*OXIDOS DE NITRÓGENO	ppm	< 0	62	PEE/CICAM/08							
PARTÍCULAS	g/m ³ gas seco	NA	NA	PEE/CICAM/10	EPA, Parte 60, Apéndice A, Método 5						
EXCESO DE AIRE	%	NA	NA	PEE/CICAM/08	PEE/CICAM/08	PARAMETRO	RANGO BAJO	RANGO MEDIO	RANGO ALTO	UNIDADES	
EFICIENCIA	%	NA	NA	PEE/CICAM/08	PEE/CICAM/08	CO	5,2	3,79	5,67	%	
# DE HUMO	%	NA	NA	IUE/CICAM/22	ASTM 2156-DIN 51402	NOX	5,2	6,01	5,65	%	
						SO2	7,35	5,87	2,75	%	
INCERTIDUMBRES											
PARAMETRO RANGO BAJO RANGO MEDIO RANGO ALTO UNIDADES											
CO 5,2 3,79 5,67 %											
NOX 5,2 6,01 5,65 %											
SO2 7,35 5,87 2,75 %											
<p>* Parámetros acreditados por el DAE El informe aplica a la muestra tomada que se presenta Prohibida su reproducción en su totalidad sin previa autorización del laboratorio Los valores de incertidumbre están señalados en el presente informe Ante algún reclamo, ponerse en contacto con el laboratorio</p>											
<p>REALIZADO POR:  Ing. Nelson Salazar</p>						<p> Ing. Carola Fierro DIRECTORA DE CALIDAD</p>					
F-PEE-CICAM-08-03						Página 1					