

INDICE

Contenido

| | |
|--|-----------|
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS..... | 11 |
| 1.1 Introducción | 11 |
| 1.2 Objetivos | 12 |
| 1.2.1 Objetivo general | 12 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 12 |
| 1.3 Justificación | 12 |
| CAPITULO II: MARCO TEORICO..... | 13 |
| 2.1 Antecedentes históricos..... | 13 |
| 2.2 Aguas servidas | 13 |
| 2.2.1 Contaminantes principales de las aguas servidas | 14 |
| 2.3 Plantas de tratamiento | 14 |
| 2.3.1 Fases de depuración del agua | 15 |
| 2.3.1.1 Pretratamiento | 15 |
| 2.3.1.2 Tratamiento primario | 15 |
| 2.3.1.3 Tratamiento secundario | 15 |
| 2.3.2 Plantas de tratamiento en la región del maule..... | 16 |
| 2.4 Lodos negros | 17 |
| 2.4.1 Tipos de lodos | 17 |
| 2.4.2 Métodos para extraer agua del lodo | 17 |
| 2.4.2.1 Centrifugas o decanter..... | 17 |
| 2.4.2.2 Filtro de bandas | 18 |
| 2.4.2.2.1 Etapas del proceso de filtrado | 18 |
| 2.4.2.3 Sistema natural de secado | 19 |
| 2.4.3 Tratamiento del lodo | 19 |
| 2.4.3.1 Método de lodos activados..... | 19 |
| 2.4.3.1.1 Componentes sistema de lodos activados | 20 |
| 2.4.3.2 Método de laguna aireada | 21 |
| 2.4.3.2.1 Componentes lagunas aireadas..... | 21 |
| 2.5 Normativa de plantas de tratamiento en Chile | 22 |
| 2.5.1 Clasificación de lodos según Decreto Supremo N°4 | 23 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.6 | Biomasa..... | 23 |
| 2.6.1 | Antecedentes históricos de la biomasa..... | 24 |
| 2.6.2 | Tipos de biomasa..... | 24 |
| 2.6.2.1 | Biomasa natural..... | 24 |
| 2.6.2.2 | Biomasa residual seca | 24 |
| 2.6.2.3 | Biomasa residual húmeda | 24 |
| 2.6.2.4 | Biomasa producida..... | 25 |
| 2.6.3 | Conversión de biomasa en energía..... | 25 |
| 2.6.3.1 | Método Termoquímico..... | 25 |
| 2.6.3.2 | Métodos bioquímicos | 25 |
| 2.6.3.3 | Métodos químicos | 26 |
| 2.6.3.4 | Métodos físicos | 26 |
| 2.6.4 | Usos de biomasa..... | 26 |
| 2.6.5 | Ventajas y desventajas de la biomasa como energía térmica..... | 27 |
| 2.6.6 | Normativa relacionada con los biocombustibles sólidos en Chile | 27 |
| 2.7 | Pellet y briquetas | 28 |
| 2.7.1 | Pellet..... | 28 |
| 2.7.2 | Briquetas | 28 |
| 2.7.2.1 | Características físicas y químicas..... | 29 |
| 2.8 | Aserrín..... | 30 |
| 2.9 | Poder calorífico | 31 |
| 2.9.2 | Ejemplos poder calorífico de combustibles y biomasa..... | 32 |
| 2.9.3 | Bomba calorimétrica | 33 |
| 2.10 | Hipótesis y variables | 34 |
| CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO..... | | 35 |
| 3.1 | Diseño de investigación | 35 |
| 3.2 | Selección de la muestra..... | 35 |
| 3.3 | Operacionalización de las variables | 36 |
| 3.4: | Trabajo desarrollado | 37 |
| 3.4.1 | Materiales y equipos | 37 |
| 3.4.1.1 | Lodo negro | 37 |
| 3.4.1.2 | Aserrín..... | 38 |
| 3.4.1.3 | Lubricante | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.1.4 Horno de secado industrial..... | 39 |
| 3.4.1.5 Prensa y moldes..... | 39 |
| 3.4.1.6 Molinillo..... | 40 |
| 3.4.1.7 Mufla de quemado..... | 40 |
| 3.4.1.8 Bomba calorimétrica..... | 41 |
| 3.4.1.9 Prensa hidráulica para ensayos mecánicos..... | 41 |
| 3.4.1.10 Tamices..... | 42 |
| 3.4.2 Desarrollo de actividades..... | 42 |
| 3.4.2.1 Retiro de lodo negro desde PTAS..... | 42 |
| 3.4.2.2 Análisis bacteriológico a lodo negro retirado de planta..... | 43 |
| 3.4.2.3 Secado de lodo negro..... | 43 |
| 3.4.2.4 Análisis bacteriológico a lodo negro seco..... | 44 |
| 3.4.2.5 Molienda de lodo..... | 44 |
| 3.4.2.6 Tamizado..... | 45 |
| 3.4.2.7 Densidad lodo y aserrín..... | 45 |
| 3.4.2.8 Incorporación de agua a lodo y aserrín..... | 46 |
| 3.4.2.9 Fabricación de briquetas de lodo negro..... | 47 |
| 3.4.2.10 Proceso de fabricación de briquetas de lodo negro con aserrín..... | 47 |
| 3.4.2.11 Ensayo de Poder calorífico a lodo y aserrín..... | 49 |
| 3.4.2.12 Ensayo poder calorífico a briquetas..... | 49 |
| 3.4.2.13 Porcentaje de cenizas..... | 50 |
| 3.4.2.14 Ensayos de resistencia mecánica..... | 50 |
| 3.4.2.14.1 Ensayo de resistencia a la compresión..... | 50 |
| 3.4.2.14.1 Ensayo de resistencia a la flexo-tracción..... | 51 |
| 3.4.2.15 Ensayo tiempo de quemado de briquetas..... | 51 |
| 3.5: Resultados primarios, iniciales..... | 52 |
| 3.5.1 Humedad lodo extraído de planta:..... | 52 |
| 3.5.2 Densidad lodo negro..... | 54 |
| 3.5.3 Densidad aserrín:..... | 54 |
| 3.5.4 Tamizado lodo:..... | 55 |
| 3.5.5 Ensayo de poder calorífico y producción de cenizas de lodo negro y aserrín..... | 55 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 58 |
| 4.1 Cantidad de compresiones de briquetas..... | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2 Poder calorífico y porcentaje de cenizas diferentes composiciones de briquetas | 59 |
| 4.2.1 Briquetas lodo negro | 59 |
| 4.2.2 Briquetas lodo negro con 5% de aserrín..... | 60 |
| 4.2.3 Briquetas lodo negro con 10% de aserrín..... | 61 |
| 4.2.4 Resumen resultado final y análisis..... | 62 |
| 4.3 Resistencia mecánica de briquetas | 63 |
| 4.4 Tiempo de quemado de la briqueta | 64 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 67 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 69 |
| ANEXOS..... | 71 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Procesos plantas de tratamiento de aguas servidas | 14 |
| Tabla 2. Ventajas y desventajas biomasa como energía térmica | 27 |
| Tabla 3. Unidades más utilizadas en poder calorífico..... | 31 |
| Tabla 4. Poder Calorífico Combustibles en KJ/Kg..... | 32 |
| Tabla 5. Poder Calórico Biomosas en KJ/Kg..... | 32 |
| Tabla 6. Operacionalización de las variables..... | 36 |
| Tabla 7. análisis bacteriológico lodo con humedad | 43 |
| Tabla 8. Análisis bacteriológico lodo seco | 44 |
| Tabla 9. Volumen lodo y aserrín en briquetas | 47 |
| Tabla 10. Masa lodo y aserrín en briquetas..... | 48 |
| Tabla 11. Densidades muestras lodo negro..... | 54 |
| Tabla 12. Muestras densidades aserrín..... | 54 |
| Tabla 13. Resultados de tamizado de lodo..... | 55 |
| Tabla 14. Porcentaje de cenizas lodo negro | 56 |
| Tabla 15. Porcentaje de cenizas aserrín | 57 |
| Tabla 16. Compresiones briquetas | 58 |
| Tabla 17. Porcentaje de cenizas Briquetas de Lodos Negros..... | 59 |
| Tabla 18. Porcentaje de cenizas Briquetas de Lodos Negros con 5% de aserrín..... | 60 |
| Tabla 19. Porcentaje de cenizas Briquetas de Lodos Negros con 10% de aserrín..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Tabla 20. Resumen resultados poder calorífico y porcentaje de cenizas | 62 |
| Tabla 21. Resistencia a la compresión de briquetas..... | 63 |
| Tabla 22. Resistencia a la flexo-tracción de briquetas | 63 |
| Tabla 23. Tiempo de combustión de briquetas en minutos..... | 64 |
| Tabla 24. Tiempo de evaporación de agua..... | 64 |

INDICE DE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| Imagen 1. Planta de tratamiento Iloca..... | 16 |
| Imagen 2. Decanter | 17 |
| Imagen 3. Filtro de bandas | 18 |
| Imagen 4. Eras de secado..... | 19 |
| Imagen 5. Componentes sistema de lodos activados | 20 |
| Imagen 6. Componentes laguna aireada..... | 21 |
| Imagen 7. Tabla 1 Extraída de Decreto Supremo N°90 año 2000 | 22 |
| Imagen 8. Biomasa..... | 23 |
| Imagen 9. Tabla normas relacionadas con biocombustibles | 27 |
| Imagen 10. Parámetros pellet de calidad..... | 28 |
| Imagen 11. Parámetros briqueta de calidad | 30 |
| Imagen 12. Lodo negro | 37 |
| Imagen 13. Aserrín..... | 38 |
| Imagen 14. Lubricante | 38 |
| Imagen 15. Horno industrial | 39 |
| Imagen 16. Prensa y moldes | 39 |
| Imagen 17. Molinillo..... | 40 |
| Imagen 18. Mufla..... | 40 |
| Imagen 19. Bomba calorimétrica | 41 |
| Imagen 20. Prensa ensayos mecánicos..... | 41 |
| Imagen 21. Tamices | 42 |
| Imagen 22. Retiro lodo desde planta..... | 42 |
| Imagen 23. Secado lodo..... | 43 |
| Imagen 24. Molienda de lodo..... | 44 |
| Imagen 25. Tamizado..... | 45 |

| | |
|--|-----------|
| Imagen 26. fabricación de briquetas de lodo negro | 47 |
| Imagen 27. Fabricación de briquetas con aserrín incorporado..... | 48 |
| Imagen 28. Ensayo poder calorífico..... | 49 |
| Imagen 29. Ensayo poder calorífico a briquetas | 49 |
| Imagen 30. Ensayo porcentaje de cenizas | 50 |
| Imagen 31. Ensayo resistencia a la compresión..... | 50 |
| Imagen 32. Ensayo Flexo-tracción..... | 51 |
| Imagen 33. tiempo de quemado de briquetas..... | 52 |
| Imagen 34. Poder calorífico lodo negro..... | 55 |
| Imagen 35. Poder calorífico aserrín | 57 |
| <i>Imagen 36. Inspección visual de briquetas</i> | <i>58</i> |
| Imagen 37. Briqueta 10% de aserrín v/s 50% de aserrín | 62 |
| Imagen 38. Briquetas con iniciador de fuego..... | 65 |
| Imagen 39. Briqueta pasados 40 minutos | 65 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Material retenido en tamices | 71 |
| Gráfico 2. Cantidad de compresiones según forma probetas | 71 |
| Gráfico 3. Poder calorífico biomásas convencionales y briquetas de lodo negro | 72 |
| Gráfico 4. Poder calorífico biomásas convencionales y briquetas con 5% aserrín | 72 |
| Gráfico 5. Poder calorífico biomásas convencionales y briquetas con 10% aserrín | 73 |
| Gráfico 6. Poder calorífico briquetas, según % de aserrín agregado | 73 |