

# ÍNDICE

---

ÍNDICE DE FIGURAS .....	I
ÍNDICE DE TABLAS .....	II
GLOSARIO .....	IV
ABREVIATURAS.....	V
RESUMEN .....	VI
INTRODUCCIÓN.....	VII
OBJETIVO GENERAL.....	IX
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	IX
1. CAPÍTULO 1.....	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA INDUSTRIA CÁRNICA PARA PORCINOS .....	1
1.1.1. Recepción y estabulación.....	1
1.1.2. Aturdimiento y colgado.....	1
1.1.3. Desangrado.....	2
1.1.4. Escaldado.....	3
1.1.5. Depilado / Flagelado.....	4
1.1.6. Flameado / Chamuscado.....	4
1.1.7. Evisceración y corte de cabeza y patas .....	5
1.1.8. Corte de la canal / Esquinado.....	5
1.1.9. Oreo refrigerado.....	5
1.1.10. Despiece .....	6
1.1.11. Refrigeración / Congelación de piezas .....	6
1.1.12. Procesos secundarios .....	6
1.2. NORMAS GENERALES PARA EL DESARROLLO DE UN RASTRO TIPO INSPECCIÓN FEDERAL (TIF).....	7
1.2.1. Norma oficial mexicana NOM-004-ZOO-1994 .....	7
1.2.2. Norma oficial mexicana NOM-008-ZOO-1994 .....	7
1.2.3. Norma oficial mexicana NOM-009-ZOO-1994 .....	9
1.2.4. Reglamento para la industrialización de la carne .....	10
2. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PREVISIONES SIN EL PROYECTO .....	11
2.1. PROBLEMAS AMBIENTALES GENERADOS POR LOS RASTROS.....	13
2.1.1. Consumo de agua .....	14
2.1.2. Generación de aguas residuales.....	15
2.1.3. Consumo de energía.....	18
2.1.4. Decomisos .....	19
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN AMBIENTAL EN RASTROS.....	21
3.1. PLAN Y ESTRATEGIAS DE SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL .....	21
3.1.1. Gases efecto invernadero y emisión de olores .....	21
3.1.2. Consumo de agua y efluente.....	22
3.1.3. Residuos sólidos .....	25
3.1.4. Energía.....	25
3.2. CONDICIONES Y MECANISMOS DE UTILIZACIÓN DE EQUIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES .....	26
3.2.1. Tratamiento de desechos líquidos industriales.....	28

3.2.2.	Sistemas de tratamiento empleados en desechos líquidos de rastros .....	29
3.2.2.1.	Sistemas de tratamiento empleados en desechos líquidos .....	30
3.2.2.1.1.	Pretratamiento (sistemas de tratamiento primario) .....	30
3.2.2.1.1.1.	Rejillas de desbaste .....	30
3.2.2.1.1.2.	Flotación .....	32
3.2.2.1.1.3.	Homogenización .....	33
3.2.2.1.2.	Tratamiento anaerobio (sistemas de tratamiento secundario).....	33
3.2.2.1.2.1.	Reactor de mezcla completa sin recirculación (RMC) .....	34
3.2.2.1.2.2.	Reactor de mezcla completa con recirculación (reactor anaerobio de contacto).....	34
3.2.2.1.2.3.	Reactor de flujo pistón .....	35
3.2.2.1.2.4.	Reactor con retención de biomasa.....	35
3.2.2.1.2.5.	Filtro anaerobio .....	36
3.2.2.1.2.6.	Lecho fluidizado.....	37
3.2.2.1.2.7.	Reactor de lecho de lodos de flujo ascendente .....	37
3.2.2.1.2.8.	Sistemas discontinuos .....	38
3.2.2.1.2.9.	Sistemas de dos etapas .....	38
3.2.2.1.2.10.	Sistemas de dos fases .....	39
3.2.2.1.2.11.	Sistemas híbridos .....	39
3.2.2.1.3.	Tratamiento aerobio (sistemas de tratamiento secundario).....	39
3.2.2.1.3.1.	Lagunas aireadas .....	39
3.2.2.1.3.2.	Lodos activados .....	40
3.2.2.1.3.2.1.	Reactores de lodos activados con mezcla completa.....	41
3.2.2.1.3.2.2.	Reactores de flujo pistón con lodos activados.....	41
3.2.2.1.3.2.3.	Reactores en serie con lodos activados .....	42
3.2.2.1.3.2.4.	Canales de oxidación.....	42
3.2.2.1.3.2.5.	Reactor secuencial discontinuo (RSD).....	43
3.2.2.1.3.3.	Filtro percolador .....	43
3.2.2.1.3.4.	Discos rotativos biológicos o biodiscos (DRB) .....	43
3.2.2.1.3.5.	Humedales.....	44
3.2.2.1.4.	Cloración (tratamiento terciario) .....	45
3.3.	BIOGÁS .....	47
3.3.1.	Características generales.....	47
3.3.2.	Aprovechamiento del biogás.....	48
3.3.3.	Sistemas de recuperación de energía .....	48
3.3.4.	Pretratamiento del biogás.....	49
4.	INGENIERÍA DEL CASO DE ESTUDIO .....	53
4.1.	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DEL SITIO DEL PROYECTO .....	53
4.1.1.	Localización .....	53
4.1.2.	Orografía.....	54
4.1.3.	Hidrografía.....	54
4.1.4.	Principales ecosistemas.....	55
4.1.5.	Clima.....	56
4.1.6.	Recursos naturales .....	57
4.1.7.	Características y uso de suelo .....	57
4.1.8.	Evolución demográfica .....	57
4.1.9.	Infraestructura social y de comunicaciones .....	58
4.2.	INFRAESTRUCTURA Y EQUIPO ACTUAL DEL RASTRO DE ESTUDIO .....	60

4.3.	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA TÉCNICA DEL PROYECTO.....	60
4.3.1.	Operaciones y procesos unitarios propuestos .....	60
4.3.1.1.	Trampa de grasa .....	61
4.3.1.2.	Rejas de limpieza manual .....	62
4.3.1.3.	Tanque de homogenización .....	63
4.3.1.4.	Tratamiento anaerobio: RALLFA .....	64
4.3.1.4.1.	Reactor .....	64
4.3.1.4.2.	Volumen del reactor .....	65
4.3.1.4.3.	Sistemas de alimentación .....	67
4.3.1.4.4.	Separador gas-sólido-líquido .....	68
4.3.1.4.5.	Producción esperada de metano .....	69
4.3.1.4.6.	Descarga de lodos .....	69
4.3.1.4.7.	Recirculación del efluente.....	70
4.3.1.4.8.	Producción teórica de biomasa.....	70
4.3.1.4.9.	Materiales de construcción.....	70
4.3.1.1.	Tratamiento aerobio: Lodos activados.....	71
4.3.1.1.1.	Equipo de aireación .....	71
4.3.1.1.2.	Tanques de aireación .....	71
4.3.1.1.3.	Procedimiento de diseño del reactor de lodos activados de mezcla completa .....	72
4.3.1.1.4.	Instalaciones para la separación de sólidos (sedimentador) .....	81
4.3.1.1.5.	Procedimiento de diseño del sedimentador secundario .....	81
4.3.1.1.6.	Bombas para purga de lodos y para recirculación.....	84
4.3.1.2.	Cloración.....	84
4.3.2.	Motor para el aprovechamiento del biogás.....	87
4.3.3.	Suministro de energía .....	89
4.3.4.	Programas de mantenimiento.....	90
4.3.4.1.	Mantenimiento diario .....	90
4.3.4.2.	Mantenimiento semanal .....	90
4.3.4.3.	Mantenimiento mensual .....	91
4.3.4.4.	Mantenimiento anual.....	91
4.3.4.5.	Mantenimiento eventual.....	92
4.3.5.	Escenarios con diferentes volúmenes de agua residual .....	93
4.3.6.	Programas de ejecución, administrativos, de capacitación y asistencia técnica .....	94
4.4.	CUMPLIMIENTO DE NORMAS SANITARIAS Y AMBIENTALES .....	96
5.	FACTIBILIDAD AMBIENTAL .....	97
6.	ANÁLISIS FINANCIERO .....	99
6.1.	PRESUPUESTOS Y PROGRAMA DE INVERSIONES Y FUENTES DE FINANCIAMIENTO .....	99
6.2.	PROYECCIÓN FINANCIERA .....	102
6.2.1.	Ingresos .....	102
6.2.2.	Costos .....	105
6.2.1.	Punto de equilibrio .....	107
6.3.	EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO .....	108
6.3.1.	Flujo de efectivo .....	108
6.3.2.	Valor presente (VP) .....	110
6.3.3.	Valor Presente Neto (VPN) .....	111
6.3.4.	Relación Beneficio Costo (RBC) .....	112
6.3.5.	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	112

6.3.6.	Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) .....	113
6.3.1.	Análisis de sensibilidad.....	114
7.	CONCLUSIONES .....	117
	REFERENCIAS.....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.1	Recepción de porcinos .....	2
Figura 1.2	Tanque de escaldado .....	3
Figura 1.3	Depilado de porcinos .....	4
Figura 1.4	Corte de la canal .....	5
Figura 1.5	Sala de despiece.....	6
Figura 1.6	Diagrama de flujo para el proceso productivo para porcino.....	8
Figura 3.1	Sistema sugerido de depósito de residuos líquidos y sólidos en un rastro.....	31
Figura 3.2	Reactor de mezcla completa (RMC) sin recirculación .....	34
Figura 3.3	Reactor de mezcla completa (RMC) con recirculación .....	35
Figura 3.4	Digestor de flujo pistón.....	36
Figura 3.5	Reactores con retención de biomasa .....	36
Figura 3.6	Reactor de lecho fluidizado .....	37
Figura 3.7	Reactor anaerobio de lecho de lodo de flujo ascendente (RALLFA).....	38
Figura 3.8	Proceso de lodos activados.....	41
Figura 3.9	Canal de oxidación.....	42
Figura 3.10	Discos rotativos biológicos .....	44
Figura 3.11	Proceso para generar energía eléctrica y térmica en el rastro Mexicaltzingo .....	52
Figura 4.1	Ubicación del municipio de Mexicaltzingo, Estado de México.....	53
Figura 4.2	Orografía del municipio de Mexicaltzingo.....	54
Figura 4.3	Hidrología del municipio de Mexicaltzingo.....	55
Figura 4.4	Clima en el municipio de Mexicaltzingo .....	56
Figura 4.5	Tren de tratamiento de aguas residuales para el rastro de Mexicaltzingo .....	61
Figura 4.6	Programa de ejecución del proyecto de generación de energía renovable.....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2.1	Producción nacional de carne en canal.....	11
Tabla 2.2	Producción en el Estado de México de carne en canal.....	12
Tabla 2.3	Consumo de agua en rastro estimada en México.....	15
Tabla 2.4	Consumo de agua total por estado, elaboración propia a partir de datos.....	16
Tabla 2.5	Diagrama de flujo por operaciones en el proceso de obtención de carne.....	16
Tabla 2.6	Concentraciones promedio de contaminantes en el agua residual de plantas de sacrificio por especie.....	17
Tabla 3.1	Situación ambiental generada por rastro.....	26
Tabla 3.2	Desglose del consumo de energía térmica de plantas de sacrificio.....	27
Tabla 3.3	Desglose del consumo de electricidad de plantas de sacrificio.....	28
Tabla 3.4	Categoría del tratamiento, tipo de tratamiento y procesos unitarios en el tratamiento de aguas residuales industriales.....	29
Tabla 3.5	Tren de tratamiento para tres tipos de agua residuales: Urbanas, químicas y alimentarias.....	30
Tabla 3.6	Dosis típicas de cloro en desinfección.....	45
Tabla 3.7	Características de los recipientes de cloro.....	45
Tabla 3.8	Sistemas de tratamiento aplicados a residuos líquidos provenientes de rastro.....	46
Tabla 3.9.	Componentes del biogás.....	47
Tabla 3.10	Equivalencia energética para un m <sup>3</sup> de biogás.....	47
Tabla 3.11	Aprovechamiento de biogás de acuerdo a su pureza y poder calorífico.....	48
Tabla 3.12	Tecnologías disponibles para el aprovechamiento de biogás.....	49
Tabla 3.13	Procesos para remoción de gases ácidos presentes en el biogás.....	51
Tabla 4.1	Actividades económicas en el municipio de Mexicaltzingo.....	59
Tabla 4.2	Población económicamente activa por sector en el municipio de Mexicaltzingo.....	60
Tabla 4.3	Datos para el diseño de RALLFA.....	65
Tabla 4.4	Características de diseño del reactor RALLFA.....	71
Tabla 4.5	Características del influente al reactor de lodos activados.....	72
Tabla 4.6	Condiciones y parámetros propuestos para el diseño de un reactor de lodos activados.....	73
Tabla 4.7	Parámetros definidos para la determinación de P <sub>X, BIO</sub> .....	74
Tabla 4.8	Características del tanque de aireación.....	81
Tabla 4.9	Características de diseño del sedimentador secundario.....	84
Tabla 4.10	Bombas para el traslado de lodos).....	84
Tabla 4.11	Características de diseño del generador Econogas.....	88
Tabla 4.12	Características de diseño del motor Econogas.....	88
Tabla 4.13	Opciones comunes de almacenamiento del biogás.....	88
Tabla 4.14.	Consumo eléctrico proyectado para el rastro de Mexicaltzingo.....	89
Tabla 4.15.	Consumo térmico proyectado para el rastro de Mexicaltzingo.....	89
Tabla 4.16	Programa de mantenimiento.....	93
Tabla 4.17	Programa de mantenimiento de obras y equipos.....	93
Tabla 4.18	Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y calidad del efluente del sistema acoplado RALLFA-LA de la propuesta.....	96
Tabla 6.1	Monto de inversión del proyecto.....	99
Tabla 6.2	Porcentaje de participación de las fuentes de financiamiento.....	101
Tabla 6.3	Fuentes de financiamiento y costo de capital.....	101
Tabla 6.4	Pronóstico del costo de gas LP.....	102

Tabla 6.5	Ingresos por concepto de ahorro de gas LP .....	103
Tabla 6.6	Pronóstico del costo por kWh .....	103
Tabla 6.7	Ingresos por concepto de ahorro de energía eléctrica .....	104
Tabla 6.8	Ingresos totales anuales.....	105
Tabla 6.9	Costos por concepto de depreciación.....	106
Tabla 6.10	Costos de operación y mantenimiento anual .....	106
Tabla 6.11	Costos totales de producción y administración anuales.....	107
Tabla 6.12	Estado financiero para el caso de estudio. ....	109
Tabla 6.13	Flujo de efectivo para el caso de estudio.....	110
Tabla 6.14	Valor presente de los flujos de efectivo.....	111
Tabla 6.15	Flujos acumulados actualizados .....	114
Tabla 6.16	Flujo de efectivo para el caso de estudio considerando un incremento en los costos de operación y mantenimiento.....	115
Tabla 6.17	Comparación de parámetros sobre la evaluación financiera sin y con bonos de carbono .....	116
Tabla 7.1	Beneficios aportados por la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	118

## GLOSARIO

---

Canal: El cuerpo del animal desprovisto de piel, cerdas o plumas, cabeza, vísceras y patas.

Decomiso: Las canales, vísceras y demás productos de origen animal, considerados impropios para el consumo humano y que únicamente podrán ser aprovechados para uso industrial.

Despiece: Dividir la canal en distintas partes.

Escaldar: Introducir algo en agua hirviendo.

Evisceración: Retiro de las vísceras blancas y rojas del cuerpo del porcino.

Faenado: Evisceración y eliminación de la piel, cerdas o plumas así como limpieza de la canal.

Fleje: Es una cinta, originariamente de plástico, utilizada para encintar el embalaje de diversos productos, mayormente productos pesados.

Media canal: Animal muerto y abierto, sin tripas y demás despojos cortado por la columna vertebral.

Porcionado: Repartir en raciones y/o cortes la canal.

Rasquetas: Plancha de hierro de cantos afilados y con mango de madera que se usa para raer y limpiar diversas superficies.

Secado de la sangre: Proceso mediante el cual se retira la humedad de la sangre para su posterior aprovechamiento.

Unto: Crasitud o gordura interior del cuerpo del animal.



## ABREVIATURAS

---

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

FA: Filtro anaerobio

FAD: Flotación por aire disuelto

GEI: Gases de Efecto Invernadero

LA: Lodos activados

RAL: Reactor aerobio por lotes

RALE: Reactor anaerobio de lecho expandido

RALF: Reactor anaerobio de lecho fluidizado

RALGE: Reactor anaerobio de lecho granular expandido

RALLFA: Reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente

RASL: Reactor anaerobio secuencial por lotes

TIF: Tipo inspección federal

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico