

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Los Residuos	1
1.1.2. Estado de los Residuos Sólidos en Chile	2
1.1.3. Tecnologías de Tratamiento	5
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivos Específicos	6
1.3. Alcances	7
2. Metodología	8
3. Caso Base	10
3.1. Materia Prima	10
3.2. Contexto	11
3.3. Cuantificación del Caso Base	12
4. Selección de Tecnologías	14
4.1. Tecnologías Aeróbicas	14
4.1.1. Proceso de Descomposición Aeróbica	14
4.1.2. Factores que Afectan el Proceso de Compostaje	16
4.1.3. Tipos de Tecnologías Aeróbicas	17
4.1.4. Selección de Tecnología Aeróbica	20
4.2. Tecnologías Anaeróbicas	21
4.2.1. Proceso de Digestión Anaeróbica	21
4.2.2. Factores que Afectan el Proceso de Digestión Anaeróbica	22
4.2.3. Tipos de Tecnologías Anaeróbicas	23
4.2.4. Selección de Tecnología Anaeróbica	25
4.3. Tecnologías de Valorización Energética	25
4.3.1. Proceso de Valorización Energética	25
4.3.2. Factores que Afectan el Proceso de Valorización	26
4.3.3. Tipos de Tecnologías de Valorización	27
4.3.4. Selección de Tecnología de Valorización	28
4.4. Tecnologías de Disposición	28
4.4.1. Proceso de Disposición y Caso Actual	28
5. Dimensionamiento de Equipos Principales	31

5.1.	Selección de Equipos Principales	31
5.2.	Dimensionamiento Proceso de Compostaje	31
5.3.	Dimensionamiento Proceso de Digestión Anaeróbica	33
5.4.	Dimensionamiento Proceso de Gasificación	34
5.5.	Dimensionamiento Relleno Sanitario en el Caso Actual	37
6.	Evaluación	38
6.1.	Evaluación Económica	38
6.1.1.	Evaluación Económica del Proceso de Compostaje	38
6.1.2.	Evaluación Económica del Proceso de Digestión Anaeróbica	39
6.1.3.	Evaluación Económica del Proceso de Gasificación	40
6.1.4.	Costos Actuales de Disposición en Relleno Sanitario	40
6.1.5.	Comparación y Discusiones	41
6.2.	Evaluación Ambiental	42
6.2.1.	Evaluación Ambiental Proceso de Compostaje	42
6.2.2.	Evaluación Ambiental Proceso de Digestión Anaeróbica	42
6.2.3.	Evaluación Ambiental Proceso de Gasificación	43
6.2.4.	Impacto Ambiental Actual del Relleno Sanitario	43
6.2.5.	Comparación y Discusiones	43
6.3.	Evaluación Social	44
6.3.1.	Grupos de Interés	45
6.3.2.	Metodología de Evaluación	45
6.3.3.	Olores Producidos	46
6.3.4.	Resultados de la Encuesta	48
6.3.5.	Resultados de la Evaluación	48
6.3.6.	Comparación y Discusiones	49
6.4.	Evaluación General Multicriterio	50
7.	Conclusión	52
	Bibliografía	54
A.	Caso Base	60
A.1.	Estimación del Caso Base	60
A.2.	Estimación Características Físicoquímicas Generales	62
B.	Dimensionamientos	64
B.1.	Dimensionamiento Reactor de Compostaje	64
B.1.1.	Balance de Masa del Reactor de Compostaje	66
B.2.	Dimensionamiento Digestor Anaeróbico	68
B.2.1.	Balance de Masa del Digestor Anaeróbico	69
B.3.	Dimensionamiento Gasificador	71
B.3.1.	Balance de Masa del Gasificador	76
B.4.	Código de Programas	77
B.4.1.	Función EDO Reacción Aeróbica	77
B.4.2.	Función EDO Reacción Anaeróbica	77
B.4.3.	Función EDO Reacción de Valorización	77
B.4.4.	Programa Central de la Simulación	78

C. Evaluaciones	81
C.1. Evaluación Económica	81
C.1.1. Evaluación Económica del Proceso de Compostaje	81
C.1.2. Evaluación Económica del Proceso de Digestión Anaeróbica	87
C.1.3. Evaluación Económica del Proceso de Gasificación	93
C.2. Evaluación Ambiental	98
C.2.1. Evaluación Ambiental del Proceso de Digestión Anaeróbica	98
C.2.2. Evaluación Ambiental del Proceso de Gasificación	98
C.2.3. Evaluación Ambiental del Relleno Sanitario	99
C.3. Evaluación Social	99
C.3.1. Encuesta para Grupos de Interés	99
C.3.2. Olores	99
C.3.3. Resultados de la Encuesta	100
C.3.4. Resultados de la Evaluación Social	102

Índice de Tablas

1.1. Composición en masa de los residuos sólidos municipales del año 2009	4
1.2. Porcentaje de valorización en Chile, desglosado por tipo de residuo	5
3.1. Propiedades fisicoquímicas de los residuos de poda y jardín	11
3.2. Grupos socioeconómicos de la comuna de Santiago	11
3.3. Grupos socioeconómicos del Gran Santiago	11
3.4. Datos técnicos para estimación del caso base	13
3.5. Caso base y características fisicoquímicas generales	13
4.1. Comparación de principales características de tecnologías de compostaje	20
4.2. Comparación de principales características de tecnologías de digestión anaeróbica	25
5.1. Resumen de los dimensionamientos	37
6.1. Resumen principales características económicas del proceso de compostaje	39
6.2. Resumen principales características económicas del proceso de digestión	40
6.3. Resumen principales características económicas del proceso de gasificación	40
6.4. Resumen resultados de la evaluación económica	41
6.5. Resumen resultados de la evaluación ambiental	44
6.6. Parámetros para indicador de olor	48
6.7. Indicadores para aspectos de inseguridad y rechazo	48
6.8. Ponderadores de los aspectos	48
6.9. Resumen indicadores sociales	49
6.10. Resultados de la evaluación social	49
6.11. Resultados por grupo de interés de la evaluación social	49
6.12. Resumen de la evaluación social	50
6.13. Resumen de las evaluaciones	50
6.14. Resultados de la evaluación multicriterio	51
A.1. Datos sobre poda y jardinería de la I. Municipalidad de Santiago	60
A.2. Propiedades fisicoquímicas de ramas, hojas y césped	62
A.3. Características fisicoquímicas generales del caso base	63
B.1. Datos y parámetros para cinética de compostaje	64
B.2. Datos de salida del proceso de compostaje	65
B.3. Resumen del balance de masa en reactor de compostaje	68
B.4. Datos y parámetros para cinética de biodigestión aneróbica seca termofílica	69
B.5. Datos de salida del proceso de digestión seca termofílica	69

B.6. Resumen del balance de masa en reactor de digestión seca termofílica	70
B.7. Productos de la reacción de pirólisis	71
B.8. Productos de la primera reacción de gasificación	72
B.9. Productos de la primera reacción de gasificación	72
B.10. Datos y parámetros para reacciones de gasificación	73
B.11. Composición de los gases del gasificador antes de la simulación	73
B.12. Concentración de los gases del gasificador antes de la simulación	75
B.13. Datos de salida del proceso de gasificación	76
B.14. Resumen del balance de masa en gasificador	76
C.1. Flujo de caja proceso de compostaje del año 0 al año 6	84
C.2. Flujo de caja proceso de compostaje del año 7 al año 13	85
C.3. Flujo de caja proceso de compostaje del año 14 al año 15	86
C.4. Costos de referencia de los equipos para el proceso de digestión anaeróbica .	87
C.5. Flujo de caja proceso de digestión anaeróbica del año 0 al año 6	90
C.6. Flujo de caja proceso de digestión anaeróbica del año 7 al año 13	91
C.7. Flujo de caja proceso de digestión anaeróbica del año 14 al año 15	92
C.8. Características energética de los gases combustibles del Syngas	94
C.9. Flujo de caja proceso de gasificación del año 0 al año 6	95
C.10. Flujo de caja proceso de gasificación del año 7 al año 13	96
C.11. Flujo de caja proceso de gasificación del año 14 al año 15	97
C.12. Parámetros para indicador de olor	100
C.13. Respuestas de la representante de la municipalidad	101
C.14. Respuestas del representante de empresa de relleno sanitario	101
C.15. Respuestas de la representante de los vecinos	101
C.16. Importancia de los aspectos según los interesados	101
C.17. Indicadores para aspectos de inseguridad y rechazo	102
C.18. Ponderadores de los aspectos	102
C.19. Resumen Indicadores Sociales	102
C.20. Resultados de la evaluación social	103
C.21. Ponderadores para representante de la municipalidad	103
C.22. Resultados de la evaluación social según Municipalidad	103
C.23. Ponderadores para representante de empresa de relleno sanitario	103
C.24. Resultados de la evaluación social según empresa de relleno sanitario	104
C.25. Ponderadores para representante de los vecinos	104
C.26. Resultados de la evaluación social según vecinos	104

Índice de Ilustraciones

1.1. Residuos sólidos generados entre los años 2000 y 2009	2
1.2. Residuos sólidos generados por habitante entre los años 2000 y 2009	3
1.3. Estrategia jerárquica en la gestión de residuos	4
4.1. Resumen proceso de compostaje	15
4.2. Diagrama de bloques del compostaje	16
4.3. Esquema compostaje en pila	17
4.4. Esquema compostaje en pila con aireación forzada positiva y negativa	18
4.5. Esquema compostaje en reactor PFR vertical	19
4.6. Esquema compostaje en reactor PFR horizontal	19
4.7. Resumen proceso de digestión anaerobia	21
4.8. Diagrama de bloques de la digestión anaerobia	22
4.9. Diagrama de bloques del proceso de valorización energética	26
4.10. Resumen proceso de disposición	29
4.11. Esquema relleno sanitario	29
4.12. Proceso relleno sanitario	30
5.1. Variación másica en el compostaje en el tiempo	32
5.2. Variación másica en el digestor anaeróbico en el tiempo	34
5.3. Variación molar en el gasificador a través del largo	36
B.1. Diagrama de flujo reactor de compostaje	66
B.2. Diagrama de flujo reactor de digestión seca termofílica	70
B.3. Diagrama de flujo del gasificador	76