

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:

DESARROLLO SOSTENIBLE DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL SALVADOR

**PROPUESTA PARA LA MEJORA DEL TRATAMIENTO DE LODOS
RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL GENERADOS EN UNA EMPRESA TEXTIL
DE EL SALVADOR.**

PRESENTADO POR:

CARLOS DANIEL JIMÉNEZ MARTÍNEZ
JOSUÉ ALEXANDER PIMENTEL MOLINA
ANA LUCÍA RODRÍGUEZ CENTENO
JENNIFER MICHELLE VALENCIA HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

VICEDECANA:

MSC. ANA BEATRIZ LIMA DE ZALDAÑA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA INTERINA:

ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:

**DESARROLLO SOSTENIBLE DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL
SALVADOR**

**PROPUESTA PARA LA MEJORA DEL TRATAMIENTO DE LODOS
RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL GENERADOS EN UNA EMPRESA TEXTIL
DE EL SALVADOR.**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

CARLOS DANIEL JIMÉNEZ MARTÍNEZ
JOSUÉ ALEXANDER PIMENTEL MOLINA
ANA LUCÍA RODRÍGUEZ CENTENO
JENNIFER MICHELLE VALENCIA HERNÁNDEZ

DOCENTE ASESOR:

ING. MANUEL ALEJANDRO PACHECO ACOSTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2025

TRABAJO DE GRADO APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

ING. MANUEL ALEJANDRO PACHECO ACOSTA

Dedicatorias

Doy gracias a Dios, quien con su infinita sabiduría y amor ha guiado cada paso en mi vida y me ha dado la fortaleza para superar los desafíos. A mi abuela, quien con su amor y motivación constante me impulsó a nunca rendirme. A mi madre, por su apoyo incondicional y por ser mi mayor ejemplo de dedicación. A mi hermano, por estar siempre para mí cuando lo he necesitado. Y a mis amigos y compañeros de la carrera, por ser parte de esta experiencia llena de aprendizajes y recuerdos que llevaré siempre conmigo.

Carlos Daniel Jiménez Martínez

A mi madre, por ser mi guía y fortaleza, y a mis compañeros de la universidad, quienes con su compañía y amistad hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable, especialmente a mis compañeros de tesina, con quienes compartí este gran logro.

Josué Alexander Pimentel Molina

Agradezco a Dios por darme la fuerza y sabiduría en todo este camino para poder cumplir mi meta. A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante en cada decisión y paso de esta etapa, a mi hermano por acompañarme mientras me quedaba estudiando. A mi familia, por siempre estar a mi lado y motivarme. A mis amigos y compañeros, por su compañía, consejos y tiempo. Y a mis docentes, por su guía y enseñanza que me ayudaron a alcanzar esta meta.

Ana Lucía Rodríguez Centeno

Agradezco a Dios, por darme la fortaleza para nunca rendirme y la sabiduría para perseverar en este camino. A mi madre, abuela y a todos los que me acompañaron en este recorrido, por su apoyo y confianza en mí.

Jennifer Michelle Valencia Hernández

Agradecimientos

A nuestra querida Alma Mater, la Universidad de El Salvador.

A la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos.

A cada docente y miembro que la conforman, en especial al Ing. Manuel Pacheco que, con paciencia y sabiduría, ha compartido su conocimiento y ha dejado una huella imborrable en nuestra formación.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento por ser una guía constante en nuestra formación profesional y personal. Su apoyo, dedicación y compromiso han sido fundamentales para que hoy podamos alcanzar este importante logro. Sin ustedes, no habría sido posible.

ÍNDICE

RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPÍTULO I: ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 BENEFICIOS ESPERADOS	4
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	5
CAPÍTULO II. MARCO CONTEXTUAL REFERENCIAL	6
2.1 INDUSTRIA TEXTIL	6
2.2 MARCO LEGAL	6
2.3 TRATAMIENTO DE LODOS.....	7
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	10
3.1 INDUSTRIA TEXTIL	10
3.2 PROCESO PRODUCTIVO DE LA INDUSTRIA TEXTIL.....	15
3.3 AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL	21
3.4 LODOS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL.....	27
3.5 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN DE LODOS	35
3.6 ESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES	41
3.7 RELACIÓN AMBIENTAL	42
3.8 RELACIÓN ECONÓMICA.....	52
3.9. RELACIÓN SOCIAL	58
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	61

4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS DE LA EMPRESA.....	61
4.2 DETERMINACIÓN DEL % DE HUMEDAD	64
4.3 ANÁLISIS DE DATOS ACTUALES	67
4.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	69
4.5 MATRIZ PUGH	69
4.6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO ELEGIDO	72
4.7 ANÁLISIS DE DATOS AL IMPLEMENTAR EL SECADOR ELEGIDO.....	72
4.8 ANÁLISIS ECONÓMICO GASTOS OPERACIONALES ACTUALES VS IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA DE SECADO PARA LA EMPRESA	74
CAPÍTULO V. RESULTADOS.....	76
5.1 RECOPIACIÓN DE DATOS DE LA EMPRESA.....	76
5.2 ANÁLISIS DE DATOS ACTUALES	83
5.3 EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE SECADO	85
5.4 APLICACIÓN DE LA MATRIZ PUGH.....	89
5.5 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO ELEGIDO	90
5.6 ANÁLISIS DE DATOS AL IMPLEMENTAR EL SECADOR DE BANDA DE BAJA TEMPERATURA (MYEP).....	92
5.7 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	94
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXO 1 UBICACIÓN DE ZONAS FRANCAS Y PARQUES INDUSTRIALES EN EL SALVADOR	105
ANEXO 2 COTIZACIÓN ANÁLISIS DE HUMEDAD.....	106

ANEXO 3 FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	109
ANEXO 4 COTIZACIÓN DE EQUIPOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas de las aguas residuales.	23
Tabla 2. Características químicas del agua residual.	24
Tabla 3. Principales parámetros de importancia para los efluentes en la industria textil.	25
Tabla 4. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Ordinario.....	29
Tabla 5. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Especial No Peligroso.....	29
Tabla 6. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Especial Peligroso.....	30
Tabla 7. Parámetros microbiológicos.	46
Tabla 8. Parámetros comunes de lodos especiales.	47
Tabla 9. Frecuencia de monitoreo de lodos residuales	48
Tabla 10. Resumen de opciones válidas para disposición o reúso de lodos.	49
Tabla 11. Evolución del empleo generado por el sector (2018-2019).....	58
Tabla 12. Principales empleadores del subsector textil (2021)	59
Tabla 13. Cotización de análisis de humedad con laboratorios acreditados.....	65
Tabla 14. Formato de tabla de análisis de costos actuales de disposición.....	68
Tabla 15. Formato de tabla comparativa de las tecnologías de secado.	69
Tabla 16. Formato de Matriz PUGH.	72
Tabla 17. Formato de tabla de comparativa de costos de disposición.....	74
Tabla 18. Lodos residuales de la empresa textil.	82
Tabla 19. Caracterización de lodos residuales de la industria textil.....	83
Tabla 20. Análisis de costos actuales de disposición.....	84
Tabla 21. Tecnologías de secado para lodos residuales.....	86
Tabla 22. Matriz PUGH.....	89
Tabla 23. Ventajas del secador de banda de baja temperatura.	92

Tabla 24. Análisis de los costos de disposición con el nuevo % de humedad.....	93
Tabla 25. Tabla comparativa de los costos de disposición.	94
Tabla 26. Detalles de la inversión, año cero.	94
Tabla 27. Detalles de cotización, flete.....	95
Tabla 28. Determinación de ahorro al implementar la tecnología de secado.	97
Tabla 29. Flujo de caja.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Alternativas tecnológicas del tratamiento de lodos.....	35
Figura 2. Diagrama de líneas (FLUJO) PIB por rama de actividad económica.....	55
Figura 3. Diagrama de líneas (TASA DE CRECIMIENTO ANUAL) PIB por rama de actividad económica	56
Figura 4. Importaciones según Clasificación Central de Productos en El Salvador en miles de US\$.	57
Figura 5. Exportaciones según Clasificación Central de Productos en El Salvador en miles de US\$.	58
Figura 6. Metodología	64
Figura 7. Diagrama de tratamiento de aguas residuales de la empresa textil.....	77
Figura 8. Vista aérea de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa textil.	78
Figura 9. Diagrama de tratamiento de aguas residuales de la empresa textil.....	79
Figura 10. Sistema de tratamiento de lodos de la empresa textil.	82
Figura 11. Esquema del funcionamiento del Secador de Banda de baja temperatura.	91

RESUMEN

Este trabajo propone mejorar el tratamiento de lodos residuales de tipo especial generados en una empresa textil. Actualmente presentan un 80% de humedad tras un proceso de prensado. Se busca implementar una etapa de secado adicional para reducir la humedad al 30%, optimizando costos de disposición y reduciendo el impacto ambiental. Se evaluaron tres tecnologías de secado mediante una matriz Pugh: dos secadores de banda de baja temperatura y un secador de tambor rotativo. El secador de banda de baja temperatura de MYEP fue seleccionado como la opción más adecuada. Además, se incluye un análisis económico que respalda su viabilidad.

INTRODUCCIÓN

La industria textil en El Salvador ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, está en su proceso productivo genera aguas y lodos residuales de tipo especial, clasificados según la reglamentación ambiental vigente en El Salvador, a pesar de las prácticas existentes la disposición final de los lodos residuales sigue siendo un reto debido a su alto contenido de humedad presente, lo que incrementa los costos y la complejidad de su manejo, actualmente la empresa no cuenta con un proceso de secado de lodos, que le permita disminuir el peso de lodos generados que se entregan al titular gestor de lodos. Por ende, se vuelve esencial presentar una propuesta para la mejora del tratamiento de lodos residuales de tipo especial generados en una empresa textil de El Salvador.

En este contexto se presenta una propuesta para evaluar la implementación de una etapa de secado adicional en el proceso de tratamiento de lodos residuales con el fin de reducir el contenido de humedad, para ello se presentan alternativas de secado adecuadas a las características del lodo residual, que brinden una posible solución a la problemática con la finalidad de analizar la reducción en los costos de disposición de lodos gracias a la disminución del porcentaje de humedad. Por consiguiente, se realizará un análisis de los costos de disposición actuales y los costos estimados al implementar la tecnología de secado. Evaluando así, el beneficio económico de la implementación de esta etapa adicional.

La reducción del porcentaje de humedad en los lodos residuales no solo ayuda a la eficiente gestión de estos, sino que también minimiza el impacto ambiental al reducir las cantidades de lodos residuales que se envían a rellenos sanitarios.

CAPÍTULO I: ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa textil de Santa Ana genera lodos residuales de tipo especial que pasan por un proceso de decantación y prensado, dando como resultado lodos con un contenido de humedad del 80%, según información proporcionada por la empresa. Este elevado contenido de humedad representa un desafío significativo para la empresa y el medio ambiente. Desde el punto de vista operativo, implica mayores costos asociados al transporte y disposición final, ya que el peso y volumen de los lodos aumentan proporcionalmente con su contenido de agua. Adicionalmente, la normativa ambiental aplicable puede exigir procesos más rigurosos de manejo, tratamiento y disposición para garantizar que no se generen impactos negativos en el suelo o cuerpos de agua cercanos.

Para disminuir este porcentaje de humedad se evaluará la factibilidad de implementar una etapa de secado posterior a la de deshidratación del lodo, con el objetivo de reducir la masa de agua presente en el lodo residual y los costos asociados con su disposición.

¿Cuál es viabilidad de implementar una etapa de secado adicional en el proceso de tratamiento de lodos residuales de tipo especial de la empresa textil de Santa Ana para reducir el contenido de humedad?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer una mejora del tratamiento de lodos residuales de tipo especial generados en una empresa textil en El Salvador.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la implementación de una etapa de secado adicional en el proceso de tratamiento de lodos residuales con el fin de reducir el contenido de humedad.
- Presentar alternativas de secado adecuadas a las características del lodo residual, que brinden una posible solución a la problemática.
- Analizar la reducción en los costos de manejo y disposición de lodos gracias a la disminución del porcentaje de humedad.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La empresa textil en estudio cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial, que, a su vez, genera lodos residuales del mismo tipo, según información proporcionada por la empresa, estos lodos pasan por un proceso de decantación y prensado, obteniéndose lodo residual con un 80% de humedad.

La empresa siendo titular generador de lodos y según el Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales, entre las responsabilidades del titular, este debe buscar alternativas para disminuir la cantidad y volumen de lodos generados.

Según Metcalf & Eddy (1995), el volumen del lodo depende, principalmente, de su contenido de agua y, sólo en una pequeña parte, de las características de la materia sólida.

Actualmente la empresa no cuenta con un proceso de secado de lodos, que le permita disminuir el peso de estos, que se entregan al titular gestor de lodos y, por consiguiente, los costos de disposición.

Se pretende evaluar la viabilidad de implementar una etapa de secado adicional como mejora en el proceso de tratamiento de lodos residuales de tipo especial para reducir el contenido de humedad presente.

1.4 BENEFICIOS ESPERADOS

La propuesta de mejora del tratamiento de lodos residuales mediante la implementación de una etapa de secado adicional al proceso para reducir el contenido de humedad sería un beneficio para la empresa para tener una perspectiva panorámica. Este tema de investigación podría convertirse en una herramienta visible para la empresa, para la toma de decisión en un futuro no lejano de poner en marcha el proyecto mencionado.

La implementación del proyecto traería beneficios como la reducción del volumen, lo que facilitaría su manejo, transporte y disposición, además de la reducción del peso por consiguiente la disminución de los costos asociados con su disposición. Además, la reducción del peso de lodos a disponer significa reducción en el impacto ambiental, debido a que sería menor impacto en los rellenos sanitarios y una mejor gestión de los residuos industriales, contribuyendo a la responsabilidad ambiental de la empresa, lo cual mejora la imagen corporativa de la empresa.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 ALCANCES

- Se realizará un análisis de diferentes tecnologías de secado disponibles para lodos residuales, considerando aspectos como eficiencia de secado, costos de inversión y operación, consumo de energía, impacto ambiental y compatibilidad con las características del lodo.
- La selección de la tecnología de secado no se limitará únicamente a la opción técnicamente más adecuada. Se realizará un análisis integral considerando criterios económicos, ambientales y sociales, con el objetivo de identificar una solución sostenible que maximice los beneficios y minimice los costos y riesgos asociados.
- Se realizará una evaluación económica del proyecto, considerando la inversión inicial en equipos, puesta en marcha, costos operativos recurrentes, como energía, mano de obra y mantenimiento, y el análisis de rentabilidad del proyecto, incluyendo el período de recuperación de la inversión.

1.5.2 LIMITACIONES

- La precisión de la evaluación de alternativas de secado, el diseño conceptual del sistema y la evaluación económica dependerá de la disponibilidad de datos detallados sobre las características del lodo residual, incluyendo contenido de humedad, sólidos totales, densidad, pH y presencia de contaminantes.
- El alcance del diseño conceptual, la evaluación económica y el análisis de impacto ambiental estará limitado por los recursos financieros disponibles de la empresa.
- Condiciones climáticas extremas o eventos de fuerza mayor pueden influir en las características del lodo residual, lo que podría afectar el rendimiento del proceso de secado y generar costos adicionales.
- Requisitos legales ambientales y de seguridad podrían afectar la viabilidad del proyecto. La obtención de permisos adicionales y cumplir con normativas podría ser un obstáculo importante para considerar en el análisis de factibilidad.

CAPÍTULO II. MARCO CONTEXTUAL REFERENCIAL

2.1 INDUSTRIA TEXTIL

La industria textil y de la confección en El Salvador ha sido uno de los principales impulsores del desarrollo económico del país desde la década de 1950, sin embargo, la actividad en este importante sector aumentó significativamente durante la década de 1980, cuando un gran porcentaje de la producción salvadoreña comenzó a exportarse principalmente a los Estados Unidos bajo los términos de la Iniciativa de la Cuenca del Caribe (CBI). (Group, s.f.)

En la industria textil, como se sabe, ciertos subprocesos requieren un considerable uso de agua, que luego se dirige a una planta de tratamiento para su aprovechamiento y posterior reutilización. Esta agua utilizada en diversas etapas de producción, desde el lavado de materias primas hasta los procesos de teñido y acabado, se convierte en aguas residuales cargadas de compuestos químicos y materia orgánica. (IDRICA, 2022)

2.2 MARCO LEGAL

Según el Decreto 29 del Reglamento de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales (Reglamento de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales), el lodo se define como: Residuo sólido, semi sólido, provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales, de alcantarillado sanitario y plantas potabilizadoras; así como los lodos de procesos industriales, agroindustriales o de actividades especiales. Se entenderá como sinónimo del término "Fango".

Además, según el artículo 7 del Reglamento de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales, los lodos se clasifican así:

Por su origen

- Lodo tipo ordinario: Son los generados en sistemas de tratamientos de aguas residuales y alcantarillado sanitario de tipo ordinario que no tengan mezclas de agua tipo especial.
- Lodo tipo especial: Son los generados en el tratamiento de las aguas residuales especiales, los cuales pueden ser peligrosos o no peligrosos, provenientes de actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias, etc.

Por su naturaleza

- No peligrosos
- Peligrosos

Procedencia

Los lodos se originan fundamentalmente en los tratamientos primarios y secundarios de la planta de tratamiento. En ambos casos, son un residuo líquido, con un alto contenido de agua, por lo que ocupan volúmenes importantes y de naturaleza putrescible. Estas características del lodo producido hacen que sea necesario someterlo a un tratamiento de manera óptima, tanto desde el punto de vista sanitario y medioambiental, como de su manejo y disposición final. (MARN, Guía técnica de evaluación de impacto ambiental de aguas residuales, s.f.)

2.3 TRATAMIENTO DE LODOS

El tratamiento de lodos debe tener en cuenta los siguientes objetivos:

1. Reducir su volumen, mediante su concentración y eliminación parcial del agua.
2. Lograr su estabilización para evitar problemas de fermentación y putrefacción.
3. Conseguir una textura que los haga manejables y fáciles de transportar.
4. Eliminación de patógenos, que los haga inocuos desde un punto de vista sanitario.

El tratamiento de lodos lo pueden integrar los procesos siguientes:

Espesamiento: antes de proceder a la eliminación, o estabilización de los lodos que se han separado del agua residual es conveniente (rentable) proceder al espesamiento de los lodos; lo que permite reducir al mínimo el volumen para facilitar su manejo, transporte y almacenamiento. Se suele realizar por procedimientos como centrifugación o flotación.

Estabilización o digestión: está puede ser aerobia o anaerobia

Aerobia. Viene a ser la eliminación en presencia de aire, de la parte fermentable de los lodos. Los lodos en este proceso disminuyen de forma continua por la acción de los microorganismos existentes en el reactor biológico a la vez que se produce una

mineralización de la materia orgánica. Los productos finales de este proceso metabólico son anhídrido carbónico, agua y productos solubles inorgánicos.

Anaerobia. Se considera el método más adecuado para obtener un producto final aséptico. La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire. La digestión pasa por procesos de: licuefacción, gasificación y mineralización produciéndose un producto final inerte y con liberación de gases.

Deshidratación

La deshidratación es una operación unitaria física (mecánica) utilizada para reducir el contenido de humedad del fango por alguna o varias de las siguientes razones:

1. Los costos de transporte del fango por camión hasta el lugar de su evacuación final son notablemente menores cuando se reduce el volumen por deshidratación.
2. El fango deshidratado es, generalmente, más fácil de manipular que el fango líquido o espesado. En la mayoría de los casos, el fango deshidratado es susceptible de ser manipulado con tractores dotados de cucharas y palas y con cintas transportadoras.
3. La deshidratación del fango suele ser necesaria antes de la incineración del fango para aumentar su poder calorífico por eliminación del exceso de humedad.
4. La deshidratación es necesaria antes del compostaje para reducir la cantidad de material de enmienda o soporte.
5. En algunos casos, puede ser necesario eliminar el exceso de humedad para evitar la generación de olores y que el fango sea putrescible.
6. La deshidratación del fango suele ser necesaria antes de su evacuación a vertederos controlados para reducir la producción de lixiviados en la zona del vertedero.

Los dispositivos de deshidratación utilizan varias técnicas para la eliminación de la humedad. Algunas, se basan en la evaporación y percolación naturales, mientras que los aparatos de

deshidratación mecánica utilizan medios físicos, asistidos mecánicamente, para acelerar el proceso. Los medios físicos utilizados incluyen la filtración, el prensado, la acción capilar, la extracción por vacío y la separación y compactación por centrifugación. (Eddy, 1996)

Desinfección: Es el proceso mediante el cual se trata de eliminar una gran cantidad de organismos patógenos presentes en los lodos y que pueden suponer un riesgo sanitario en su utilización

Relaciones peso-volumen.

El volumen de fango depende, principalmente, de su contenido de agua y, solo en una pequeña parte, de las características de la materia sólida. (Eddy, 1996)

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1 INDUSTRIA TEXTIL

La industria textil, según el libro "Textiles" de Bernard P. Corbman y otros autores, se refiere al sector económico dedicado a la producción y procesamiento de fibras, hilos y tejidos. Esta industria incluye todas las etapas del proceso textil, desde la obtención de las materias primas (como el algodón, la lana o los sintéticos) hasta la fabricación de productos acabados como ropa, tapicerías y otros artículos textiles.

La industria textil emplea principios ingenieriles avanzados en el diseño y la optimización de cada etapa del proceso. Esto incluye la ingeniería de fibras para desarrollar nuevas propiedades de materiales, la automatización y el control de calidad en el hilado y tejido, la implementación de tecnologías de teñido y acabado más sostenibles, y el uso de software para la planificación y diseño de productos textiles. La ingeniería textil se enfoca en mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la calidad a lo largo de toda la cadena de producción.

La industria textil es una de las pocas industrias básicas que se caracteriza por ser un componente necesario de la vida humana. Se la puede clasificar como una industria más glamurosa, pero sea lo que sea, proporciona el requisito básico llamado ropa. Existen numerosos tipos de fibras y otras materias primas que se utilizan para producir una tela.

En lo que respecta al estudio de los tejidos textiles, el significado de la palabra textil debe quedar muy claro. El diccionario afirma que la palabra se deriva del latín *texere*, que significa tejer, pero se debe aceptar un significado más amplio de tejido, ya que es una de las diversas formas de producir tejidos textiles. La etapa inicial de la fabricación textil implica la producción de la materia prima, ya sea por parte de agricultores que crían algodón, ovejas, gusanos de seda o lino, o por parte de químicos que producen fibra a partir de diversas sustancias básicas mediante procesos químicos. La fibra se hila para formar hilo, que luego se convierte en tela en una fábrica de tejidos o de punto. Después del teñido y el acabado, el material tejido está listo para ser entregado directamente al fabricante de productos textiles, donde finalmente se cose para formar prendas.

Los polímeros son el recurso de las fibras sintéticas, que se derivan principalmente del petróleo. Las fibras vegetales y animales constituyen las fibras naturales. Una vez formada la tela, generalmente se la somete a un proceso de acabado y/o teñido, en el que se modifican las propiedades de la tela en bruto para su uso final.

3.1.1 Industria textil a nivel mundial

Diversidad regional: La industria textil varía significativamente a nivel mundial en términos de métodos de producción, tecnología y enfoque hacia el mercado. En países desarrollados, como Estados Unidos y los miembros de la Unión Europea, la industria tiende a enfocarse en la alta tecnología, la innovación en textiles y la moda de alta gama. En contraste, muchos países en desarrollo, como India y Bangladesh, se especializan en la producción en masa y la exportación de textiles a precios más bajos.

Globalización y Outsourcing: La globalización ha llevado a una significativa externalización (outsourcing) de la producción textil. Muchas empresas en países desarrollados han trasladado sus operaciones de manufactura a países con costos laborales más bajos. Esto ha creado una red compleja de cadenas de suministro globales y ha afectado la dinámica de la industria en términos de costos y control de calidad.

Impacto ambiental y sostenibilidad: La industria textil tiene un impacto considerable en el medio ambiente, especialmente en términos de uso de agua, emisiones de productos químicos y generación de residuos. En respuesta, hay un creciente movimiento hacia la sostenibilidad y el desarrollo de prácticas más ecológicas, incluyendo el uso de fibras recicladas, procesos de producción menos contaminantes y el diseño de productos que prolonguen la vida útil de los textiles.

Innovación tecnológica: La industria está viendo avances significativos en tecnología, como la automatización de la producción, el desarrollo de textiles inteligentes y la impresión 3D. Estas innovaciones están transformando cómo se diseñan y fabrican los productos textiles, así como mejorando la eficiencia de la producción.

Tendencias del mercado: El mercado textil global está influenciado por las tendencias de moda, cambios en los hábitos de consumo y la demanda de productos personalizados y de

alta calidad. Las empresas deben adaptarse rápidamente a las tendencias cambiantes y a las preferencias del consumidor para mantenerse competitivas.

A nivel mundial, la industria textil es un pilar económico significativo, con una vasta red de proveedores, fabricantes y distribuidores. La globalización ha llevado a una reconfiguración de las cadenas de suministro, con una creciente externalización de la producción a países con costos laborales más bajos, mientras que los países desarrollados se enfocan en innovación, tecnología avanzada y productos de alta gama. El sector también enfrenta desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental y la necesidad de adoptar prácticas más ecológicas.

Aspectos Ingenieriles y Tecnológicos

La ingeniería textil juega un papel crucial en la optimización de cada etapa del proceso. Esto incluye el desarrollo de nuevas fibras y materiales con propiedades específicas, la automatización de maquinaria de hilado y tejido, y la implementación de tecnologías avanzadas en teñido y acabado. La innovación tecnológica también está en el centro de la industria, con avances como la impresión 3D de tejidos y el diseño asistido por ordenador que están transformando la producción textil.

Impacto Global y Sostenibilidad

La industria textil tiene un impacto significativo a nivel global, tanto en términos económicos como ambientales. La globalización ha reconfigurado las cadenas de suministro, con una creciente externalización de la producción a países con costos laborales más bajos. Además, la industria enfrenta retos en términos de sostenibilidad, con un creciente enfoque en la reducción de su impacto ambiental y el desarrollo de prácticas más ecológicas, como el reciclaje de fibras y el uso de procesos menos contaminantes.

Diferencias regionales en la Industria Textil

- **Países desarrollados:** En lugares como Estados Unidos y Europa, la industria textil se enfoca en la innovación, la moda de alta gama y los textiles técnicos. La producción suele estar muy automatizada y se invierte en sostenibilidad y en la mejora de la calidad.

- **Países en desarrollo:** En países como China, India y Bangladesh, la industria se centra en la producción a gran escala de textiles a bajo costo. Estos países son grandes exportadores de textiles y prendas de vestir, y la mano de obra barata es un factor crucial en su competitividad.

3.1.2 Industria textil en El Salvador

Navas y Castillo comentan brevemente la historia de la industria textil en El Salvador, en la cual mencionan lo siguiente: el origen de la industria textil en El Salvador está ligado a la producción artesanal y familiar de tejidos, una actividad tradicional que se realizaba a pequeña escala en el ámbito doméstico. Durante el siglo XIX, la economía salvadoreña estaba centrada en la exportación de café, pero a medida que el país se fue industrializando lentamente, comenzaron a surgir talleres textiles que producían ropa y productos básicos para el consumo local.

La verdadera industrialización de la producción textil en El Salvador comenzó en la segunda mitad del siglo XX, impulsada por una mayor inversión en infraestructura y la introducción de tecnologías de fabricación a gran escala.

La historia de la industria textil en El Salvador está marcada por la creación de zonas francas, como la de San Bartolo, Ilopango en 1974, que ofrecían beneficios fiscales para atraer inversión extranjera, especialmente en el sector de confección de prendas. Estas zonas francas fueron fundamentales para el desarrollo del sector textil y la generación de empleo. Sin embargo, el conflicto armado de los años ochenta afectó negativamente a la industria, ya que muchas empresas abandonaron el país debido a la inestabilidad política y económica.

Tras la finalización del conflicto y con la firma de los Acuerdos de Paz, la industria textil experimentó un crecimiento significativo. Un factor clave para este desarrollo fue la Iniciativa de la Cuenca del Caribe (CBI, por sus siglas en inglés), que permitió a las empresas salvadoreñas exportar productos textiles a los Estados Unidos con ventajas arancelarias. En ese momento las empresas del sector basaban sus operaciones casi en su totalidad en ensamblaje y los materiales de los componentes eran enviados a El Salvador y luego se transformaban y se exportaban a los Estados Unidos. (Navas, G. A. y Castillo, E., 2007)

Hoy en día, la industria textil y prendas de vestir en El Salvador lidera las Américas en su producción de artículos de valor agregado para los mercados de exportación. El sector está integrado verticalmente y emplea a 70.000 trabajadores directos y 200.000 indirectos. Como resultado de la firma en 2004 del CAFTA-DR (Central America Free Trade Agreement) entre Centroamérica - Estados Unidos – República Dominicana, incluyéndose Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Estados Unidos. Este tratado permitió que las empresas textiles salvadoreñas exportaran productos a Estados Unidos con tarifas reducidas, lo que atrajo una gran inversión extranjera al país. (The Central American Group, 2018)

Durante la pandemia de COVID-19 en 2020, el sector de manufactura textil en El Salvador enfrentó una crisis económica significativa. Las exportaciones cayeron, y la falta de suministros interrumpió la producción, lo que afectó tanto a las empresas como al empleo en el sector. Sin embargo, tras el impacto inicial de la pandemia, el sector comenzó a recuperarse, con un repunte en las exportaciones y una mejora en el desempeño económico gracias a la reactivación económica de El Salvador.

En la actualidad, el sector textil y confección es uno de los principales motores para el desarrollo de El Salvador, con una cadena de valor que se ha consolidado e integrado verticalmente, incorporando todas las actividades productivas de la industria.

El dinámico proceso de integración vertical de la industria ha logrado incorporar todas las actividades productivas de la cadena textil-confección, desde la producción de fibras, la fabricación y acabado de hilados y tejidos, el diseño, corte y confección de prendas y la logística asociada, brindando además innumerables oportunidades para ingresar a nuevos negocios en el extremo superior e inferior de la cadena de valor y actividades conexas.

El modelo de Régimen de Zonas Francas es una de las fuentes más importantes de desarrollo económico y social en El Salvador.

Las Zonas Francas constituyen uno de los regímenes más eficaces para el fortalecimiento de la competitividad global, la generación de empleos, la promoción de exportaciones, la transferencia de tecnologías y el desarrollo económico y social de los países que han implementado dicho modelo.

Actualmente, en nuestro país existen 17 Zonas Francas, ubicadas estratégicamente en 6 de los 14 departamentos de El Salvador (Anexo 1) a fin de satisfacer las necesidades diversas de recurso humano calificado y/o bilingüe; conectividad terrestre, aérea y marítima; conectividad digital; generación de energía eléctrica; entre otros. (Cámara de la Industria Textil, Confección y Zonas Francas de El Salvador)

3.2 PROCESO PRODUCTIVO DE LA INDUSTRIA TEXTIL

Según (Tejidos textiles, s.f.) se obtuvo la información del apartado sobre las materias primas utilizadas en la industria textil.

3.2.1 Materias primas

Las materias primas en la industria textil son recursos básicos utilizados para la producción de tejidos para posteriormente convertirlos en prendas de vestir. La primera parte de la cadena de producción se encarga de producir la materia prima, las fibras pueden ser:

- Naturales
- Sintéticas
- Artificiales

Fibras naturales

Las fibras orgánicas se pueden clasificar en vegetales, animales o minerales. Dentro de las hilazas o hilos naturales para tejer de origen vegetal incluyen pelos de semillas, como el algodón; fibras de tallo o bien líber, como el lino y el cáñamo; hebras a partir de hojas, como el sisal; y fragmentos de cascarillas de corteza, como el coco. Los hilos naturales para tejer de origen animal incluyen la lana, el pelo y la seda.

Algunas de sus características van desde su suavidad, resistencia, durabilidad y biodegradabilidad, es decir, no contaminan. Asimismo, se aplican en la confección textil. Podemos encontrar tejidos naturales como el algodón orgánico que es el más utilizado en el mundo, pero también fibra textil naturales como la de cachemira con propiedades peculiares.

Fibra textil de origen vegetal

Los pelos de semillas, el líber o fibras del tallo, las fibras de las hojas o bien fibras extraídas de cascarillas son llamados fibras vegetales, en este sentido podemos decir que los fragmentos, pelos de la fibra o hebras de una planta o fruto es lo que se emplea para la fabricación de determinados productos textiles.

Las propiedades de cada una de las fibras textiles dependen de la hebra del vegetal que sean extraídos y del grado de unión entre ellos. La longitud de los hilos naturales para tejer y la manera de los cordones para unir las fibras entre sí para la elaboración de las prendas de fibras naturales cambian en dependencia de dichas propiedades. Entre las celulosas que sirven para tejer podemos ver estos nombres:

- Abaca
- Algodón
- Lino
- Yute
- Sinsal

Fibra textil de origen animal

La lana, el pelo y la seda son las fibras de donde se obtienen las hilazas para la producción textil y cuyo origen es animal. Las características de cada fibra textil dependen del vellón, la lana o la seda que sean extraídos de las diferentes especies y del grado de unión entre ellos. La longitud, el grosor y la manera de los cordones para unir las fibras entre sí cambian dependiendo de sus propiedades. Entre los animales que se pueden extraer fragmentos que sirven para tejer destacan:

- Alpaca
- Seda
- Lana

Fibra textil de origen mineral

Las fibras textiles minerales, también conocidas como fibras inorgánicas, son materiales sintéticos que se obtienen a partir de minerales como la roca volcánica, el vidrio o la cerámica. Estas fibras se destacan por su resistencia al fuego, su capacidad de aislamiento térmico y acústico, así como por su resistencia a productos químicos y al deterioro causado por la luz solar. Estas son altamente resistentes al fuego, ya que pueden soportar altas temperaturas sin derretirse ni emitir gases tóxicos. Esto las convierte en una excelente opción para aplicaciones donde se requiere protección contra incendios, como en la industria de la construcción. (De Materiales, 2023)

Tipos de fibras textiles sintéticas

La fibra textil sintética, está hecha de polímeros, se crean a partir de productos químicos, frecuentemente derivados de productos como el lignito y el petróleo.

En dependencia del tipo de tejido, estos químicos se combinan con ácidos y alcohol, en ocasiones se calientan y después mediante un proceso de extrusión en donde la sustancia química se empuja por medio de un troquel o bien una boquilla para formar largos hilos.

Algunas de sus características de los hilos derivados del petróleo son la durabilidad, resistencia, la elasticidad, multitud de texturas, y fáciles de teñir, se adaptan muy bien tanto al frío como al calor y cuidarlos no conlleva mucho trabajo bien si se ensucian a la hora de limpiar o planchar. Entre sus usos esta la confección de una gran variedad de prendas de ropa. Algunos ejemplos de tejidos sintéticos son los siguientes:

- Nylon
- Poliéster
- Elastano
- Polietileno

Tipos de fibras textiles artificiales

La fibra textil artificial o semisintéticas tiene propiedades semejantes a las de las fibras naturales. Se obtiene a partir de celulosas y proteínas vegetales o animales. En el caso de las vegetales se encuentran en ciertas plantas o frutos como cacahuete, maíz o bien soja, en general derivan de la celulosa y de la caseína. Surgen con la necesidad de perfeccionar los filamentos naturales, por ejemplo, obteniendo fibras más largas. Es el caso del rayón, que imita a la seda natural y sirve para confeccionar prendas como las medias femeninas.

3.2.2 Preparación de las fibras

Según (FD Textil, 2020) nos menciona todos los procesos para lograr obtener la tela, desde hilatura hasta el proceso de teñido.

La hilatura

El proceso de hilatura consiste en la fabricación de hilo a partir de fibras naturales, sintéticas, o artificiales. La primera operación consiste en abrir y limpiar las fibras, tarea que llevan a cabo las abridoras de balas y las limpiadoras. Las fibras limpias se almacenan posteriormente en silos o cuartos de mezcla donde se produce la mezcla y homogeneización de estas, pudiéndose mezclar varias fibras diferentes. El siguiente proceso es el proceso de cardado, llevado a cabo en la carda, en la que mediante la acción de una superficie cubierta de puntas de alambre se separa cada una de las fibras y se reúnen en una cinta de cardado. Posteriormente, las cintas de cardado son mezcladas para conseguir una mayor homogeneización y regularidad. Este proceso tiene lugar en el manuar donde las cintas se doblan y estiran.

La hilatura open-end (también llamada hilatura de rotores) y la hilatura Air Jet pueden producir el hilo directamente de las cintas de los manuales, la hilatura convencional o de anillos, y la hilatura compact, necesitan transformar la cinta de manuar en mechas (cintas más aún más estrechas y con cierta torsión) para poder alimentar a las máquinas de hilar. De esta transformación se encarga la máquina mechera. Por último, algunos tipos de hilo requieren la eliminación de las fibras más cortas para producir hilos más finos y de alta calidad, para ello se utiliza la peinadora. Finalmente, la fabricación del hilo se lleva a cabo en las continuas de hilar, y en las bobinadoras el hilo resultante se enrolla en diferentes

formatos según el uso que se le vaya a dar. Existen también varios procesos para el acabado del hilo como la tinte de hilo, blanqueado, gaseado y cada uno de ellos requiere una maquinaria concreta.

Formación de tejido

La tejeduría

La creación de tejidos a partir de los hilos se lleva a cabo en los telares. Existen numerosos tipos de telares que producen diferentes tipos de tejidos (tejidos de calada, de punto, gasas de vuelta, entre otros). Los tejidos de calada se fabrican en los denominados telares planos, mientras que los tejidos de punto se fabrican en telares circulares, Ketten, Raschel y tricotosas. En el caso de los telares planos es necesario realizar una preparación previa a la tejeduría donde se realizan los procesos de urdido y encolado.

El urdido consiste en colocar los hilos de la urdimbre en un cilindro (o plegador) de forma paralela. Este proceso se realiza en los urdidores directos o en los urdidores seccionales que son alimentados por las filetas donde se colocan las bobinas de hilo.

El encolado se lleva a cabo en la encoladora y consiste en aplicar una cola a los hilos para aumentar su resistencia y evitar roturas en el telar. La reunidora es la encargada de reunir varios plegadores en un solo plegador que será montado en el telar.

Antes de montar el plegador en el telar, la remetedora se encarga de pasar los hilos de urdimbre a través de los elementos del telar. En el caso de que se vaya a seguir usando el mismo tipo de urdimbre, la máquina anudadora es la encargada de unir los extremos de los hilos del nuevo plegador con los del que se ha terminado.

Proceso húmedo

Respecto a la tinte, los acabados, existe una inmensa cantidad de acabados textiles y estos van a depender del tipo de tejido a tratar (punto o calada), de su composición y de las cualidades que se quiera otorgar al tejido. De la misma forma, existe una gran cantidad de maquinaria diseñada para cada tipo de acabado.

Preparación de la tintura

En ocasiones antes de la tintura es necesario realizar procesos previos para preparar la tela y así obtener una tintura homogénea. Por ejemplo, en los tejidos de calada es necesario eliminar la cola utilizada para el proceso de tejeduría (proceso de desencolado). Esto se puede realizar en máquinas Jigger de forma discontinua pero los sistemas continuos pad batch, pad roll y pad steam son los más utilizados. Otros procesos previos que también pueden ser necesarios son el blanqueo y lavado. Estos se pueden realizar en las mismas máquinas de tintura o en trenes de lavado y blanqueo especialmente diseñados para esta función.

El mercerizado es un tratamiento que, mediante la utilización de sosa cáustica, permite mejorar el brillo y la humectabilidad de la tela a la vez que mejora los resultados del teñido. El proceso de mercerizado se realiza en la mercerizadora. Otro proceso de vital importancia es el termofijado de las telas de fibras sintéticas, que permite fijar el ancho de las telas antes de los procesos de tintura. El proceso de termofijado se lleva a cabo en la rama máquina además puede ser utilizada para procesos de secado y de acabados químicos.

Tintura

El proceso de tintura puede llevarse a cabo mediante procesos de agotamiento (discontinuo) o mediante un proceso de foulardado (sistema continuo). La tintura por agotamiento se puede realizar en Jets, Over-flows, Air Jets, o Jiggers. Por otro lado, las líneas para la tintura a la continua constan de uno o varios foulards (donde se impregna y escurre el tejido con un baño de colorante) seguidas de otros elementos para la fijación del color, pudiendo ser estos vaporizadores, hot flues, termosoles o secadores infrarrojos dependiendo del proceso de tintura que se lleve a cabo. La estampación de los tejidos se puede realizar mediante la estampación rotativa tradicional o mediante la estampación digitales. Una vez realizada la estampación, es necesario fijar el dibujo en la tela. El vaporizador, combinando vapor y altas temperaturas, es la máquina encargada de ello.

Acabados

- **Calandrado:** El calandrado tiene como objetivo modificar la superficie del tejido mejorando el tacto y el brillo de esta. La calandra, máquina utilizada para tal efecto,

consta de dos o más cilindros utilizados para aplicar presión, temperatura y fricción a la tela. La calandra también puede ser utilizada para grabar patrones en la superficie del tejido (gofrado) o para procesos de laminación.

- **Esmerilado:** Utilizado para mejorar el tacto de las telas mediante unos cilindros recubiertos de un material abrasivo, se realiza en la esmiriladora.
- **Perchado:** Mediante este proceso se llevan los extremos de la fibra a la superficie, creando una capa de pelo. La percha (o perchadora) contiene cilindros recubiertos de agujas metálicas con ganchos para extraer el pelo.
- **Tundido:** Mediante una serie de cuchillas la tundosa corta las fibras que sobresalen del tejido a la altura deseada.
- **Sanforizado:** Proceso para reducir el encogimiento que tendrán las telas tras el lavado doméstico. El proceso se utiliza en tejidos de calada y, mediante la aplicación de presión y vapor sobre las telas, se consigue su compresión para que el encogimiento residual sea lo más bajo posible. El proceso de sanforizado se lleva a cabo en la máquina sanfor.
- **Compactado:** Con el mismo objetivo que el sanforizado pero destinado a los tejidos de punto, se realiza en la compactadora.
- **Recubrimiento e impregnación:** Los materiales textiles pueden ser recubiertos o impregnados con infinidad de productos para conferirles propiedades específicas a los tejidos como, por ejemplo, propiedades ignífugas, repelentes de agua, protección contra el sol, etc. (FD Textil, 2020).

3.3 AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL

3.3.1 Descripción de la generación de aguas residuales

La industria textil produce aguas residuales a partir de varios procesos, como el teñido, el enjuagado y el enfriamiento. En particular, el enjuagado representa entre el 60% y el 70% del consumo total de agua. La composición de estas aguas residuales varía según el tipo de producción, pero en general, el agua residual de este sector tiende a ser alcalina y presenta concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) que van de 700 a 2000 mg/L, con una demanda química de oxígeno (DQO) que suele ser entre dos y cinco veces mayor que la DBO₅. (IMTA, 2016) Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA,

2016) los efluentes del proceso de teñido suelen ser calientes y muy coloridos, y contienen contaminantes principales como sólidos suspendidos, aceites minerales y compuestos orgánicos, incluyendo fenoles y compuestos halogenados provenientes de los solventes de blanqueo, además, los efluentes pueden tener concentraciones significativas de metales pesados como cromo, cobre, zinc, níquel y plomo. En el caso de la producción de fibras naturales, el agua residual puede incluir plaguicidas y contaminantes microbiológicos, como bacterias, hongos y otros patógenos.

Durante el proceso de teñido, se estima que alrededor del 30% de los colorantes se pierde debido a la ineficiencia del proceso, lo que resulta en su presencia en los efluentes (Díaz, 2021). Las moléculas de los colorantes, que contienen grupos cromóforos y pigmentos auxiliares, producen colores visibles al reaccionar con la luz debido a la presencia de enlaces dobles (C=C). Aunque los colorantes pueden estar presentes en concentraciones bajas, el color que aportan al agua residual puede ser extremadamente intenso.

Los colorantes y productos químicos utilizados en la industria textil no solo contribuyen a una alta variabilidad en la composición de los efluentes, sino que también pueden incluir compuestos difíciles de degradar, como hidrocarburos aromáticos y tintes heterocíclicos. Esta complejidad en los efluentes requiere tratamientos avanzados capaces de abordar tanto la carga orgánica como la presencia de metales pesados y compuestos tóxicos.

3.3.2 Características de las aguas residuales

Según Metcalf & Eddy (1995) las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. A continuación, se describen dichas características.

3.3.2.1 Características Físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

En la Tabla 1 se describen dichas características.

Tabla 1. Características físicas de las aguas residuales. Fuente: Metcalf & Eddy (1995)

Características	Definición
Sólidos Totales	Materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C
Sólidos sedimentables	Aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/L, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación del agua residual.
Olor	Los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.
Temperatura	La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que el agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de los diferentes usos industriales
Densidad	Definida como masa por unidad de volumen. Es una característica física importante del agua residual dado que ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación.
Turbiedad	Indica la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

3.3.2.2 Características biológicas

Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas.

El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis. Los coliformes también se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos.

3.3.2.3 Características Químicas

Tabla 2. Características químicas del agua residual. Fuente: Metcalf & Eddy (1995)

Características	Definición
Demanda Bioquímica de Oxígeno	<p>La DBO representa la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar a través de procesos bioquímicos, la materia orgánica carbonosa. Es una indicación indirecta, por tanto, del carbono orgánico biodegradable.</p> <p>La DBO₅ corresponde al consumo de oxígeno realizado durante los primeros 5 días. Sin embargo, al final del quinto día la estabilización de la materia orgánica aún no es completa, y continúa, aunque a un ritmo más lento, durante otro período de semanas o días.</p>
Demanda Química de Oxígeno	Consumo de oxígeno que se produce como consecuencia de la oxidación química de la materia orgánica. El valor obtenido es, por tanto, una indicación indirecta del nivel de materia orgánica presente.
pH	La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.
Alcalinidad	La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producidos por la adición de ácidos. Normalmente el agua residual es alcalina.
Metales pesados	Los metales pesados pueden entenderse como aquellos que, bajo ciertas concentraciones y tiempo de exposición, ofrecen riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Los principales elementos químicos que encajan en esta categoría son: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se y Zn. Estos elementos pueden encontrarse de forma natural en suelos o aguas en concentraciones variables, pero inferiores a las consideradas tóxicas para diferentes organismos vivos. Entre ellos, As, Co, Cr, Cu, Se y Zn son esenciales para los organismos en ciertas pequeñas cantidades, mientras que otros no tienen ninguna función en el metabolismo biológico, siendo tóxicos para plantas y animales.
Oxígeno disuelto	El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. Dado que evita la producción de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.

Las características de las aguas residuales industriales varían según el tipo de industria y los procesos industriales utilizados. La Tabla 3 identifica los principales parámetros que deben analizarse para caracterizar los efluentes en la industria textil según la materia prima utilizada y el proceso que se lleva a cabo.

Tabla 3. Principales parámetros de importancia para los efluentes en la industria textil. Fuente: Von Sperling, M. (2007)

Proceso	DQO DBO ₅	Sólidos Suspendidos	Aceites y Grasas	Fenoles	pH	Metales
Algodón	x				x	
Lana	x		x		x	
Sintético	x				x	
Tintura			x	x	x	x

3.3.3 Procesos de tratamiento de agua residual.

La información presentada acerca de los procesos de tratamiento de agua residual ha sido obtenida de la Guía técnica para la evaluación de impacto ambiental de Aguas Residuales, del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2019), la cual se describe a continuación:

Todo sistema de tratamiento de aguas residuales tiene dos líneas principales de tratamiento: una para las aguas residuales y otra para el tratamiento de los lodos que se forman durante el proceso de tratamiento de ese tipo de aguas especialmente en los sistemas primarios y secundarios.

Dentro de la línea de tratamiento de las aguas residuales, los sistemas se clasifican de la siguiente manera:

Pretratamiento: Este tipo de sistema cumple dos objetivos, la eliminación de sólidos gruesos, arenas y grasas y la protección de los equipos de bombeo y de las etapas de tratamiento posteriores. Este es un método de separación de sólidos de muy bajo costo y de fácil la operación y mantenimiento, su única dificultad radica en que se necesita un desnivel grande entre el punto de entrada y el punto de salida del residual. Entre los más usados se pueden mencionar las cámaras de rejillas, los desarenadores y las trampas de grasas.

Tratamiento Primario: Están constituidos por diferentes etapas secuenciales, que utilizan procesos físicos y/o químicos, tales como el cribado, la sedimentación (simple o con

químicos: coagulantes o polímeros), la filtración y la flotación. Debido a su naturaleza y desde el punto de vista de remoción de contaminantes, el tratamiento primario actúa, fundamentalmente, sobre los sólidos suspendidos y coloidales presentes en el agua residual, no así sobre los sólidos disueltos. Entre estos sistemas encontramos a las fosas sépticas, tanque séptico, tanque Imhoff, la sedimentación primaria y las trampas de grasas.

Tratamiento Secundario: Conocidos también como “tratamientos biológicos”, consisten en la estabilización de la materia orgánica contaminante, aún presente en el agua residual después del tratamiento primario, mediante la acción de una biomasa activa, especialmente bacterias. Se pueden mencionar el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), lagunaje, humedales artificiales, Filtros Intermittentes de Arena, Filtros de turba. Actúan a través de procesos de absorción biológica con reacciones bioquímicas catalizadas por enzimas que permiten utilizar los sólidos disueltos como fuente de energía, de tal manera que una vez aprovechados, son transformados en sólidos mineralizados o estabilizados. Por lo tanto, las bacterias se alimentan a través de su membrana citoplásmica, utilizando la fracción soluble (disuelta) de la materia orgánica.

De acuerdo con la forma en que utilizan el oxígeno para la realización de sus funciones metabólicas, las bacterias pueden ser aeróbicas, anaeróbicas y facultativas; las tecnologías de tratamiento secundario reciben su nombre en función del tipo de bacterias presentes en el proceso biológico.

Tratamiento Terciario: Son tratamientos de pulimento para eliminar de los efluentes determinadas sustancias por requerimientos de vertido. Incluyen:

- Procesos de oxidación y de reducción (destrucción o transformación de materia orgánica y compuestos inorgánicos oxidables).
- Procesos de precipitación química: eliminación de metales y aniones inorgánicos.
- Arrastre con aire o vapor (stripping): eliminación de compuestos volátiles.
- Procesos de membrana (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis, etc.).
- Procesos de intercambio iónico: eliminación de especies disueltas y coloides en su caso.

- Procesos de adsorción con carbón activo: eliminación de compuestos orgánicos.
- Procesos de eliminación de nutrientes, tales como las lagunas de maduración (también contribuyen a la remoción de organismos patógenos) y los procesos de nitrificación de nitrificación.

Desinfección: Se utiliza para eliminar los organismos patógenos. El método más usado es el de la cloración, aunque se pueden emplear también la radiación ultravioleta y la ozonización.

3.4 LODOS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL

3.4.1 Generalidades de los lodos

Definición de lodos residuales:

Los lodos residuales son subproductos sólidos que se generan en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Estos lodos pueden contener una mezcla de materia orgánica, materia inorgánica, microorganismos y contaminantes provenientes de las aguas residuales que se están tratando.

Clasificación de los lodos por su origen:

Los lodos residuales se clasifican generalmente en dos categorías principales:

Lodos Convencionales (Ordinarios): Resultan de procesos de tratamiento de aguas residuales municipales y pueden ser tratados para su disposición o reutilización.

Lodos Especiales (*peligrosos y no peligrosos.*): Incluyen lodos que contienen contaminantes específicos que requieren un tratamiento o disposición especial. Estos lodos suelen derivarse de industrias específicas, como la minería, la industria química o la manufactura.

Lodos residuales de tipo especial:

Características de los lodos de tipo especial: Los lodos residuales de tipo especial se caracterizan por:

Contenido de contaminantes: Pueden contener metales pesados, compuestos químicos peligrosos, o materiales tóxicos. Ejemplos incluyen lodos provenientes de procesos industriales, tratamiento de efluentes químicos, o sitios contaminados.

Tratamiento especializado: Requieren procesos de tratamiento específicos para reducir su peligrosidad y volumen antes de la disposición final.

Normativas y regulaciones del MARN: El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador establece normativas y directrices para la gestión de lodos residuales, incluyendo los de tipo especial. Según la normativa del MARN, los lodos especiales deben ser manejados conforme a los siguientes aspectos:

Reglamento para la gestión de residuos: Según el Reglamento de Gestión de Residuos del MARN, los lodos que contienen sustancias peligrosas deben ser gestionados de manera que minimicen los riesgos para la salud humana y el medio ambiente (MARN, Reglamento de Gestión de Residuos, 2021).

Plan de manejo de residuos: Las empresas que generan lodos de tipo especial deben elaborar un plan de manejo que detalle el tratamiento, almacenamiento y disposición final de estos residuos (MARN, Directrices de Manejo de Residuos, 2021).

Tratamiento y Disposición: Los lodos especiales deben ser sometidos a tratamientos específicos, como la estabilización química, el secado o la incineración, antes de su disposición final en sitios autorizados (MARN, 2021).

Ejemplos de lodos especiales:

Lodos de Plomo: Generados en procesos de galvanización o minería, requieren tratamiento para eliminar plomo y otros metales pesados.

Lodos con Solventes Orgánicos: Proviene de la industria química y contienen solventes orgánicos que necesitan tratamiento para su destrucción o recuperación.

Lodos Radiactivos: Generados en industrias que manejan materiales radiactivos, requieren medidas de seguridad adicionales para su manejo y disposición (MARN, 2021).

3.4.2 Clasificación de los lodos (MARN)

Clasificación de lodos por su origen:

Por su origen los lodos se clasifican en dos tipos: Tipo Ordinario o Tipo Especial (Peligrosos y No Peligrosos); tal como se establece en las Tablas 1, 2 y 3; es de aclarar que los lodos

provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales en los que existe mezcla de aguas residuales de tipo ordinario y especial serán clasificados como lodos de tipo especial.

Tabla 4. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Ordinario. Fuente: (MARN, Guía técnica de evaluación de impacto ambiental de aguas residuales, s.f.)

Grupo o Sector	Descripción
Domiciliar de plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario.	Lodos provenientes de aguas de tratamiento de tipo ordinario que no presenten mezclas de aguas especiales.
Domiciliar y/o Comercial removidos de sistemas de almacenamiento de excretas y aguas residuales de tipo ordinario.	Lodos removidos de pozos, cisternas, tanques sépticos, sanitarios portátiles y aparatos marinos sanitarios o cualquier sistema similar que recibe solo excretas y aguas residuales de tipo ordinarios.

Tabla 5. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Especial No Peligroso. Fuente: (MARN, Guía técnica de evaluación de impacto ambiental de aguas residuales, s.f.)

Grupo o Sector	Descripción
Actividades agroindustriales.	Lodos provenientes de aguas de tratamiento de tipo ordinario que presentan mezclas de aguas especiales.
Actividades industriales varias.	Lodos provenientes de sistemas de tratamientos de aguas residuales de tipo especial o de procesos, cuyos parámetros cumplen con los límites máximos o son menores a los establecidos, y no tienen características de peligrosidad.

Tabla 6. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Especial Peligroso. Fuente: (MARN, Guía técnica de evaluación de impacto ambiental de aguas residuales, s.f.)

Grupo o sector	Descripción
Extracción metálica y no metálica, manufacturas y galvanoplastia	
Minería metálica y no metálica.	Lodos y polvos provenientes de cortes de suelo de minería metálica y no metálica. Lodos y polvos provenientes del lavado de materias primas, en las diferentes etapas de los procesos y donde se empleen sustancias químicas para su conversión y su acabado.
Fundición primaria y secundaria de metales y metaloides.	Lodos de las soluciones de cal del lavador de gases en la fundición y refinado. Lodos y polvos de equipos de control de emisiones hornos y calderas. Escorias, cenizas y otros subproductos provenientes de la fundición.
Centros de distribución ferretera.	Lodos provenientes de sistemas de aguas residuales de tipo especial de ferreterías, generadas por actividades de mezclado de pinturas y cualquier actividad que involucre manejo de sustancias químicas que generen aguas residuales de tipo especial.
Perforación de Pozos	
Perforaciones de pozos.	Lodos provenientes de las actividades de exploración, explotaciones energéticas, minera.
Fabricación y Ensamblajes de Componentes electrónicos.	
Operaciones de maquila, químicas /electroquímica y revestimiento de componentes electrónicos.	Lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales de las operaciones.

Tabla 6. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Especial Peligroso. Fuente: (MARN, Guía técnica de evaluación de impacto ambiental de aguas residuales, s.f.) Continuación.

Grupo o sector	Descripción
Explosivos	
Producción en general.	Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, de destilerías, tanques de almacenamiento materiales inflamables o de hidrocarburos.
Productos de las Industrias químicas	
Materiales plásticos y resinas sintéticas	
Producción de fibra de rayón, producción de látex estireno butadieno, producción de resinas acrilonitrilo butadieno estireno, producción de resinas derivadas del fenol, del poliéster, del poliuretano y de silicón.	Lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales. Lodos de las aguas residuales de los sistemas de lavado de emisiones atmosféricas.
Producción de resinas vinílicas	Lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales.
Petróleo y petroquímica	
Refinería, almacenamiento y distribución de hidrocarburos.	Lodos de los separadores de grasas y aceites de las aguas residuales de refinerías, de plantas de tratamiento y lodos generados en el fondo del tanque del almacenamiento y sus sistemas de distribución.
Aguas de Sentina y Lastres.	Lodos de Sentina y Lastres producidos por buques, barcos, lanchas, entre otros. Lodos oleosos que requieren gestiones especiales para su descarga en puertos y posterior tratamiento en instalaciones en tierra (Transferencia de barcos a puertos), regidos por el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por Buques 73/78 (MARPOL).

Tabla 6. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Especial Peligroso. Fuente: (MARN, Guía técnica de evaluación de impacto ambiental de aguas residuales, s.f.) Continuación.

Grupo o sector	Descripción
Pinturas y productos relacionados	
Producción de pinturas.	Lodos de las plantas de tratamiento de la producción de pinturas base / agua y base / solvente.
Producción de masilla y productos derivados.	Lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
Plaguicidas	
Producción de Clordano, Cerosota, 2, D Diclorofenol, Disulfotón, Forato, Toxafeno.	Lodos de tratamiento de aguas residuales.
Preservación de la madera	
Producción en general.	Lodos de tratamiento de agua en procesos que utilizan Crotosa, Clorofenol, Pentaclorofeno y Arsenicales.
Producción de baterías	
Producción en general.	Lodos del tratamiento de aguas residuales en la producción de baterías de plomo/ácido, níquel / cadmio.
Química Farmacéutica	
Producción de productos veterinarios de compuestos de arsénico u órgano Arsenicales.	Lodos de tratamiento de aguas residuales.
Química inorgánica	
Producción de ácido fluorhídrico, de cloro (proceso de celdas de mercurio).	Lodos de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 6. Clasificación de lodos por su origen: Tipo Especial Peligroso. Fuente: (MARN, Guía técnica de evaluación de impacto ambiental de aguas residuales, s.f.) Continuación.

Grupo o sector	Descripción
Producción de pigmentos de cromo y derivados.	Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos naranja, verde y amarillo de cromo, o bien, pigmentos verdes de óxido de cromo (anhidridos e hidratos).
Producción de otros pigmentos inorgánicos.	Lodos del tratamiento de aguas residuales de la producción de pigmentos naranja de molibdato, amarillo de zinc, azules de hierro.
Producción de fertilizantes.	Escorias, cenizas o cachazas.
Textiles	
Producción en general.	Lodos del tratamiento de aguas residuales.
Sistemas de acueducto, alcantarillado e irrigación	
Abastecimiento de agua potable conducción de aguas residuales.	Lodos provenientes de plantas potabilizadoras. Lodos de alcantarillado sanitarios acumulados en las redes del sistema.
Sistemas de riego y drenaje.	Lodos provenientes de sistemas de riego (canales y ductos de irrigación).
Hospitales	
Actividades Hospitalarias, Veterinarias, Laboratorios Clínicos y conexos.	Lodos removidos de pozos, cisternas, tanques, sépticos, sanitarios portátiles y aparatos marinos, sanitarios o cualquier sistema similar que recibe solo excretas y aguas residuales de tipo ordinarios.
Otras actividades, obras o proyectos contemplados en el Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos	

3.4.3 Tratamiento de lodos y deshidratación

Tratamientos Comunes: Los métodos de tratamiento de lodos incluyen:

- **Digestión Anaeróbica:** Utiliza microorganismos para descomponer la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y reduciendo el volumen de lodo.
- **Deshidratación:** Elimina el contenido de agua de los lodos, utilizando centrifugadoras o filtros prensa para reducir el volumen y facilitar el manejo.
- **Estabilización:** Involucra procesos químicos o biológicos para reducir la peligrosidad de los lodos y estabilizar sus componentes.

Disposición Final: La disposición final de los lodos puede incluir:

- **Rellenos Sanitarios:** Para lodos que no contienen sustancias peligrosas o que han sido adecuadamente tratados.
- **Incineración:** Para lodos con altos niveles de contaminantes que requieren destrucción total.
- **Uso en Construcción:** Lodos tratados que cumplen con normativas específicas pueden ser utilizados en aplicaciones como materiales de construcción (MARN, 2021).

Los objetivos del tratamiento de lodos están dirigidos a lograr su estabilización para garantizar una degradación controlada de las sustancias orgánicas que contienen, y eliminar el olor, disminuir el volumen e inactivar organismos patogénicos para su posible utilización posterior o disposición final. (MARN, 2019). La Figura 1 muestra alternativas tecnológicas del tratamiento de lodos.

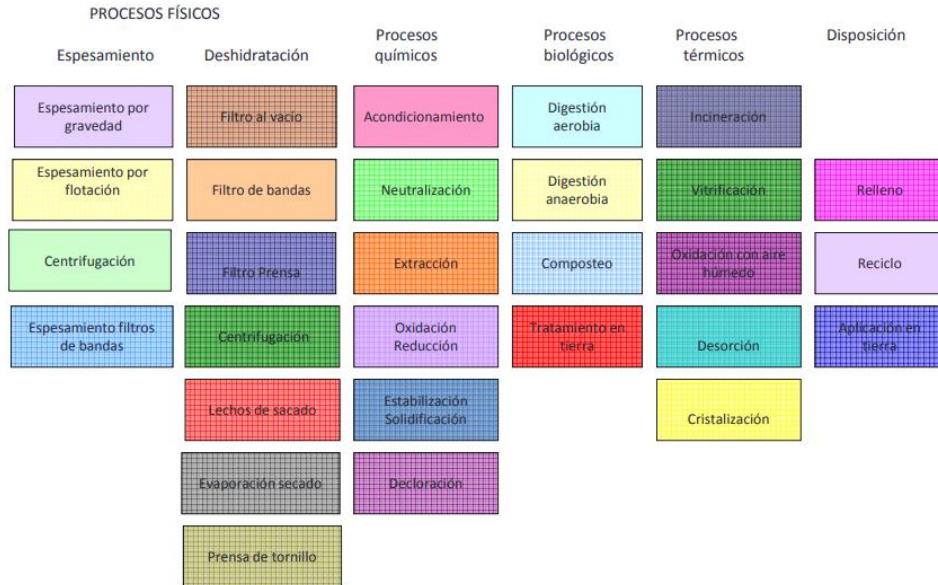


Figura 1. Alternativas tecnológicas del tratamiento de lodos. Fuente: Mantilla, 2016.

3.5 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN DE LODOS

Los métodos de deshidratación de lodos se utilizan para reducir el volumen de los lodos, tratando de obtener un material semisólido más fácil de manejar en sus posteriores usos.

3.5.1 Métodos físicos

Metcalf & Eddy (1995) describen los dispositivos de deshidratación, estos utilizan varias técnicas para la eliminación de la humedad. Algunas, se basan en la evaporación y percolación naturales, mientras que los aparatos de deshidratación mecánica utilizan medios físicos, asistidos mecánicamente, para acelerar el proceso. Los procesos de deshidratación disponibles incluyen los filtros de vacío, las centrifugas, los filtros prensa, los filtros banda horizontales, las eras de secado y el lagunaje, a continuación, se describen dichos procesos:

Filtración al vacío

El método emplea un tambor rotativo que se encuentra parcialmente sumergido en una cuba, cubierto con un medio filtrante que, mediante la aplicación de vacío, permite separar el líquido del sólido en tres fases: la formación de la torta, la deshidratación y la descarga.

El funcionamiento y rendimiento de un sistema de filtración al vacío generalmente involucra bombas para la alimentación del lodo, equipos para la dosificación de reactivos, un tanque

para el acondicionamiento del lodo, un filtro de tambor, una tolva o cinta para transportar la torta de lodo, un sistema de vacío y un sistema para evacuar el líquido filtrado.

Filtros de banda

Los filtros banda son sistemas continuos de deshidratación de lodos que incluyen acondicionamiento químico, drenaje por gravedad y presión mecánica. El proceso comienza con el lodo acondicionado pasando por una zona de drenaje por gravedad para eliminar el agua libre. Luego, es comprimido entre dos bandas porosas en una zona de baja presión, y en algunos casos, también en una de alta presión con rodillos para extraer más agua. Finalmente, la torta de lodo deshidratado se separa de las bandas mediante raspadores.

Filtros prensa.

En los filtros prensa, la deshidratación se realiza mediante la aplicación de alta presión para expulsar el agua del lodo. Entre sus ventajas se encuentran la obtención de tortas con alta concentración de sólidos, un filtrado muy claro y una elevada retención de sólidos. Sin embargo, también presentan desventajas, como su complejidad mecánica, el alto costo de los reactivos, la necesidad de mano de obra intensiva y la limitada durabilidad de las telas filtrantes. Para la deshidratación de lodos, se utilizan principalmente dos tipos de filtros prensa: los de placas de volumen fijo y los de volumen variable.

Centrifugación

El proceso de centrifugación es ampliamente usado en la industria para separar líquidos de diferentes densidades, este método también se aplica a la deshidratación de lodos provenientes de aguas residuales. Las centrifugas mayormente utilizadas suelen ser las centrifugas de tambor sólido y de cesta.

Lechos de secado

Suelen emplearse principalmente para deshidratar lodos digeridos. Una vez seco, el lodo se retira y se envía a vertederos controlados o se utiliza como mejorador del suelo. Las principales ventajas de las eras de secado son su bajo costo, su reducido mantenimiento y el

alto contenido de sólidos en el producto final. Existen cuatro tipos de eras de secado: convencionales de arena, pavimentadas, con medio artificial y por vacío.

3.5.2 Métodos térmicos

Incineración:

La incineración es un proceso térmico en el cual los lodos son quemados a altas temperaturas, típicamente entre 800 y 1,200°C. Este proceso no solo reduce significativamente el volumen de los lodos, sino que también destruye la materia orgánica y los patógenos presentes. Según el libro *"Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery"* de Metcalf & Eddy (2014), la incineración se realiza en hornos especializados, como los hornos de lecho fluido y los hornos rotatorios, que permiten un control preciso de la temperatura y la combustión.

Ventajas:

- **Reducción de Volumen:** Disminuye el volumen de lodo en un 90-95%, facilitando su manejo.
- **Destrucción de Contaminantes:** El proceso destruye efectivamente la materia orgánica y los patógenos.
- **Recuperación de Energía:** La energía generada durante la incineración puede ser recuperada para calefacción o generación de electricidad.

Desventajas:

- **Costos Operativos Elevados:** Los costos de operación y mantenimiento son altos debido a la energía requerida y el mantenimiento del equipo.
- **Emisiones:** Genera emisiones gaseosas que deben ser tratadas para cumplir con las normativas ambientales.

Pirólisis:

La pirólisis es una técnica de descomposición térmica que ocurre en ausencia de oxígeno, a temperaturas entre 400 y 800°C. Este proceso convierte los lodos en productos sólidos (carbón activado), líquidos y gaseosos. En *"Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion"* (Bridgwater, 2019), se describe que la pirólisis es efectiva para manejar lodos con altos niveles de metales pesados y compuestos orgánicos complejos.

Ventajas:

- **Producción de Productos Valiosos:** Genera carbón activado y productos químicos que pueden ser reutilizados.
- **Reducción de Contaminantes:** Disminuye el contenido de contaminantes y metales pesados.

Desventajas:

- **Complejidad Operativa:** Requiere un control preciso de las condiciones del proceso.
- **Costo Inicial Alto:** La inversión inicial en tecnología y equipo es considerable.

3.5.3 Métodos avanzados

Centrifugación

La centrifugación utiliza la fuerza centrífuga para separar el agua de los sólidos en los lodos. Según *"Water and Wastewater Technology"* de Hammer & Hammer (2008), las centrifugadoras de decantación son capaces de reducir el contenido de agua en los lodos a menos del 20% de humedad, ofreciendo una alta eficiencia en el proceso de deshidratación.

Ventajas:

- **Alta Eficiencia:** Logra una reducción significativa en el contenido de agua en un corto período.
- **Requiere Menos Espacio:** El equipo es compacto en comparación con otros métodos de deshidratación.

Desventajas:

- **Costos Operativos:** Los costos operativos son altos debido a la energía necesaria para la centrifugación.
- **Mantenimiento:** El equipo requiere un mantenimiento regular para evitar fallos mecánicos.
- **Prensado de Filtros:** El prensado de filtros es un método que utiliza alta presión para extraer el agua de los lodos. Según *"Principles of Water Treatment"* de Edzwald

(2011), los filtros prensa pueden reducir el contenido de humedad de los lodos a menos del 30%, produciendo un residuo sólido manejable.

Ventajas:

- **Costo Moderado:** Los costos operativos son generalmente más bajos en comparación con la centrifugación.
- **Versatilidad:** Eficaz para una variedad de tipos de lodos.

Desventajas:

- **Requiere Espacio:** El equipo requiere un espacio significativo para su instalación.
- **Mantenimiento Recurrente:** Necesita mantenimiento regular para asegurar el rendimiento óptimo.
- **Secado Solar:** El secado solar utiliza la radiación solar para evaporar el agua de los lodos. En "*Handbook of Industrial Water Treatment*" (Williams, 2018), se describe que el secado solar es una opción económica en regiones con alta radiación solar, aunque su eficiencia depende del clima.

Ventajas:

- **Eficiencia Energética:** Utiliza una fuente de energía renovable, lo que reduce los costos energéticos.
- **Bajo Costo Operativo:** Los costos operativos son bajos una vez instalado el sistema.

Desventajas:

- **Dependencia Climática:** Su eficiencia puede verse afectada en climas nublados o fríos.
- **Tiempo de Secado:** El proceso puede ser lento, especialmente para grandes volúmenes de lodo.

3.5.4 Espesado

El espesamiento consiste en aumentar la concentración de sólidos en los lodos, reduciendo así, el volumen de lodo mediante la eliminación de agua libre. El objetivo principal es que

los procesos posteriores tengan una mejor eficacia y una optimización económica. (American Water Chemicals, Inc., 2024).

Existen distintos tipos de espesamiento:

Espesado por gravedad: Este proceso implica la concentración de lodos delgados a lodos más densos en tanques circulares especiales diseñados para este propósito. Su uso se limita en gran medida al exceso de lodo acuoso del proceso de lodo activado. También se puede utilizar para concentrar lodos en tanques primarios o una mezcla de lodo primario y lodos activados en exceso antes de la digestión a alta velocidad.

Espesado por flotación: El objetivo de la flotación es unir una burbuja de aire diminuta a los sólidos suspendidos y hacer que los sólidos se separen del agua en dirección ascendente. Esto se debe al hecho de que las partículas sólidas tienen una gravedad específica más baja que el agua cuando se adhiere la burbuja.

La flotación por aire disuelto depende de la formación de burbujas de pequeño diámetro que resultan del aire liberado de la solución después de ser presurizada a 40 a 60 psi. Dado que la solubilidad del aire aumenta con la presión, se pueden disolver cantidades sustanciales de aire.

Espesado centrífugo: Se ha demostrado que la centrifugación es capaz de espesar una variedad de lodos de aguas residuales. Las centrífugas son una unidad compacta, simple, flexible e independiente. Tienen las desventajas de altos costos de capital, mantenimiento y energía y, a menudo, una baja eficiencia de captura de sólidos si no se utilizan productos químicos para los lodos biológicos.

El espesado centrífugo es la aceleración de la sedimentación mediante el uso de fuerza centrífuga. Las centrífugas se utilizan comúnmente para espesar lodo activado residual. Normalmente, el lodo primario no se alimenta a la centrifugadora, ya que puede contener material abrasivo. Además de ser eficaces para espesar, tienen la ventaja adicional de que requieren menos espacio, menos olor potencial y requisitos de limpieza.

3.6 ESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES

La estabilización se realiza para reducir el potencial de descomposición de los lodos y, en consecuencia, el mal olor, la presencia de patógenos, y la generación de gases como el metano. El objetivo es hacer el lodo más seguro y estable antes de su disposición final. La supervivencia de microorganismos patógenos y la proliferación de olores en el lodo se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción orgánica del mismo. Los medios de estabilización más eficaces para eliminar el desarrollo de estas condiciones son: (Condorchem Envitech, 2024)

Estabilización biológica

- **Estabilización aeróbica:** Proceso en el que, por acción microbiológica, se oxida la materia orgánica, mediante un aporte de oxígeno en los digestores abiertos. De este modo se reduce la masa final del lodo, modificándolo para adecuarlo a procesos posteriores.
Se emplea como tratamiento secundario de una EDAR sin tratamiento primario. También puede emplearse para lodos mixtos con un aporte más elevado de oxígeno.
- **Estabilización aeróbica termófila:** Se trata de una digestión aeróbica autotérmica termófila desarrollada para conseguir cumplir las regulaciones cada vez más estrictas. Se basa en la conservación de la energía térmica generada en la digestión aeróbica de la materia orgánica de los lodos, para alcanzar y mantener temperaturas termófilas (50-70 °C).
- **Compostaje:** Se trata de un proceso de descomposición biológica y estabilización de materia orgánica en condiciones controladas y aeróbicas, desarrollando temperaturas termófilas, producto del calor generado biológicamente. El resultado es un producto estable y libre de patógenos. La materia orgánica se descompone en CO₂, agua, minerales y materia orgánica estabilizada. Se puede llevar a cabo solo con lodos o mezclándolos con agentes estructurantes que faciliten las condiciones aeróbicas.
- **Estabilización anaeróbica:** Es uno de los métodos más comunes para la estabilización de lodos. Consiste en la degradación de la MO, por la acción de en ausencia de oxígeno, liberando energía, metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), gracias a la acción de algunos tipos de bacterias.

Se produce en 4 etapas: Hidrólisis, Acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Estos sistemas se clasifican en: baja carga, alta carga, contacto anaeróbico y con separación de gases.

Estabilización química

- **Estabilización con cal:** El producto aplicado mayoritariamente es la cal. Se añade al lodo a la dosis adecuada para mantener el pH a 12 durante el tiempo suficiente (mínimo 2 h) para eliminar o reducir los microorganismos patógenos y los responsables de los olores.

3.7 RELACIÓN AMBIENTAL

3.7.1 Marco legal vigente en materia ambiental en El Salvador

Para la aplicación del marco legal vigente en materia ambiental en El Salvador al proyecto de investigación, se implementarán los siguientes reglamentos y lineamientos establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

REGLAMENTO ESPECIAL DE AGUAS RESIDUALES Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES.

La planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de la empresa textil en cuestión genera lodos residuales de tipo especial, por lo tanto, se aplica el referido reglamento, según lo detalla el Art 2.

“Art. 2.- Las disposiciones del presente Reglamento serán aplicables en todo el territorio nacional a las personas naturales o jurídicas, que por sus actividades generen, gestionen o viertan aguas residuales a un medio receptor o realicen disposición de lodos.”

El Art 15 detalla las responsabilidades del titular generador de lodos, entre ellas se destaca el literal e) en nuestro proyecto, ya que se pretende implementar una etapa de secado con el fin de reducir el % de humedad del lodo residual

“Art. 15.- El titular de una actividad relacionada con la generación de lodos, debe cumplir además de las responsabilidades establecidas en el permiso ambiental o resolución correspondiente, con las siguientes:

- a) Contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales que incluyan la infraestructura para el manejo seguro de lodos;
- b) Caracterizar los lodos de conformidad a lo establecido en el Reglamento Técnico Salvadoreño. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales;
- c) En coordinación con el titular gestor autorizado realizar los análisis y estudios relacionados a la gestión de lodos producidos en sus sistemas de tratamiento: de aguas residuales de tipo ordinario o especial, potabilizadoras, de redes de alcantarillado, entre otros;
- d) Utilizar los servicios de gestores autorizados por el MARN para recolectar, caracterizar, aprovechar, transportar, eliminar a través de diferentes procesos, coprocesar, disponer y confinar los lodos adecuadamente;
- e) Buscar alternativas para disminuir la cantidad y volumen de lodos generados, así como implementar tecnologías apropiadas para la recuperación de materia energética y de la fracción metálica suspendida en los mismos, a fin de reducir riesgos de contaminación y fomentar su posible aprovechamiento;
- f) Contar con un programa de monitoreo que incluya: la forma y frecuencia de desazolve de los sistemas de tratamiento utilizados, el tratamiento previsto, el almacenamiento o envasado, el transporte, la frecuencia y el sitio de disposición final;
- g) Realizar el perfil inicial;
- h) Cumplir con las regulaciones de prevención de riesgo correspondiente y vigente;
- i) Entregar al titular gestor, la cadena de custodia de lodos según lo sugerido en el Anexo D del Reglamento Técnico Salvadoreño. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales;
- j) Operar y dar mantenimiento a los sistemas de tratamiento y alcantarillado sanitario, bajo su responsabilidad a fin de asegurar su buen funcionamiento;
- k) Presentar los informes operacionales, conforme lo establece el Reglamento Técnico Salvadoreño. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales;
- l) Otras que determine la normativa aplicable.”

“Art 18.- Todo titular gestor o generador de lodos está obligado a caracterizar los lodos previos a su reusó, coprocesamiento o disposición, para la cual llevará los registros correspondientes y deberá garantizar la cadena de custodia de los mismos, todos estos documentos deberán ser incorporado en el Informe Operativo Anual, que será presentado al Ministerio. La caracterización antes relacionada incluirá los análisis siguientes:

- a) Microbiológica;
- b) Fisicoquímica; y
- c) De peligrosidad.”

Los lodos deberán ser caracterizados al menos una vez al año siempre y cuando el titular compruebe que no existe cambios en sus materias primas o proceso de producción generadores de lodos. En caso de que existan cambios en sus materias primas o proceso de producción generadores de lodos, se requerirá una nueva caracterización de los lodos.

Art. 19.- Los parámetros a considerar para la caracterización microbiológica de lodos de tipo ordinario y especial son los siguientes:

- a) Salmonella spp.
- b) Huevos de helmintos y vermiformes viables (Ova helmíntica y vermiformes.
- c) Coliformes fecales.

Los límites permisibles de estos parámetros serán establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño. Parámetros de Calidad de Aguas Residuales para Descarga y Manejo de Lodos Residuales.

Art. 21.- Los parámetros a considerar para la caracterización fisicoquímica de lodos de tipo especial son los siguientes:

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. Humedad; | 6. Compuestos Fenólicos sintéticos |
| 2. Densidad; | 7. Sodio; |
| 3. pH; | 8. Nitrógeno; |
| 4. Potencial calórico | 9. Fosforo; |
| 5. Porcentaje SV/ST (Solidos volátiles/Solidos totales) | 10. Hierro; |
| | 11. Manganeso; |

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| 12. Arsénico; | 20. Molibdeno; |
| 13. Aluminio; | 21. Níquel; |
| 14. Bario; | 22. Plomo; |
| 15. Cadmio | 23. Selenio; y |
| 16. Cobre (Cu); | 24. Cinc. |
| 17. Cromo total | 25. Manganeseo |
| 18. Cromo Hexavalente (Cr+6); | 26. Hierro total |
| 19. Mercurio; | |

Art. 33.- El titular de la actividad no podrá realizar lo siguiente:

- a) Verter aguas residuales o lodos a cuerpo receptor sin cumplir con las disposiciones del presente Reglamento y demás legislación vigente que compete;
- c) Disponer lodos en ríos, lagos, lagunas, represas, embalses, cauces, esteros, marismas, manglar, pantanos, zona costero-marina, y cualquier otro medio; sin previa evaluación ambiental;
- d) Disponer lodos en sistema de alcantarillado.

**REGLAMENTO TECNICO SALVADOREÑO: AGUAS RESIDUALES.
PARAMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y
MANEJO DE LODOS RESIDUALES. RTS 13.05.01:24**

El Reglamento Técnico Salvadoreño complementa y proporciona los límites permisibles de los parámetros solicitados en el Reglamento Especial de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales.

5.8. Manejo y caracterización de lodos residuales

5.8.1. El titular generador y gestor de lodos residuales deberá cumplir con las disposiciones establecidas en los Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, en su versión vigente.

5.8.2. Los lodos deben caracterizarse a fin de orientar los tratamientos de estabilización, aprovechamiento, coprocesamiento, disposición final y confinamiento, para realizar las

actividades antes señaladas, se debe tomar en cuenta la información sobre todos los lodos generados, identificación de usos o coprocesamiento (de ser aplicable) y del sitio de disposición o confinamiento.

Las caracterizaciones a las que se refiere son las siguientes:

- a) Microbiológica;
- b) Físicoquímica.

5.8.2.1 Caracterización microbiológica de lodos de tipo ordinario y especial de sistemas de aguas residuales de plantas de tratamiento sector agropecuario, servicios hospitalarios, clínicas médicas, laboratorios clínicos y otros centros de atención en salud humana y animal.

Los parámetros por considerar para la caracterización microbiológica de lodos de tipo ordinario y especial del sector agropecuario y agroindustrial están orientados a la reducción del potencial de atracción de vectores, presencia de patógenos, protección de la salud de las personas, el medio ambiente y las restricciones potenciales para su uso. Los análisis de carácter obligatorio son los determinados en la Tabla 5 de este RTS.

Tabla 7. Parámetros microbiológicos. Fuente: RTS 13.05.01:24. MARN

Parámetro	Unidad	Valor *
fecales	NMP/g	Reportar
Salmonella spp	NMP/g	Reportar
Helmintos y vermiformes viables (Ova helmíntica y vermiformes)	Huevo/g	Reportar

*Verificar los valores establecidos en los Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales

Nota 3: los valores reportados para los parámetros microbiológicos condicionarán el destino que se podrá autorizar para un lodo en particular, cumpliendo con principios de prevención de la contaminación.

5.8.2.3. Caracterización físicoquímica de lodos especiales

5.8.2.3.1. La caracterización físicoquímica de los lodos de tipo especial, tales como los generados durante el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinaria que tengan mezcla de aguas residual de tipo especial, los provenientes de plantas potabilizadoras y los lodos de alcantarillado sanitario, requerirán una caracterización físicoquímica de los parámetros comunes establecidos en la Tabla 7., de este RTS.

5.8.2.3.2. Los titulares que utilicen materias primas que contengan sustancias peligrosas, realizarán los análisis de las mismas, según la Tabla 8., de este RTS y la naturaleza de su proceso de producción.

5.8.2.3.3. Si como resultado de al menos un periodo anual de monitoreo de sustancias peligrosas establecidas en la tabla 8 del presente RTS y su comparación con los valores de concentraciones de referencia de dichas sustancias, establecidos en los Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales se determinan como lodos de tipo especial “no peligrosos”, el titular quedará exonerado de realizar los análisis de forma anual, al presentar la declaración jurada expresando que no ha realizado cambios en la utilización de materias primas y la calidad de las mismas.

Sin embargo, el titular presentará análisis de dichas sustancias cada cinco años, a fin de mantener un monitoreo y control de las condiciones antes señaladas. Los parámetros mínimos para reportar se indican en la Tabla 8, de este RTS.

Tabla 8. Parámetros comunes de lodos especiales. Fuente: RTS 13.05.01:24. MARN.

Requerimiento de análisis	Unidad	Valor**
Humedad	%	Reportar
Densidad	kg/m ³	Reportar
Potencial calórico*	J/kJ	Reportar
pH	Unidades de pH	Reportar
Nitrógeno*	mg/kg	Reportar
Fosforo*	mg/kg	Reportar
Porcentaje SV/ST (Solidos volátiles/ Solidos totales)	%	Reportar

* Estos parámetros serán reportados a requerimiento del MARN.

**Verificar los valores establecidos en los Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales

Nota 4: los lodos residuales que se utilicen como material de cobertura en rellenos sanitarios deben tener una humedad menor o igual que 80 %.

6.4 Frecuencia de monitoreo para lodos residuales ordinarios y especiales

La frecuencia de monitoreo para los lodos residuales clasificados como ordinarios y especiales, estará condicionada a la masa que se genere por unidad de tiempo y debe realizarse tal como se detalla en la Tabla 12., de este RTS.

Tabla 9. Frecuencia de monitoreo de lodos residuales Fuente: RTS 13.05.01:24. MARN

Cantidad Anual (Tonelada métrica/ Año)	Lodos ordinarios	Lodos especiales
Hasta 1,500	1 vez/año	1 vez/año
1,500 hasta 15,000	2 vez/año	2 vez/año
Mayor de 15,000	3 vez/año	3 vez/año

LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES, OBRAS O PROYECTOS QUE COMPRENDAN EL MANEJO Y REÚSO DE LODOS PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Dicho lineamiento proporciona información complementaria, ya que tiene fundamento legal en los anteriores reglamentos mencionados.

3.7.2 Disposición final de lodos

Según la ley de gestión integral de residuos y fomento al reciclaje, en el artículo 34; “La disposición final y eliminación de los residuos debe realizarse en rellenos sanitarios, centros o instalaciones de valoración energética u otras instalaciones autorizadas por el MARN, mismas que deben contar con infraestructura y equipamiento acorde al tipo de residuo, cantidad y volumen, cumpliendo con las condiciones técnicas, ambientales, sanitarias y de seguridad durante su construcción, operación y cierre.

Conforme a la revisión bibliográfica en el sistema público en línea del MARN, se identificaron las siguientes empresas gestoras de residuos, en específico de lodos residuales son las siguientes:

- GEOCYCLE, EL SALVADOR, SA. DE C.V
- OPERADORA DE LA SIERRA, S.A. DE C.V.

- MIDES

De manera general el uso y destino de los lodos residuales dependerán de su tipo y calidad.

Tabla 10. Resumen de opciones válidas para disposición o reúso de lodos. (MARN, Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales., 2023)

TIPO DE LODO	CALIDAD	REUSO O DESPOSICION FINAL
Lodos Ordinarios	Excelente	Reúso en agricultura, compostaje o material de cobertura de rellenos sanitarios, según corresponda.
	Bueno	Aprovechamiento como material de compactación o de cobertura en rellenos sanitarios, entre otros: pero no podrán ser aplicados para fines agrícolas y/o en silvicultura.
	Eficiente	Operaciones de aprovechamiento energético coprocesamiento y otras alternativas técnicamente respaldadas, siempre que estos no incluyan materiales radioactivos, desechos biológicos, bioinfecciosos y/o explosivos.
Lodos Especiales	Excelente	Los mismos usos de calidad de lodos ordinarios excelente.
	Bueno	Los mismos usos de calidad de lodos ordinarios Buena.
	Deficiente	Determinación de caracterización fisicoquímica como desecho peligroso y si se determina peligroso, disposición final según lo establecido en Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos y el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación.
Lodos como Clasificados como Desechos Peligrosos	Deficiente	Disposición final según lo establecido en Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos y el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación.

3.7.3 Usos alternativos de lodos residuales

En el ámbito del tratamiento de aguas residuales, los lodos y biosólidos son subproductos que pueden ser aprovechados de diversas maneras. Aunque en muchas ocasiones se los ve como desechos, estos materiales tienen potencial para contribuir a la sostenibilidad.

Como se mencionó en la sección anterior, la disposición o reúso dependerá del tipo y calidad del lodo residual. Para el caso de los lodos ordinarios no importa su calidad, ya que este siempre se puede reusar de otra manera, para los lodos especiales se pueden reusar los que tengan una calidad excelente o buena.

Lodos ordinarios

Determinados de calidad excelente, podrán ser aprovechados en aplicaciones directas al suelo previa estabilización, para su uso en agricultura o como material de cobertura en áreas de uso público, tales como: parques, áreas verdes, canchas, entre otras, según corresponda. Otra opción de aprovechamiento de los lodos ordinarios estabilizados que se determinen de calidad excelente podrá implementar la alternativa de compostaje para su posterior uso como mejorador de suelo.

Determinados de calidad bueno, podrán ser aprovechados como material de compactación o de cobertura en rellenos sanitarios, entre otros, pero no podrán ser aplicados para fines agrícolas y/o en silvicultura.

Determinados de calidad deficiente podrán ingresar a operaciones de aprovechamiento energético o coprocesamiento, siempre que estos no incluyan materiales radioactivos, desechos biológicos, bioinfecciosos y/o explosivos. (MARN, Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales., 2023)

Lodos especiales

Los lodos especiales estabilizados que se determinen de calidad excelente y/o buena podrán disponerse según lo establecido para los lodos ordinarios de la misma calidad la única excepción es que no podrán ser aplicados para fines agrícolas y/o en silvicultura.

Los lodos especiales estabilizados que se determinen de calidad deficiente se procederán a determinar su caracterización fisicoquímica como desecho peligroso. (MARN, Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales., 2023)

Uso y Destino de Lodos Peligrosos

Los lodos peligrosos, deberán realizar tratamiento y disposición final de acuerdo con lo establecido en el capítulo VI del Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos y Anexo del Reglamento Especial sobre El Manejo Integral de los Desechos Sólidos. (MARN, Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales., 2023)

3.7.4 Adopción de tecnologías limpias y eficientes para la reducción del impacto ambiental

Según Smith, J. (2021) la industria textil, tradicionalmente conocida por su alto impacto ambiental, está en un proceso de transformación hacia prácticas más sostenibles mediante la adopción de tecnologías limpias y eficientes. Este cambio es impulsado por la necesidad de reducir el consumo de recursos, minimizar la contaminación y gestionar los desechos de manera más efectiva, a continuación de describen los aspectos considerados por el autor:

1. Reducción del Consumo de Agua: La industria textil ha comenzado a implementar tecnologías que permiten una significativa reducción del uso de agua. Entre estas tecnologías se incluyen sistemas avanzados de reciclaje de agua que permiten reutilizar el agua en varias etapas del proceso de producción, así como técnicas de teñido sin agua que utilizan CO₂ supercrítico en lugar de líquidos tradicionales.
2. Eficiencia Energética: Las tecnologías de eficiencia energética son cruciales para reducir el impacto ambiental de las operaciones textiles. La adopción de fuentes de energía renovable, como paneles solares y turbinas eólicas, así como la implementación de equipos de bajo consumo energético, contribuyen a una menor huella de carbono en la producción textil.

3. **Materiales Sostenibles y Reciclaje:** La industria está haciendo una transición hacia el uso de materiales sostenibles, como fibras recicladas y orgánicas. Además, las tecnologías de reciclaje textil, que incluyen procesos mecánicos y químicos para recuperar y reutilizar textiles usados, son cada vez más comunes.

4. **Reducción de Desechos:** Las innovaciones en la gestión de desechos textiles incluyen sistemas integrados para clasificar, reducir y reciclar residuos generados durante la producción. También se están desarrollando tecnologías de corte y confección más eficientes que minimizan el desperdicio de materiales.

5. **Transparencia y Trazabilidad:** Para mejorar la transparencia en la cadena de suministro, la industria está adoptando tecnologías como blockchain, que permiten rastrear el origen de los materiales y asegurar prácticas sostenibles a lo largo del proceso de producción.

Estas tecnologías no solo ayudan a reducir el impacto ambiental de la industria textil, sino que también ofrecen beneficios operativos, como la reducción de costos y la mejora en la eficiencia. La transición hacia prácticas más sostenibles es esencial para enfrentar los desafíos ambientales globales y fomentar una economía circular en el sector textil.

3.8 RELACIÓN ECONÓMICA

3.8.1 Estadísticas Generales sobre la Industria Textil en El Salvador Datos del BCR (Estadísticas)

Contribución al PIB

La industria textil es una parte significativa del Producto Interno Bruto (PIB) de El Salvador. Según los datos actualizados hasta el año 2014 del BCR, el sector textil y artículos confeccionados aportaron aproximadamente con un 5% del PIB nacional. Esta contribución ha mostrado cierta variabilidad en los últimos años debido a factores económicos globales y locales.

Empleo

La industria textil es una de las principales generadoras de empleo en El Salvador. El sector emplea a más de 100,000 personas, lo que representa alrededor del 8% (BCR, 2023) del

empleo total en el país. La mayoría de los empleados en esta industria son mujeres, lo que destaca la importancia del sector en la creación de empleo femenino.

Exportaciones

Las exportaciones textiles representan una porción importante del comercio exterior de El Salvador. En 2023, las exportaciones de textiles y prendas de vestir alcanzaron aproximadamente \$2.3 mil millones, constituyendo alrededor del 30% de las exportaciones totales del país. (BCR, 2023) Los principales destinos de exportación incluyen Estados Unidos y países de la región centroamericana.

Producción

La producción textil en El Salvador se ha mantenido relativamente estable en los últimos años, con un enfoque en productos de ropa y textiles para el mercado internacional. El valor de la producción textil en 2023 fue de aproximadamente \$3.1 mil millones (BCR, 2024). Esta cifra refleja una capacidad de producción robusta, aunque su crecimiento ha sido moderado en comparación con otros sectores.

Inversión y Modernización

El sector textil ha visto un aumento en la inversión en modernización y tecnología. Según el BCR, en 2023, la inversión en maquinaria y equipo textil ascendió a \$150 millones. Esta inversión está dirigida a mejorar la eficiencia y calidad de la producción.

Retos y Oportunidades

La industria textil en El Salvador enfrenta varios desafíos, incluidos el aumento de los costos de producción, la competencia global y la necesidad de adaptarse a nuevas normativas ambientales. Sin embargo, también presenta oportunidades, como el crecimiento en la demanda de textiles sostenibles y la posibilidad de diversificar los mercados de exportación.

Fuentes de Información

Para obtener datos precisos y actualizados sobre la industria textil en El Salvador, se recomienda consultar directamente los siguientes recursos:

- Banco Central de Reserva de El Salvador (BCR): Ofrece informes y estadísticas económicas detalladas.
- Informe Anual del BCR: Incluye datos económicos y estadísticas por sector, disponibles en la sección de publicaciones del sitio del BCR.
- Ministerio de Economía de El Salvador: Proporciona información sobre el sector industrial y su desempeño económico.

La industria textil en El Salvador sigue siendo un sector clave para la economía del país, tanto en términos de empleo como de exportaciones. A pesar de los desafíos, la industria ha mostrado estabilidad y continúa siendo una fuente importante de ingresos y oportunidades laborales. Las estadísticas recientes del BCR reflejan una industria en adaptación y modernización, con perspectivas de crecimiento moderado en los próximos años.

3.8.2 Datos del PIB

El Sistema de Cuentas Nacionales de El Salvador base 1990, constituye una ordenación coherente y detallada de las operaciones económicas nacionales, tratando de proporcionar una visión sistemática de la actividad económica, comprensible y comparable con el resto de los países del mundo.

Las Cuentas Nacionales de El Salvador, base 1990, han sido elaboradas mediante el análisis y la interpretación de las operaciones correspondientes al área real de la economía: producción, consumo e inversión (BCR, 2024).

El sector textil y confección generó 7% del Producto Interno Bruto (PIB) del país en el año 2010. Aproximadamente la contribución del subsector textil es del 5% y, en menor medida, las prendas de vestir con un 2%.

En el diagrama de líneas se observa que en comparación con los consiguientes años hay una caída marcada con los servicios industriales de maquila en el año 2014 para una posterior nivelación en el año 2016.

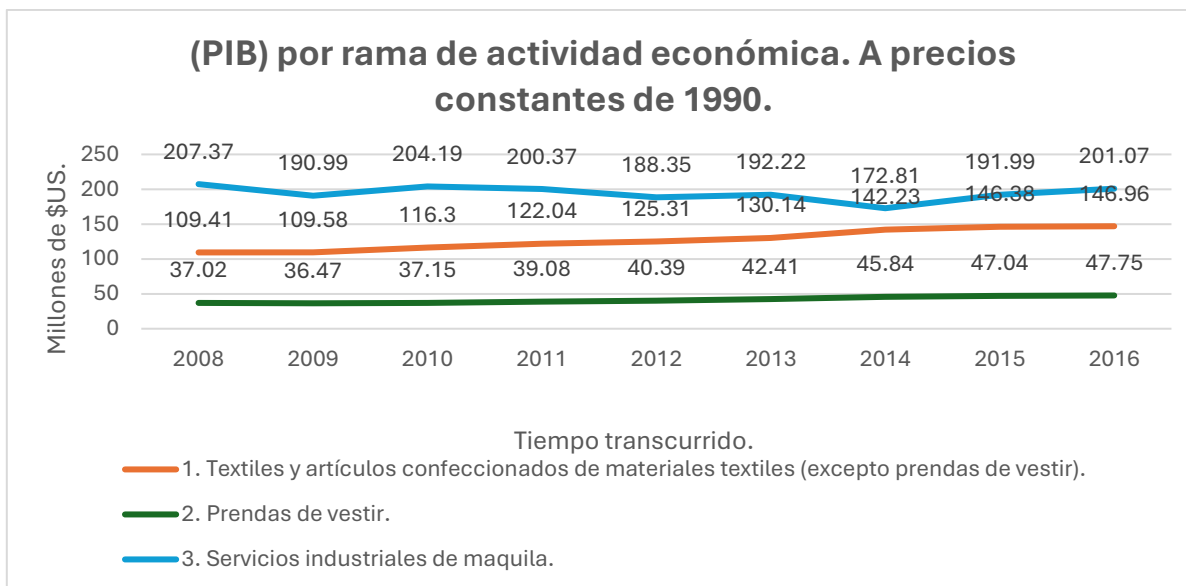


Figura 2. Diagrama de líneas (FLUJO) PIB por rama de actividad económica. Datos actualizados hasta 2016.
Fuente: BCR, 2024.

El siguiente Diagrama de Líneas con Tasa de Crecimiento Anual muestra cómo la tasa de crecimiento (PIB, datos del BCR hasta el 2014) ha cambiado a lo largo de los años, permitiendo una visión clara de su comportamiento temporal.

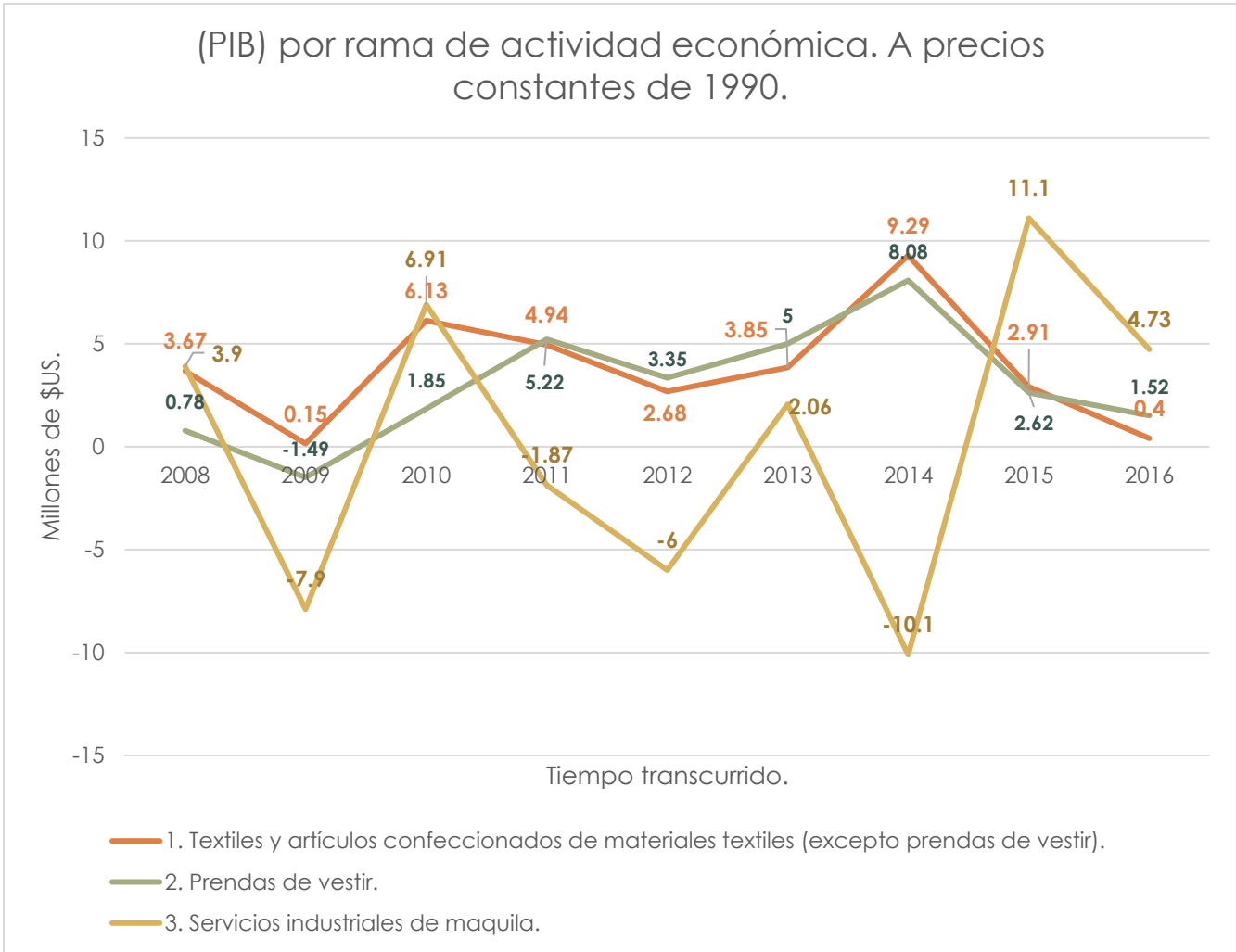


Figura 3. Diagrama de líneas (TASA DE CRECIMIENTO ANUAL) PIB por rama de actividad económica en cifras anuales calculado como la diferencia entre el valor de un año t y el año anterior $t-12$, dividido por $t-12$. Fuente: BCR, 2024.

3.8.3 Importaciones

El sector textil en El Salvador desempeña un papel fundamental en el comercio internacional, destacándose en la fabricación y exportación de ropa. En términos de importaciones, el país adquiere principalmente materias primas y productos intermedios como textiles, fibras sintéticas, hilos y telas, que provienen principalmente de países como Estados Unidos, México y China, estos insumos son esenciales para la industria manufacturera, que luego exporta productos terminados a mercados internacionales, especialmente a EE. UU. y otros países de la región. (BCR, 2024)



Figura 4. Importaciones según Clasificación Central de Productos en El Salvador en miles de US\$. Fuente: BCR, 2024.

3.8.4 Exportaciones

El Salvador exporta una variedad de productos textiles y confecciones, los principales productos que el país exporta en este sector según datos consultados en el Banco Central de Reserva (2024) son:

1. Prendas de vestir: Este es el segmento más destacado de las exportaciones textiles de El Salvador. Incluye una amplia gama de ropa, como camisetas, camisas, pantalones, vestidos, y ropa deportiva. La mayoría de estas prendas están destinadas a mercados en Estados Unidos y otros países de América Central.
2. Textiles para el hogar: Esto abarca productos como sábanas, toallas, manteles, cortinas y otros artículos de textil para el hogar.
3. Tejidos y tela: Aunque menos prominente en comparación con las prendas confeccionadas, también se exportan diversos tipos de tejidos y telas que pueden ser utilizados en la producción de ropa o en otros sectores.

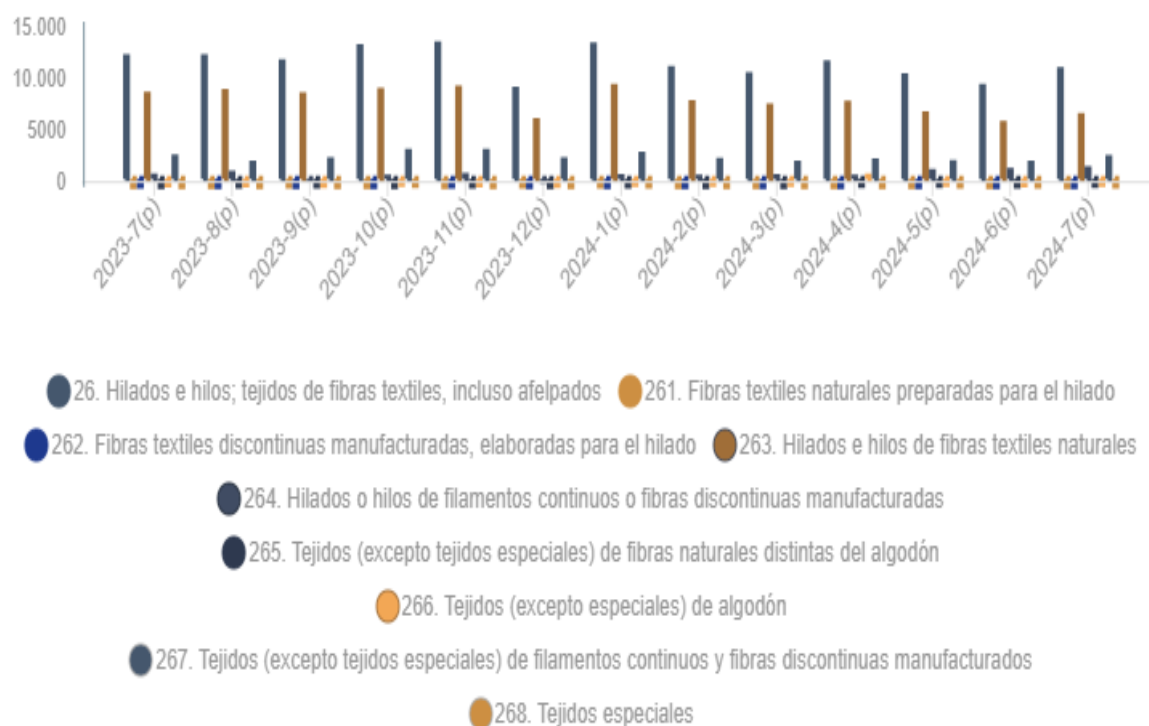


Figura 5. Exportaciones según Clasificación Central de Productos en El Salvador en miles de US\$. Fuente: BCR, 2024

3.9. RELACIÓN SOCIAL

3.9.1 La generación de empleos de la industria textil (Zonas Francas)

Respecto a la generación de empleo generado por cada subsector, según datos del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS) entre los años 2018 y 2022. Para el año 2023 el sector conjunto generaba más de 83,000 puestos laborales.

Evolución del empleo generado por el sector (2018-2019)

Tabla 11. Evolución del empleo generado por el sector (2018-2019) Fuente: (Pérez, 2023)

Año	Nº de empleados subsector textil	Nº empleados subsector confección	Total, del sector
2018	10,410	74,235	84,646
2019	10,658	72,178	82,836
2020	10,281	64,329	74,610
2021	10,418	68,684	79,102
2022	11,189	72,158	83,346

Principales empleadores

Actualmente existen más de 750 empresas de textiles y confección establecidas en el país. En el top de los principales empleadores del sector destaca, en el subsector textil, CENTRAL AMERICA SPINNING WORKS EL SALVADOR y el subsector confección, HANERSBRAND EL SALVADOR.

Tabla 12. Principales empleadores del subsector textil (2021) Fuente: (Pérez, 2023)

Nº	Empresa	Promedio de empleados
1	CENTRAL AMERICA SPINNING WORKS EL SALVADOR	1,634
2	TEXTUFIL SA DE CV	1,171
3	PETTENATI CENTROAMERICA SA DE CV	715
4	INDUSTRIAS UNIDAS SA	647
5	TEXTILES SAN ANDRES SA DE CV	615

3.9.2 Impacto en la comunidad

La información proporcionada en este apartado se obtuvo mediante las redes sociales de la empresa textil en estudio. La industria textil no solo desempeña un papel importante en la creación de prendas de vestir, sino que también tiene un compromiso en las comunidades adonde opera. La empresa ha sido un actor clave en el desarrollo local, ya que ha contribuido significativamente al bienestar de la comunidad, por medio de actividades, donaciones o apoyo en diversas situaciones.

Algunas de las actividades realizadas, son las siguientes:

- Entrega de trofeos a la alcaldía municipal de la Libertad Centro, en apoyo al evento deportivo local “Jóvenes liderando”, la empresa se encarga de fortalecer el deporte y sano esparcimiento de las comunidades de dicha municipalidad.
- Jornadas de donación de sangre, junto al banco de sangre del Instituto Salvadoreño del Seguro Social ISSS, se realizó la jornada de donación de sangre con el fin de crear conciencia y motivar sobre la importancia de convertirnos en donadores de sangre. Con esta actividad se logra establecer un suministro de sangre sostenible que permite atender las necesidades de transfusión.

3.9.3 Contribución al desarrollo económico de la región

La empresa ha sido un actor clave en el desarrollo local ofreciendo oportunidades de empleo y promoviendo el desarrollo económico sostenible, un gran porcentaje de los empleados son de zonas cercanas o aledañas a la ubicación de la empresa.

3.9.4 Salud y seguridad de los trabajadores

La empresa realiza diversas actividades con el fin de velar por la salud y seguridad de los empleados, además de todos los protocolos de seguridad establecidos y la respectiva asignación de equipo de protección personal (EPP) a los trabajadores, también se cuentan con capacitaciones a los empleados de parte de los bomberos, para especialización de temas de evacuación o que hacer ante situaciones de riesgo. De igual manera se cuentan con charlas sobre temas como el cáncer de mama, para que se deba de tener conciencia y autocuidado ante este tipo de enfermedades. Pero además de preocuparse de la salud y/o integridad física, también cuentan con programas de torneo de futbol, basquetbol y ping pong, debido a que ayuda a los trabajadores a distraerse y realizar actividades al aire libre, para un bienestar físico y mental.

3.9.5 Impacto de los residuos en relación con el saneamiento y a la población

La producción textil genera una variedad de residuos sólidos y líquidos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden tener consecuencias negativas en la comunidad local. Entre los principales riesgos se encuentran la contaminación de fuentes de agua y la acumulación de desechos que afectan el saneamiento básico. La descarga de productos químicos y tintes en los ríos y cuerpos de agua puede comprometer la salud pública al contaminar el agua potable y afectar la biodiversidad local, lo que a su vez repercute en la agricultura y la pesca. En respuesta a estos desafíos, la empresa se ha comprometido a implementar prácticas sostenibles, incluyendo la reducción de residuos, el tratamiento adecuado de aguas residuales y la adopción de procesos de reciclaje y reutilización de materiales. Estas acciones buscan minimizar el impacto ambiental y mejorar el bienestar de la población, contribuyendo a un entorno más saludable y seguro para las comunidades vecinas.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

En este apartado se describe el enfoque adoptado para el análisis de la mejora del tratamiento de los lodos residuales generados en el proceso productivo de la empresa textil. El estudio es de tipo exploratorio, pues, en primer momento se desconoce la calidad del lodo residual de tipo especial, también geográficamente se circunscribe el estudio a El Salvador en la dimensión temporal del último trimestre del año 2024, la metodología incluye la caracterización fisicoquímica de los lodos, con el fin de establecer el porcentaje de humedad actual. Además, se relacionará este porcentaje de humedad con los costos de disposición del lodo, considerando las cantidades en peso generados, las técnicas de deshidratación aplicadas actualmente y las técnicas de deshidratación que se presentarán para reducir el contenido de agua.

Como parte del análisis, se realizarán visitas técnicas a la planta de tratamiento para recopilar información precisa sobre la generación y el manejo de los lodos residuales. Asimismo, se evaluarán las estrategias de optimización mediante la reducción del peso de lodo a través de una disminución teórica del porcentaje de humedad. Este valor será estimado basándose en las características del lodo y las capacidades de los equipos de secado disponibles en el mercado, para lo cual se propone alcanzar un porcentaje de humedad final óptimo que maximice la remoción de agua. Finalmente, los resultados obtenidos permitirán identificar oportunidades de mejora para la optimización de costos y la mejora en los procesos de disposición final, a través de la selección de tecnologías de secado viables en términos de costo y eficiencia. A continuación, se detallan las actividades a realizar:

4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS DE LA EMPRESA

4.1.1 Visita técnica a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Recorrido de la planta de tratamiento de agua residuales: Se llevará a cabo un recorrido exhaustivo por la planta de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de familiarizarnos con el sistema de tratamiento utilizado. Durante este recorrido, se prestará especial atención a los diferentes procesos involucrados en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), desde la entrada de las aguas residuales hasta su descarga final. Además, se identificarán los puntos específicos donde se generen los lodos residuales, tales como las etapas de sedimentación, clarificación u otros procesos de tratamiento primario o secundario.

Este reconocimiento será fundamental para entender el origen y cantidad de lodos producidos en cada fase del tratamiento, lo que será esencial para la planificación y optimización de su gestión.

4.1.2 Observación del sistema de tratamiento de lodos residuales.

Posteriormente, se realizará una observación detallada del sistema de tratamiento de lodos residuales, con el propósito de comprender cómo se manejarán los lodos generados en la planta. Durante esta etapa, se evaluarán las diferentes fases del tratamiento de lodos, tales como el espesamiento, la deshidratación y la disposición final, así como las tecnologías empleadas, como centrifugadoras, filtros prensa o lechos de secado.

Esta observación será clave para identificar posibles áreas de mejora en el proceso de tratamiento, así como para detectar cualquier ineficiencia o desafío operativo relacionado con la gestión de los lodos.

4.1.3 Recolección de información acerca de los lodos residuales.

Con el fin de obtener un conocimiento más detallado sobre el sistema de tratamiento de lodos residuales, se procederá a recopilar información clave acerca de los lodos generados. Esto incluirá características fisicoquímicas tales como el contenido de humedad y el volumen total de lodos.

También se documentará el proceso de gestión actual, desde la generación del lodo hasta su disposición. Para organizar esta información, se completará una ficha técnica con información que será solicitada a la persona encargada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

<i>Ficha de recolección de información acerca del sistema de tratamiento de lodos</i>
¿Cuál es la cantidad de m ³ de agua residual tratada? Especificar periodo de tiempo.
¿Cuál es la cantidad de m ³ de lodos generados? Especificar periodo de tiempo.
¿Cuál el % de humedad final de los lodos residuales?
¿Cómo calculan el % de humedad final de los lodos residuales?
¿Les miden parámetros a los lodos?
¿Realizan caracterización de lodos?
¿Como gestionan la disposición final de los lodos residuales?
¿Su gestor realiza caracterización de lodos residuales?
¿El servicio ofrecido por el gestor es en base a volumen o peso de los lodos residuales?
¿Cuál es costo del servicio de disposición?
¿Cuál es la frecuencia del uso de este servicio?
¿Cuál es el volumen total de lodos entregados al gestor para su disposición?
¿Venden o disponen de alguna manera sus lodos residuales? Si la respuesta es sí, especificar más información sobre el proceso de venta o disposición.
Información adicional

Posterior a la entrevista realizada a la empresa, se obtendrán detalles relevantes y complementarios para nuestra investigación, lo que nos permitirá profundizar con el análisis de lodos residuales. Con la información proporcionada, se conocerá si la empresa tiene información sobre la humedad del lodo residual obtenido, o si será necesario determinar el porcentaje de humedad del lodo residual.

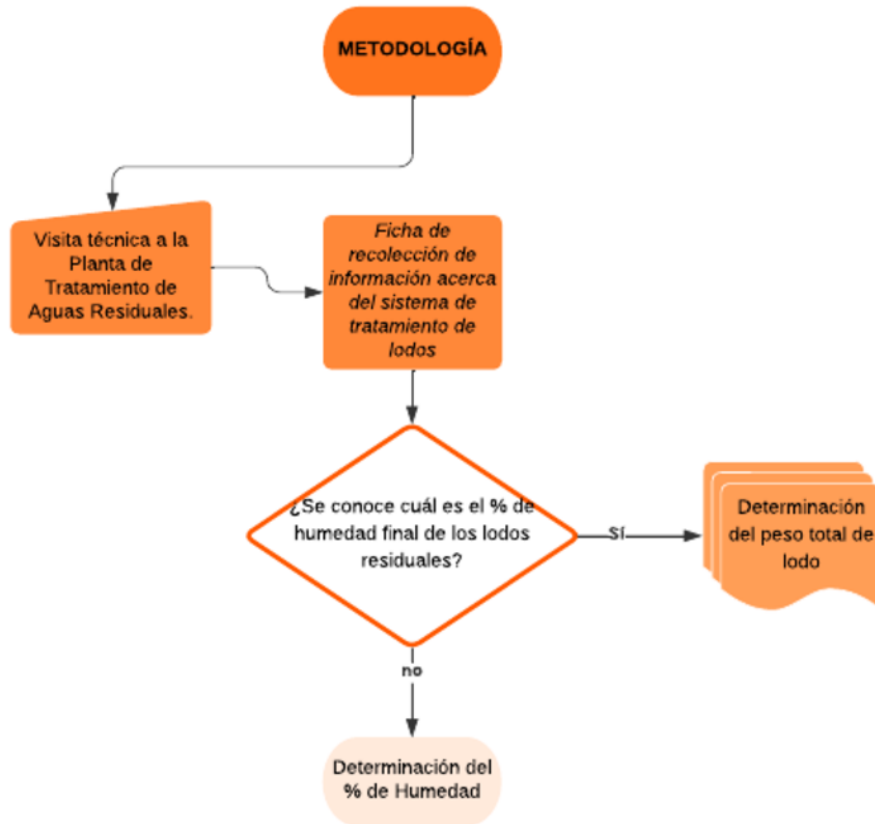


Figura 6. Metodología. Fuente: elaboración propia.

4.2 DETERMINACIÓN DEL % DE HUMEDAD

Si la empresa conoce el % de humedad se pasará a realizar la actividad 4.3.

En caso de que la empresa no disponga del porcentaje de humedad de los lodos, este se determinará ya sea a través de análisis realizados por laboratorios externos certificados o mediante análisis experimental llevado a cabo en la planta piloto de la Universidad de El Salvador.

4.2.1 Determinación del % de Humedad en laboratorios acreditados.

Para el análisis del porcentaje de humedad mediante laboratorios externos certificados se tienen las dos opciones siguientes:

- CCCI
- LECC

En los cuales se investigará y cotizará el proceso de medición de humedad de los lodos.

Tabla 13. Cotización de análisis de humedad con laboratorios acreditados.

Laboratorio	Costo	Información adicional
CCCI	\$50.85	Humedad, método: Gravimétrico, AOAC, 2019 9030.15
LECC	\$22.00	Humedad. Referencia: ASTM D-2974. Método: ASTM D-2974.

Se realizará la toma de una muestra de lodos residual en base a lo establecido en el Anexo G. del RTS 13.05.01:24 para su entrega en el laboratorio acreditado para que se realice el análisis de la humedad. A continuación, se describe dicha técnica.

TÉCNICAS DE TOMA DE LA MUESTRA DE LODOS RESIDUALES.

Los puntos de muestreo se ubicarán exactamente en el efluente de lodo residual ya sea primario o secundario conforme se identifique en la visita técnica realizada a la PTAR. Teniendo en cuenta que, el lodo a muestrear será exactamente el lodo ya deshidratado el cual se envía actualmente a disposición final por parte de la empresa.

Muestras de lodos líquidos o semisólidos

Se colectarán las muestras directamente del vertedero en recipientes de plástico de 20 L, hasta obtener el doble del volumen por utilizar para cada uno de los análisis por realizar, como mínimo.

- a) Tuberías: Colectar la muestra simple directamente de la tubería a través del grifo de purga que presente un diámetro interno mínimo de 3,6 cm;
- b) Canales: Colectar la muestra simple en donde el lodo se encuentre bien mezclado;
- c) Digestores: Colectar la muestra simple de un tanque mezclado que es alimentado a través de líneas provenientes de diferentes niveles en el digestor. Antes de la toma de la muestra asegurarse de eliminar el lodo acumulado previamente en las líneas;

d) Tanques: Mezclar completamente y coleccionar varias muestras a diferentes profundidades y puntos (muestras compuestas). Juntar todas las muestras en una sola antes de realizar el análisis;

e) Lodos de sitios específicos en Plantas de Tratamientos: Recomiendan los siguientes puntos para la toma de la muestra simple de lodo en plantas de tratamiento de aguas residual: Lodo primario, lodo activado, lodo digerido, lodos del lecho de secado, lodo filtrado, azolves.

Muestras de lodos sólidos

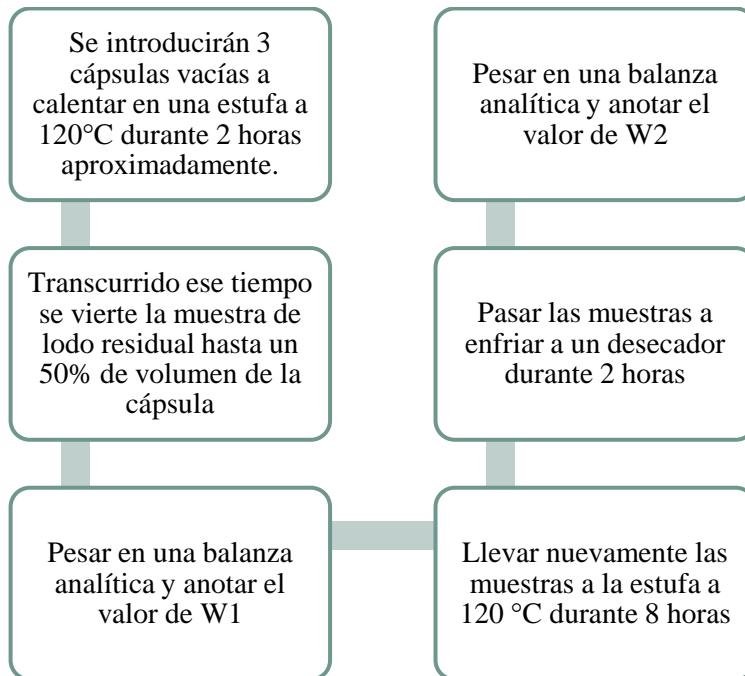
Para conformar las muestras se usa el método del cuarteo, se toman 4 a 8 bolsas de polietileno de 0,70 m × 0,50 m o 1,10 m × 0,90 m, se selecciona al azar el mismo número de sitios diferentes.

Posteriormente, se llena cada una de las bolsas con el material de casa sitio y se trasladan a un área plana horizontal de aproximadamente 4×4 m, preferentemente de cemento pulido o similar y bajo techo, se deposita en un montículo.

Traspalear (mezclar) el material con pala o biello, para obtener una muestra homogénea. A continuación, se divide el cuatro partes iguales A, B, C, D y se eliminan las partes opuestas A y C o B y D, repetir esta operación hasta dejar 10 kg aproximadamente de lodo o biosólido. La pila resultante sirve para determinar en el laboratorio el contenido de Coliformes, Salmonella spp, huevos de helmintos, contenido de sólidos totales, sólidos volátiles, arsénico, cadmio, cromo, plomo, mercurio, níquel y zinc. El material restante se usa para determinar el peso volumétrico de los lodos in situ.

4.2.2 Determinación del % de Humedad en Laboratorio de Ingeniería Química.

Para el otro método de cálculo del % de humedad, se realizará el análisis de 3 muestras de lodos residuales en laboratorio, el procedimiento utilizado será el análisis gravimétrico aplicable a lodos residuales de tipo especial según el RTS 13.05.01:18. A continuación, se detalla el proceso a seguir.



Para obtener el % de humedad se hará uso de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{W1 - W2}{W1} * 100$$

Donde:

W1: Peso de la muestra húmeda en g

W2: Peso de la muestra seca en g

Muestra	% de Humedad
1	
2	
3	

4.3 ANÁLISIS DE DATOS ACTUALES

En este apartado se llevará a cabo el análisis de los datos actuales relacionados con los lodos residuales generados en la empresa. Para ello, se determinará el peso total de los lodos generados, considerando su estado tras el proceso de prensado. Asimismo, se analizarán los costos asociados a su disposición, con base en los registros proporcionados por la empresa.

4.3.1 Determinación del peso total de lodo actual.

La masa total de lodo residual está compuesta por la masa de sólidos y la masa de agua que contiene la muestra.

Se realizará el cálculo de la masa seca del lodo y la masa de agua para identificar la cantidad de agua por la que la empresa incurre en gastos actualmente.

- % Humedad 1: Porcentaje de humedad actual.

Encontrando la masa de disposición de lodo residual actual.

$$\text{Masa total de lodo} = \text{Masa de sólidos} + \text{Masa de agua}$$

$$\text{Masa sólidos} = \text{Masa total de lodo} \times (1 - \% \text{ Humedad } 1)$$

$$\text{Masa de agua} = \text{Masa total de lodo} - \text{Masa de sólidos}$$

4.3.2 Determinación del costo de disposición basado en el % de Humedad actual.

En la Ficha de recolección de información acerca del sistema de tratamiento de lodos de la empresa del apartado 4.1.3, se proporcionará información sobre los costos de disposición al utilizar el servicio de gestión actual. En específico, se brindará información del precio de gestión por tonelada, el precio de transporte, las toneladas de lodo que se pueden disponer por entrega y las visitas a la semana que realiza el gestor autorizado. A continuación, se presenta el formato de la tabla resumen a utilizar:

Tabla 14. Formato de tabla de análisis de costos actuales de disposición.

Precio de gestión de tonelada	\$
Precio de transporte	\$
Visitas a la semana	-
Toneladas por entrega	-

Con la información proporcionado se realizará el cálculo del costo de disposición de lodo por mes y por año.

4.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se llevará a cabo un análisis de los resultados obtenidos anteriormente, evaluando tres tecnologías o procesos para el secado de lodos. La comparación se basará en aspectos técnicos, económicos, ambientales y operativos con el objetivo principal de identificar la tecnología que logre el mayor porcentaje de remoción de humedad. Para estructurar esta decisión, se elaborará una tabla comparativa de las tecnologías, la cual permitirá analizar con detalle las opciones disponibles actualmente en la industria. Posteriormente, las tres tecnologías serán sometidas a un análisis más detallado utilizando una matriz Pugh, lo que permitirá asegurar la selección de la opción más eficiente y viable para la empresa textil. A continuación, se presenta la tabla comparativa, donde se evalúan las diferentes tecnologías:

Tabla 15. Formato de tabla comparativa de las tecnologías de secado.

Criterio	Tecnología 1	Tecnología 2	Tecnología 3
Descripción técnica			
Ventajas			
Desventajas			
Costo de inversión			
Humedad inicial			
Humedad final			
Capacidad			
Requerimientos de espacio			
Impacto ambiental			
Fuentes de calor			
Potencia			
Disponibilidad en el mercado			
Vida útil			

4.5 MATRIZ PUGH

Para llevar a cabo la selección de la tecnología más adecuada para el secado de lodos residuales se utilizará la matriz PUGH ya que es una herramienta de toma de decisiones utilizada para evaluar y comparar múltiples alternativas con el objetivo de seleccionar la mejor opción. Según el Tecnológico de Monterrey, esta técnica permite evaluar criterios específicos mediante un proceso de ponderación que facilita la elección basada en aspectos

clave de las alternativas analizadas, por lo que, a continuación, se explicará a detalle la implementación de la Matriz Pugh. (Tecnológico de Monterrey, 2020).

Para poder hacer la implementación de la matriz de toma de decisiones se considerarán los criterios como la eficiencia de reducción de % de humedad, consumo energético, costos de inversión, costos operativos, espacio requerido, entre otros. Cada criterio será evaluado en una escala del 1 al 10 según su nivel de importancia, donde 1 indica menor relevancia y 10 la máxima relevancia en la toma de decisiones. Esto permitirá priorizar los aspectos más críticos.

Cada tecnología será evaluada en una escala del 1 al 5 para cada criterio, donde: 5 indica un desempeño sobresaliente o altamente favorable y 1 indica un desempeño insuficiente o poco relevante. Para hacer esta calificación más objetiva, se establecen los siguientes rangos para cada criterio (Se mostrará de la siguiente forma “Rango: Nota”):

Eficiencia de reducción de humedad (%H): Consumo energético (kWh):

- | | |
|--------------|----------------|
| • 60%: 1 | • >120: 1 |
| • 50%-60%: 2 | • 100 – 120: 2 |
| • 40%-50%: 3 | • 70 – 100: 3 |
| • 30%-40%: 4 | • 50 – 70: 4 |
| • <30%: 5 | • <50: 5 |

Costo de inversión (USD):

Espacio requerido (m²):

- | | |
|------------------------|-----------------|
| • >170,000: 1 | • >1000: 1 |
| • 130,000 - 170,000: 2 | • 500 – 1000: 2 |
| • 90,000 - 130,000: 3 | • 100 – 500: 3 |
| • 60,000 - 90,000: 4 | • 50 – 100: 4 |
| • <60,000: 5 | • <50: 5 |

Impacto ambiental (emisiones/residuos):	Vida útil (años):
• Muy alto: 1	• <3: 1
• Alto: 2	• 3 – 5: 2
• Moderado: 3	• 6 – 7: 3
• Bajo: 4	• 8 – 9: 4
• Sin impacto ambiental: 5	• >9: 5

Capacidad de procesamiento (t/h): Las calificaciones asignadas a cada tecnología en el criterio de capacidad de procesamiento no siguen un enfoque tradicional basado únicamente en el "mayor es mejor". En lugar de ello, se han evaluado considerando la capacidad específica requerida por la empresa y cómo cada tecnología se adapta a esta necesidad.

- Nota 1: La tecnología es extremadamente inadecuada, con capacidades menores a 50 kg/h o mayores a 1000 kg/h.
- Nota 2: La tecnología no se adapta bien, con capacidades entre 50 y 99 kg/h o entre 501 y 999 kg/h.
- Nota 3: La tecnología está poco adaptada, procesando entre 100 y 149 kg/h o entre 351 y 500 kg/h.
- Nota 4: La tecnología está moderadamente adaptada, con una capacidad entre 150 y 199 kg/h o entre 301 y 350 kg/h.
- Nota 5: La tecnología se adapta perfectamente a las necesidades de la empresa, procesando entre 200 y 300 kg/h.

Al tener la calificación de todas las tecnologías con respecto a cada criterio, se procederá a calcular la evaluación ponderada, multiplicando la importancia asignada a cada criterio por la calificación de la tecnología en dicho criterio. Para finalizar, se hará una sumatoria de la evaluación ponderada para cada tecnología y así obtener la valoración total, que será el indicador de selección. La tecnología con la mayor puntuación será la seleccionada. A continuación, se presenta la matriz PUGH, para comparar cada tecnología y elegir la mejor opción:

Tabla 16. Formato de Matriz PUGH.

Criterio	Importancia (peso)	Tecnología 1		Tecnología 2		Tecnología 3	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Eficiencia de reducción (% H)							
Consumo energético (kWh)							
Costos de inversión (USD)							
Espacio requerido (m ²)							
Impacto ambiental							
Vida útil (años)							
Capacidad de procesamiento							
Valoración Total							

4.6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO ELEGIDO

Previo al análisis económico, se realizará una descripción técnica detallada del secador de lodos seleccionado, con el objetivo de entender plenamente sus características y justificar su elección. Esta descripción incluirá una explicación completa del principio de funcionamiento del equipo, destacando cómo su diseño y tecnología permiten optimizar el proceso de secado de lodos residuales. Además, se abordarán las ventajas técnicas que ofrece frente a otras tecnologías de secado, tales como su eficiencia energética, menor riesgo ambiental, la temperatura de secado, la seguridad de la tecnología, entre otros. Con esto, se busca proporcionar una visión integral de la tecnología y sus beneficios en el contexto de la propuesta de mejora.

4.7 ANÁLISIS DE DATOS AL IMPLEMENTAR EL SECADOR ELEGIDO

En este apartado se realizará el análisis de los datos proyectados tras la implementación de la tecnología de secado seleccionada. Con base en el porcentaje de humedad final esperado, se estimará el peso total de los lodos residuales procesados por la nueva tecnología. Además, se calculará el costo de disposición correspondiente a este nuevo peso, considerando los costos unitarios actuales de disposición. Este análisis permitirá comparar los resultados proyectados con los datos actuales, evidenciando los beneficios potenciales de la implementación de la tecnología, tanto en la reducción del peso de los lodos como en la disminución de los costos operativos asociados.

4.7.1 Estimación del peso total de lodo basado en el % de Humedad final esperado.

Al reducir el porcentaje de humedad solo se verá afectada la masa de agua presente en la muestra, por lo que, la masa de sólidos se mantiene.

- % Humedad 2: Porcentaje de humedad esperado.

Como primer punto se calculará la masa de agua pérdida:

$$\text{Masa de agua perdida} = \text{Masa agua inicial} \times \left(\frac{\% \text{ Humedad 1} - \% \text{ Humedad 2}}{100} \right)$$

Encontrando la masa de agua final:

$$\text{Masa de agua final} = \text{masa de agua inicial} - \text{masa de agua pérdida}$$

Encontrando la masa de lodos residuales posterior a la etapa de secado:

$$\text{Masa de lodos final} = \text{Masa de lodos secos inicial} + \text{Masa de agua final}$$

4.7.2 Estimación del costo de disposición basado en el % de Humedad final esperado.

En este apartado, se realizará una estimación teórica del costo de disposición en base al porcentaje de humedad esperado, para comparar la variación entre el peso total de lodos a disponer y el costo de disposición.

El costo por disposición generalmente está relacionado con la masa del lodo. Al reducir el porcentaje de humedad, estás reduciendo la masa total del lodo, ya que se reduce la masa de agua presente en el lodo. Con ello se reduce el costo por disposición.

Con el valor de la masa de lodos final calculada en el apartado 4.7.1, se procede a realizar el cálculo del costo de disposición a pagar por la empresa textil de la siguiente forma:

Donde:

k: Costo de gestión por unidad de peso de lodo residual.

CT: Costo de transporte por visita del gestor autorizado

n: cantidad de visitas del gestor autorizado al mes.

$$\text{Costo de disposición} = (k * \text{masa de lodo final}) + (CT * n)$$

Se realizará una comparativa de los costos de disposición del lodo residual con el porcentaje de humedad actual, respecto los costos de disposición con el porcentaje de humedad esperado y se resumirán como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17. Formato de tabla de comparativa de costos de disposición.

% de Humedad	Masa Total	Costo de disposición

4.8 ANÁLISIS ECONÓMICO GASTOS OPERACIONALES ACTUALES VS IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA DE SECADO PARA LA EMPRESA

Este análisis se centrará en comparar los gastos operacionales actuales asociados con la disposición de lodos y los costos derivados de la implementación de la etapa de secado. La evaluación incluirá los siguientes cálculos:

- **Cálculo de la Inversión Inicial:** En esta primera etapa, se calcularán todos los costos asociados con la adquisición e instalación de la nueva tecnología de secado de lodos. Esto incluye, pero no se limita a: costo de adquisición del equipo, costo de instalación, costo de transporte del equipo y los impuestos aduanales para la importación del equipo.
- **Determinación de los Costos Operacionales Esperados:** Se estimarán los costos operacionales que implicará el funcionamiento diario del equipo. Esto incluirá: consumo de energía, mantenimiento preventivo y correctivo, mano de obra.
- **Análisis de los Gastos Actuales de Disposición de Lodos:** En esta fase se evaluarán los costos actuales que la empresa incurre en la disposición de los lodos residuales, los cuales están asociados con el pago a los gestores de residuos por peso.
- Este análisis nos permitirá conocer los gastos actuales y comparar los ahorros potenciales que se generarán tras la implementación del proceso de secado, los cuales incluyen la reducción del peso de los lodos tras el secado y, por ende, una disminución en los costos de disposición.

- Cálculo del Tiempo de Recuperación de la Inversión Inicial: Finalmente, se calculará el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial realizada, considerando los ahorros generados por la reducción de costos en la disposición de lodos.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 RECOPIACIÓN DE DATOS DE LA EMPRESA

En fecha 18 de octubre de 2024 se realizó la visita técnica a las instalaciones de la empresa en estudio para este trabajo de investigación, en el sitio fuimos recibidos por el personal del área de Seguridad Industrial, los cuales nos dieron una inducción acerca de las normas de seguridad de la empresa, para poder dirigirnos hacia la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR). Posteriormente, se realizó el recorrido por las instalaciones de la PTAR mientras se explicaba las etapas del proceso de tratamiento del agua residual, equipos y químicos utilizados en dichas etapas, posteriormente se observó el sistema del tratamiento de lodos acompañados por el personal encargado de la PTAR.

La información recolectada a partir de la ficha presentada en la metodología fue proporcionada el día de la visita técnica por parte del encargado de la PTAR. A continuación, se describen los resultados obtenidos:

5.1.1 Sistema del tratamiento de agua residual

La planta de tratamiento de aguas residuales recibe las aguas residuales de tipo ordinario y especial de industria textil, específicamente de la etapa de tintorería. La figura 7 presenta el plano general de la Planta de Tratamiento de efluentes, la figura 8 presenta una vista aérea de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial y la figura 9 presenta el diagrama de tratamiento de aguas de la empresa textil.

Plano general de la estación de tratamiento de efluentes (ETE)

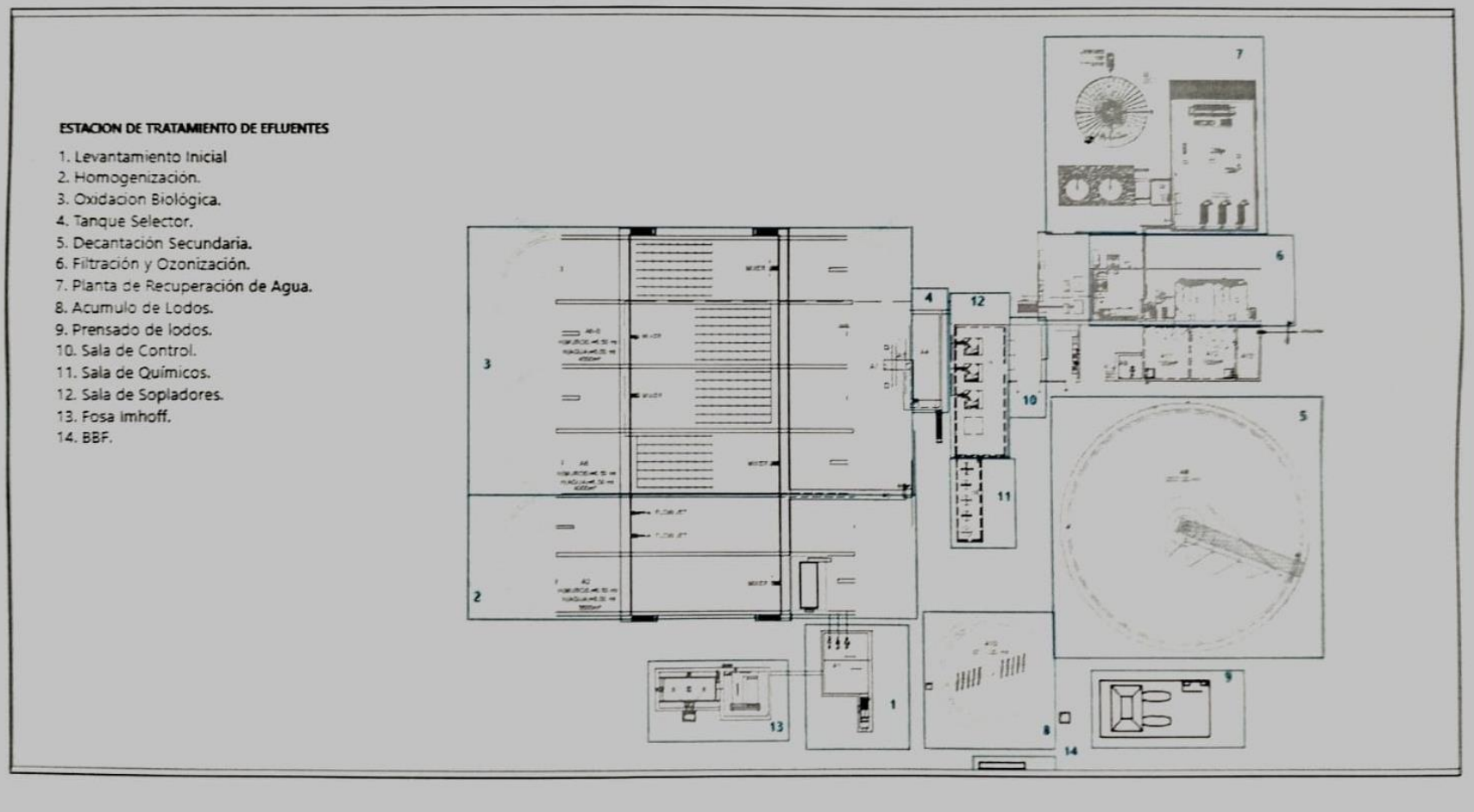


Figura 7. Diagrama de tratamiento de aguas residuales de la empresa textil. Fuente: Empresa en estudio.

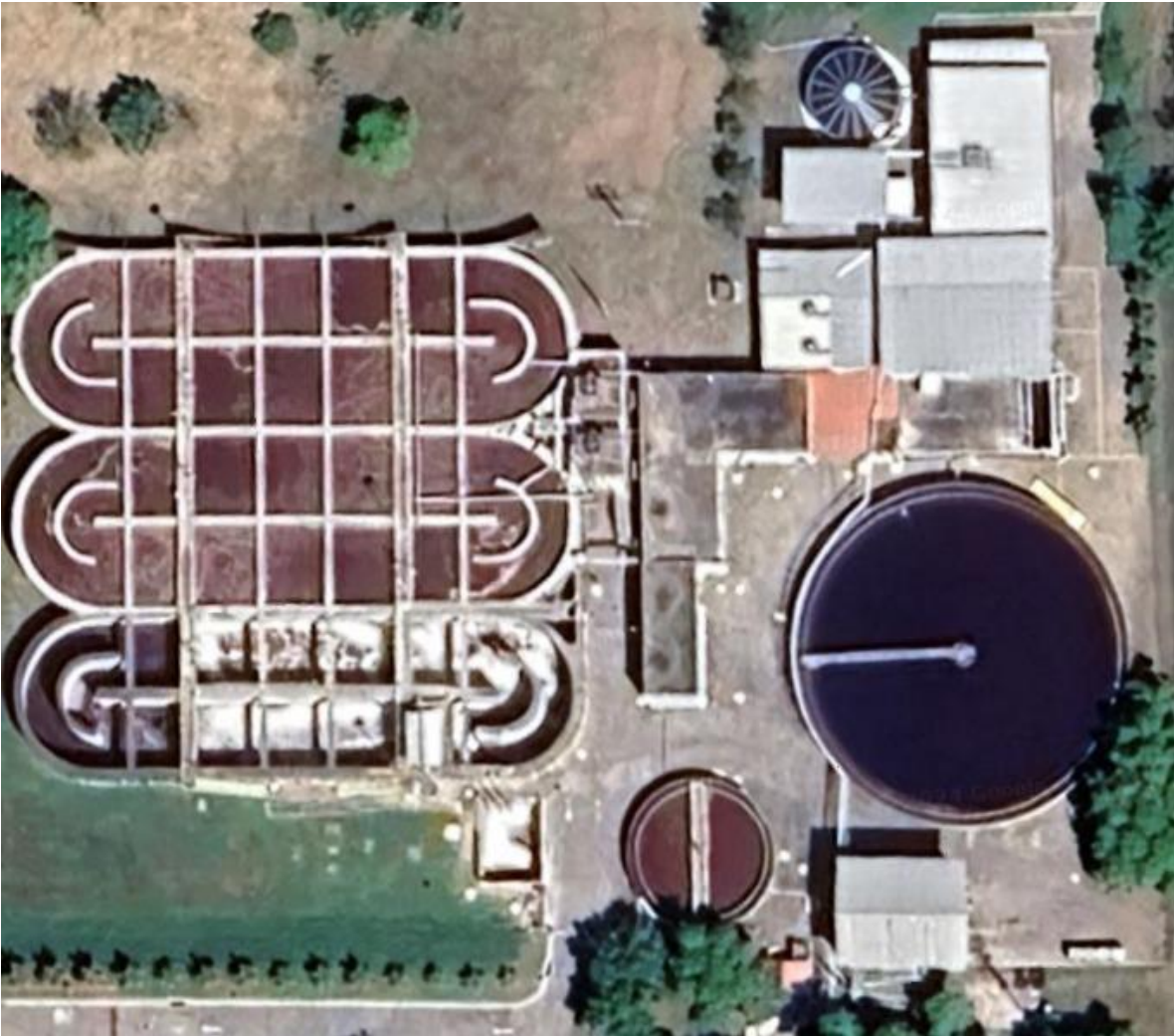


Figura 8. Vista aérea de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa textil. Fuente: Google MAPS.

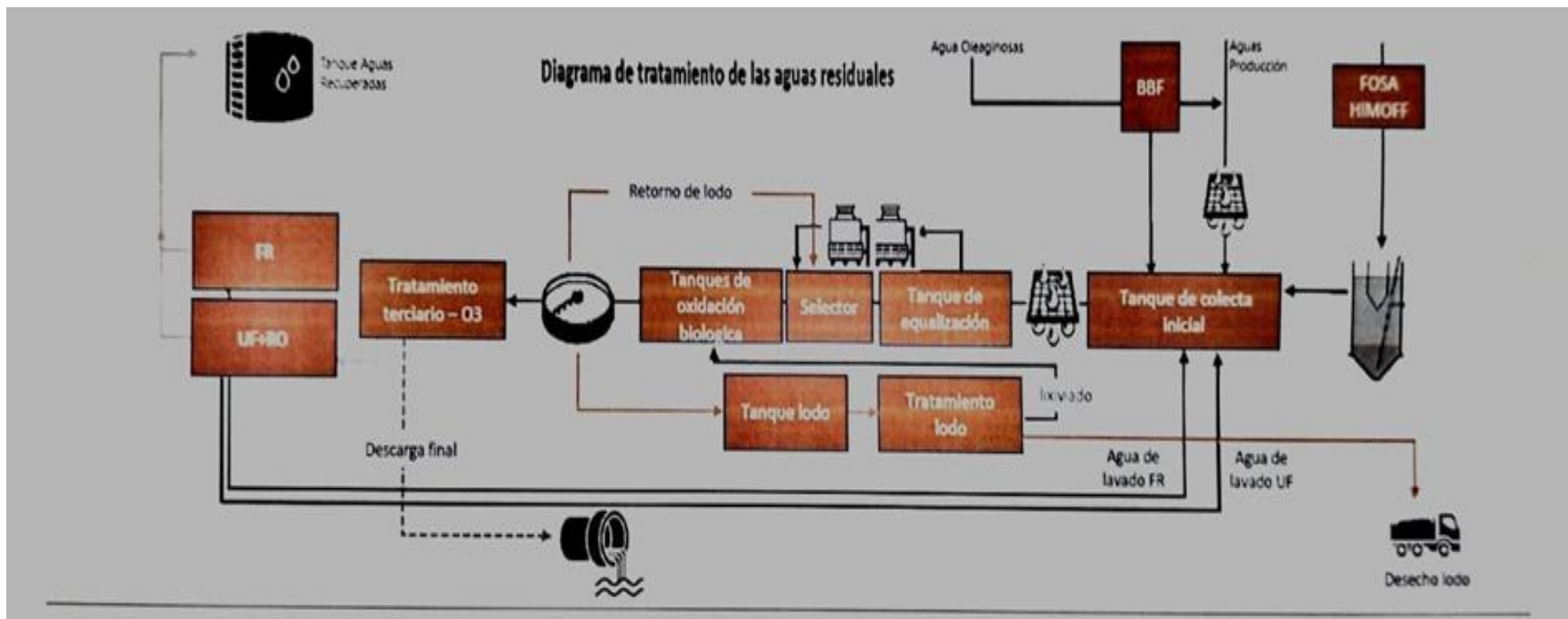


Figura 9. Diagrama de tratamiento de aguas residuales de la empresa textil. Fuente: Empresa en estudio.

A continuación, se describe el sistema de tratamiento.

Pretratamiento

Para el pretratamiento como primer paso se hace uso de una grilla, el objetivo de esta es separar los residuos sólidos de mayor tamaño que puedan presentarse en la corriente de agua.

Posterior a esto se presenta una criba rotativa, con el objetivo de separar los residuales de menor tamaño, que no fueron detenidos en la grilla.

Después el agua pasa a un tanque de homogenización, esto con el objetivo de homogenizar parámetros como pH, temperatura, ente otras. Para disminuir la temperatura se hace uso de dos torres de enfriamiento, que trabajan contra corriente donde el agua cae por la parte de arriba y el aire entra por la parte de abajo, haciendo un intercambio de masa y energía con el ambiente.

Al ser una industria textil, se suele realizar los tratamientos secundarios y después los primarios, esto con el fin de ahorrar reactivos químicos, ya que los sólidos y materias orgánicas podrían requerir grandes cantidades de productos químicos para ser removidos, por ende, el tratamiento biológico previo logra reducir de gran manera estos compuestos, haciendo más efectivo la dosificación de los reactivos utilizados.

Tratamiento secundario

Como tratamiento secundario se cuenta con 3 reactores biológicos de 4,000 m³ de capacidad, donde se encuentra el licor de mezcla. Este licor es una mezcla activa que contiene las bacterias responsables del tratamiento biológico. Los tanques contienen unos equipos conocidos como “mixeres” que son unos mezcladores, que le dan sentido de flujo al agua, con el objetivo de proporcionar una homogenización efectiva.

El agua de los reactores biológicos con aireación previamente pasa por un proceso fisicoquímico donde se realiza la adición de coagulante con la función de romper la emulsión lodo agua.

Tratamiento primario

Posteriormente el agua pasa a un decantador donde se realiza la separación del lodo, donde una parte es recirculada hacia los tanques biológicos como licor de mezcla y la otra parte pasa al sistema de tratamiento de lodos.

Tratamiento terciario

Como tratamiento terciario el agua del decantador es llevada a un filtro de resina en la cual se presenta un intercambio iónico, en el que la resina extrae los iones que son los causantes de la DQO, color, entre otros. Posteriormente pasa a un proceso de desinfección por vía química en un equipo de ozonificación, el ozono se inyecta a presión, se introducen las moléculas de ozono en el agua, para posteriormente pasar a unos tanques para que tenga un tiempo de contacto entre el ozono y el agua. Para que el ozono cumpla su objetivo de reducir su carga microbiológica, reducir color, DBO y DQO, además de eliminar contaminantes residuales, desinfectar el agua, y degradar compuestos orgánicos y químicos que no se eliminan en etapas anteriores.

5.1.2 Sistema del tratamiento de lodos

El lodo que ingresa al primer equipo proviene del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial, como primer punto se contabiliza el flujo que se está tratando, posteriormente se inyecta el producto floculante catiónico identificado comercialmente como ZETAG 8846 donde se realiza un proceso de mezclado en un tubo, en el cual se realiza la separación de lodo y agua.

Se continua hacia un tornillo prensa donde se realiza la deshidratación de lodos, separando el contenido de agua, está sale por la rejilla del tornillo y es retornada al sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial antes descrito; el lodo sale por la parte superior del equipo, donde este es depositado en un contenedor para su traslado final con un gestor autorizado. El sistema de tratamiento de lodos se visualiza como la figura 10.

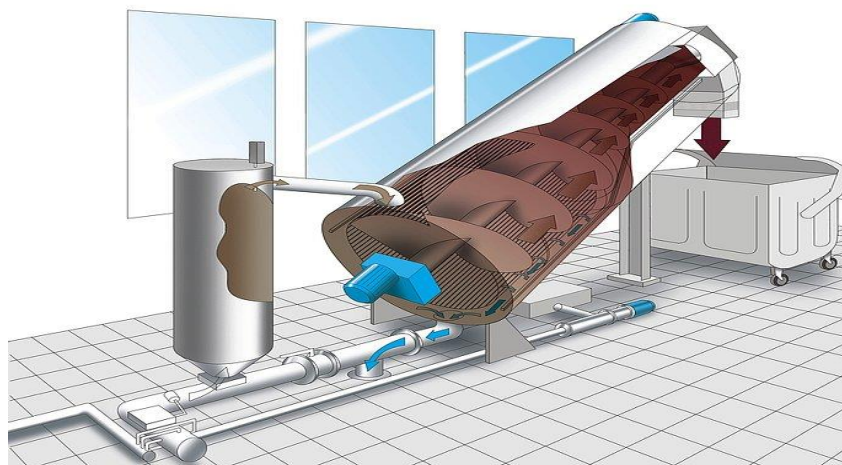


Figura 10. Sistema de tratamiento de lodos de la empresa textil. Fuente: Prensa de tornillo para deshidratación de lodo. Huber Tecnología.

5.1.3 Lodos residuales de la empresa textil.

La empresa proporciono la siguiente información, en base a las interrogantes planteadas a la *Ficha de recolección de información acerca del sistema de tratamiento de lodos*, a continuación, se presenta dicha información:

Tabla 18. Lodos residuales de la empresa textil. Fuente: elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.

Lodos residuales de la empresa textil	
Agua residual de tipo especial tratada	60,000 m ³ /semana
Lodos generados	120 toneladas mensuales
Químico utilizado en el proceso de deshidratación de lodos	Floculante catiónico, Zetag 8846
Dosis de producto químico utilizado	190 ppm- 180 ppm
% de humedad final de los lodos residuales	80%
Hacen reúso de lodo	No
Gestión de lodos	Se hace uso de los servicios de un gestor autorizado por el MARN que lo lleva hacia un relleno sanitario, el costo del servicio se realiza con base en el peso
Costo de servicio de disposición	\$64.07/Tonelada + Transporte flete \$357.50
Frecuencia de uso de servicio	2 veces por semana
Peso total de lodos entregados al gestor para disposición final	15 toneladas en cada entrega

Según información proporcionada por la empresa los lodos residuales tienen la siguiente caracterización según lo establece el REGLAMENTO ESPECIAL DE AGUAS RESIDUALES Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES, a continuación, se presenta la caracterización de dichos lodos:

Tabla 19. Caracterización de lodos residuales de la industria textil. Fuente: elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.

Caracterización de lodos residuales de la industria textil		
Por su origen	Especial	
Por su naturaleza	No peligroso	
Parámetros microbiológicos analizados al lodo	Coliformes Fecales Salmonella Helmintos y vermiformes viables	
Parámetros adicionales analizados al lodo	pH Conductividad eléctrica Cromo (+6) Cromo total Arsénico Hierro total Manganeso total Plomo Aluminio Boro Cadmio Cobre Fosfato total	Mercurio Níquel Nitrógeno total Sodio Humedad Zinc Molibdeno Selenio Bario Densidad %SV/ST Potencial Calórico Compuestos fenólicos

5.2 ANÁLISIS DE DATOS ACTUALES

5.2.1 Determinación del peso total de lodo con % de Humedad actual de la empresa

Con los datos de humedad y cantidad de lodos generados proporcionados por la empresa, se procede a la determinación de la masa de agua y masa de sólidos presente en el lodo residual actual como se describe a continuación:

Sea:

$$\% \text{ de Humedad } 1 = 80 \%$$

$$\text{Masa total de lodo} = 120,000 \text{ kg}$$

$Masa\ total\ de\ lodo = Masa\ de\ sólidos + Masa\ de\ agua$

Donde la masa de agua se calcula como:

$Masa\ de\ agua = 120,000 \times (0.80)$

$Masa\ de\ agua = 96,000\ kg$

$Masa\ sólidos = Masa\ total\ de\ lodo - Masa\ de\ agua$

$Masa\ sólidos = 120,000\ kg - 96,000\ kg$

$Masa\ sólidos = 24,000\ kg$

5.2.2 Análisis de costos actuales de disposición de lodos

La empresa proporcionó los costos por el servicio utilizado mediante un gestor autorizado por el MARN de disposición de lodos residuales los cuales se detallan a continuación:

Tabla 20. Análisis de costos actuales de disposición.

Precio de gestión de tonelada	\$64.07
Precio de transporte	\$357.50
Visitas a la semana	2
Toneladas por entrega	15 toneladas

Se procedió a realizar una estimación del costo actual de disposición en diferentes periodos de tiempo como se muestra a continuación:

- Pago a los gestores de lodos en una entrega

$$\$64.07 \times 15\ toneladas = \$1,006.05$$

$$1,006.05 + 357.50 = \$1,363.55$$

- Pago a los gestores de lodos semanal:

$$\$1,363.55 \times 2 = \$2,727.1$$

- Pago a los gestores de lodos mensual:

Considerando 8 entregas al mes

$$\$1,363.55 \times 8 = \$10,908.4$$

- Pago a los gestores de lodos anual:

$$\$10,908.4 \times 12 = \$130,900.8$$

5.3 EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE SECADO

Para lograr reducir el porcentaje de humedad de los lodos obtenidos actualmente, se optó por investigar acerca de diferentes equipos los cuales podrían cumplir con el objetivo además se consideraron otros criterios adicionales, para ellos se escogieron los tres equipos de mayor uso y fácil acceso. Para el uso de la tabla comparativa, se tomaron en cuenta criterios como, la descripción técnica, ventajas y desventajas del equipo, costo de inversión, porcentaje de humedad que el lodo puede entrar al equipo y el porcentaje de humedad que se tiene a la salida, potencia, capacidad, vida útil, entre otros. Debido a que esta información será de gran apoyo al momento de realizar el diagrama de Pugh.

Tabla 21. Tecnologías de secado para lodos residuales.

Criterio	Secador de tambor rotativo de lodos (Zhengzhou Jiutian Machinery)	Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (MYEP)	Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (DIYE ENERGY)
Descripción técnica	<p>Según Made in China, se proporciona la siguiente información sobre la tecnología de secado de Zhengzhou Jiutian Machinery (Made in China, s. f.).</p> <p>El sistema de secado consiste en una fuente de calor, equipo de secado, equipo de transporte, eliminación de polvo y equipo de desodorización. Dentro del secador, hay un eje de alta velocidad que dispersa el lodo viscoso para resolver el problema de la viscosidad del lodo y mejora la eficiencia del intercambio de calor. En el secador, se establecen seis áreas de trabajo de proceso de secado, respectivamente. Se completa el proceso de secado y la máquina de secado se descarga al siguiente proceso. Posteriormente se presenta la eliminación y desodorización del polvo, este sistema adopta un método de eliminación y desodorización del polvo en cuatro etapas, y un eliminador de polvo ciclónico en primera etapa puede eliminar las partículas de polvo en los gases de escape. El segundo método de lavado ácido elimina el gas olor, la tercera etapa utiliza el método de lavado alcalino para eliminar el gas olor, y la cuarta etapa utiliza el método de descomposición de rayos ultravioleta.</p>	<p>Según Made in China, se proporciona la siguiente información sobre la tecnología de secado de MYEP (Made in China, s. f.).</p> <p>El secador utiliza una banda transportadora perforada para mover los materiales (como lodos deshidratados) a través de un flujo de aire caliente controlado.</p> <p>El material húmedo ingresa al sistema, y el aire caliente pasa a través de la banda y los materiales, eliminando la humedad gradualmente en un proceso de convección térmica.</p>	<p>Según Made in China, se proporciona la siguiente información sobre la tecnología de secado de DIYE ENERGY (Made in China, s. f.).</p> <p>Paso 1: El lodo húmedo (60%-80% de humedad) se tritura y corta antes de entrar a la máquina de secado.</p> <p>Paso 2: El aire húmedo a baja temperatura pasa por el ventilador y la bomba de calor hacia el intercambiador de calor.</p> <p>Paso 3: El aire se enfría y condensa en agua al descender por debajo del punto de rocío.</p> <p>Paso 4: El aire evaporado intercambia calor con la bomba de calor y se calienta en el condensador.</p> <p>Paso 5: El aire caliente entra al secador de lodos.</p> <p>Paso 6: El lodo y el aire caliente circulan, secando el lodo hasta alcanzar un 10%-30% de humedad.</p>

Tabla 21. Tecnologías de secado para lodos residuales. Continuación.

Criterio	Secador de tambor rotativo de lodos (Zhengzhou Jiutian Machinery)	Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (MYEP)	Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (DIYE ENERGY)
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -No excesiva complejidad técnica. -Tecnología desarrollada, en otras aplicaciones. -Paradas y arranques rápidos. -Son capaces de manejar una amplia gama de materiales y pueden usarse para aplicaciones de secado tanto a pequeña como a gran escala. -Pueden diseñarse para funcionar en un sistema de circuito cerrado, lo que reduce la cantidad de calor y humedad que se pierden durante el proceso de secado. 	<ul style="list-style-type: none"> Alta eficiencia energética: Aprovechamiento de temperaturas moderadas y recuperación de calor. Seguridad operativa: Operación a baja temperatura reduce el riesgo de incendios. Bajo impacto ambiental: Sistema cerrado minimiza emisiones de olores y partículas. Adaptabilidad: Capaz de manejar diferentes tipos de lodos y configurarse según necesidades específicas. Mantenimiento sencillo: Diseño modular y acceso fácil a componentes clave 	<ul style="list-style-type: none"> El funcionamiento automático continuo del secado de lodos se consigue gracias al diseño del equipo. Por lo que, evita la inversión de mano de obra y reduce los costes. Todo el sistema de equipos adopta un diseño cerrado y una tecnología de recuperación de calor; la humedad finalmente se descarga en forma de agua condensada y el aire se recicla; no hay un problema secundario de contaminación de las emisiones de gases de escape. La temperatura de secado es inferior a 70°C, hay pocos problemas como la explosión y toxicidad del lodo que puede volatilizarse; funcionamiento estable y alta tasa de utilización.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Generación de mucho aire contaminado a tratar. -Problemas de seguridad y riesgo de incendios y explosiones. -Necesidad de recircular fango seco. -Pérdida rendimiento energético al evacuar aire caliente. 	<ul style="list-style-type: none"> -Consumo energético moderado a alto. -Tiempo prolongado de secado. -Complejidad en la instalación. -Mantenimiento regular necesario. -Alto costo inicial de inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mantenimiento regular necesario. -Alto costo inicial de inversión. -Consumo energético moderado a alto.
Costo de inversión	\$30,000	\$119,700	\$164,999

Tabla 21. Tecnologías de secado para lodos residuales. Continuación.

Criterio	Secador de tambor rotativo de lodos (Zhengzhou Jiutian Machinery)	Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (MYEP)	Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (DIYE ENERGY)
Humedad inicial	50-85%	80%	60 – 80%
Humedad final	≤ 25%	≤ 30%	≤ 30%
Capacidad	30 T/h	300 kg agua/hora	168 kg agua/h
Requerimientos de espacio (L*W*H)	20m*5m*10m	9.16m x 2.19m x 2.42 m	5.3m*3.0m*3.3m
Impacto ambiental	Se contiene aire contaminado el cual debe ser tratado, pero el sistema puede diseñarse para funcionar como un sistema de circuito cerrado, aprovechando más el calor y evitando emisiones a la atmosfera.	Cero descargas, cero contaminaciones	Cero descargas, cero contaminaciones
Fuente de calor	Combustibles sólidos como combustibles de biomasa, corteza, etc.	Bomba de calor	Bomba de calor
Potencia (kWh)	40	75	54
Disponibilidad en el mercado	Limitado en El Salvador (Proveedores Internacionales) Zhengzhou Jiutian Technology Machinery Co., Ltd. Henan, China	Limitado en El Salvador (Proveedores Internacionales) Yangzhou Maoyuan Environmental Protection Technology Co., Ltd. Jiangsu, China.	Limitado en El Salvador (Proveedores Internacionales) Guangdong Diye Energy Equipment Co., Ltd. Guangdong, China.
Vida útil	10 años	10 años	10 años

5.4 APLICACIÓN DE LA MATRIZ PUGH

Se utilizó la herramienta de la matriz PUGH con el objetivo de comparar los siguientes equipos: tambor rotativo (Zhengzhou Jiutian Machinery), secador de banda de baja temperatura (MYPE) y secador de banda de baja temperatura (DIYE ENERGY) para poder elegir la tecnología que cumple de mejor manera con los criterios de evaluación. Entre estos criterios de evaluación se incluye: eficiencia de reducción de humedad, consumo energético, costos de inversión, entre otros. A continuación, se presenta la matriz PUGH:

Tabla 22. Matriz PUGH.

Criterio	Importancia (peso)	Tecnología 1: Secador de tambor rotativo de lodos (Zhengzhou Jiutian Machinery)		Tecnología 2: Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (MYEP)		Tecnología 3: Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (DIYE ENERGY)	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Eficiencia de reducción (% H)	9	5	45	4	36	4	36
Consumo energético (kWh)	7	5	35	3	21	4	28
Costos de inversión (USD)	8	5	40	3	24	2	16
Espacio requerido (m ²)	5	2	10	5	25	4	20
Impacto ambiental	8	2	16	4	32	4	32
Vida útil (años)	6	5	30	5	30	5	30
Capacidad de procesamiento	8	1	8	5	40	4	32
Valoración Total			184		208		194

A los criterios se les asignó una puntuación respecto su importancia, para el punto de eficiencia de reducción de % de humedad, se le asignó una importancia de 9, debido a que es el criterio más importante según nuestra investigación. El consumo energético se le asignó una puntuación de 7, el costo de inversión 8 ya que también es un punto importante para nuestra investigación, considerando los costos para verificar si es una opción rentable. Así sucesivamente se le asignó una puntuación a los demás criterios que se tomaron en cuenta. Para el primer criterio se comparó la eficiencia de reducción de humedad de los 3 equipos, para lo cual el tambor rotativo reducía hasta un 25% de humedad, por lo cual obtuvo la mayor puntuación, para este caso 5. En el caso la segunda y tercera tecnología, el secador de banda de baja temperatura (MYEP) y secador de banda de baja temperatura (DIYE ENERGY) ambos reducían el % de humedad hasta un 30%, por lo cual tuvieron una puntuación de 4.

Para el consumo energético el tambor rotativo tiene un consumo de 40 kW, por eso le dimos una puntuación de 5, para el secador de banda de baja temperatura (MYPE) tiene un consumo de 75 kW, por lo cual se le dio una puntuación de 3 y la última tecnología secador de banda de baja temperatura (DIYE ENERGY) un consumo de 54 kW, se le asignó una ponderación de 4.

Se le realizó el mismo proceso a los demás criterios de evaluación. Posteriormente se encontró la evaluación ponderada multiplicando la importancia del criterio, por la calificación asignada. Para el criterio de eficiencia de reducción de humedad con una importancia de 9, la primera tecnología tuvo una puntuación de 5, entonces la evaluación ponderada fue de 45. En el caso de la segunda y tercera tecnología tuvieron una puntuación de 4, obteniendo una evaluación ponderada de 36. Se realizó el mismo cálculo para los demás criterios y para finalizar se sumó la evaluación ponderada de cada criterio para cada una de las tres tecnologías, siendo así el secador de banda de baja temperatura (MYEP) con 208 puntos el de mayor puntuación, por ende, el equipo seleccionado.

5.5 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO ELEGIDO

El principio de funcionamiento se encuentra establecido por Yangzhou Maoyuan Environmental Protection Technology Co., Ltd. (MYEP), el cual indica lo siguiente:

El secador utiliza una bomba de calor para llevar a cabo el secado del material mediante un proceso de reciclaje de aire caliente, condensación, deshumidificación y secado. Durante la evaporación de la humedad contenida en el material, se genera calor latente. A su vez, la condensación del vapor en la bomba de calor también requiere calor latente. Según la ley de conservación de la energía, ambos procesos de calor latente son equivalentes. Por lo tanto, el proceso de secado no necesita una capacidad adicional de calor externo.

La energía consumida durante el proceso se limita a la electricidad utilizada para el funcionamiento del compresor, el ventilador y el motor. La bomba de calor utiliza un sistema de refrigeración para enfriar y deshumidificar el aire caliente y húmedo. Simultáneamente, a través del principio de la bomba de calor, se recicla el calor latente liberado durante la condensación del vapor en agua líquida. Por lo tanto, el sistema combina la deshumidificación del aire húmedo con el reciclaje de energía mediante la bomba de calor,

recuperando todo el calor latente y sensible del aire expulsado, evitando así la pérdida de calor al ambiente.

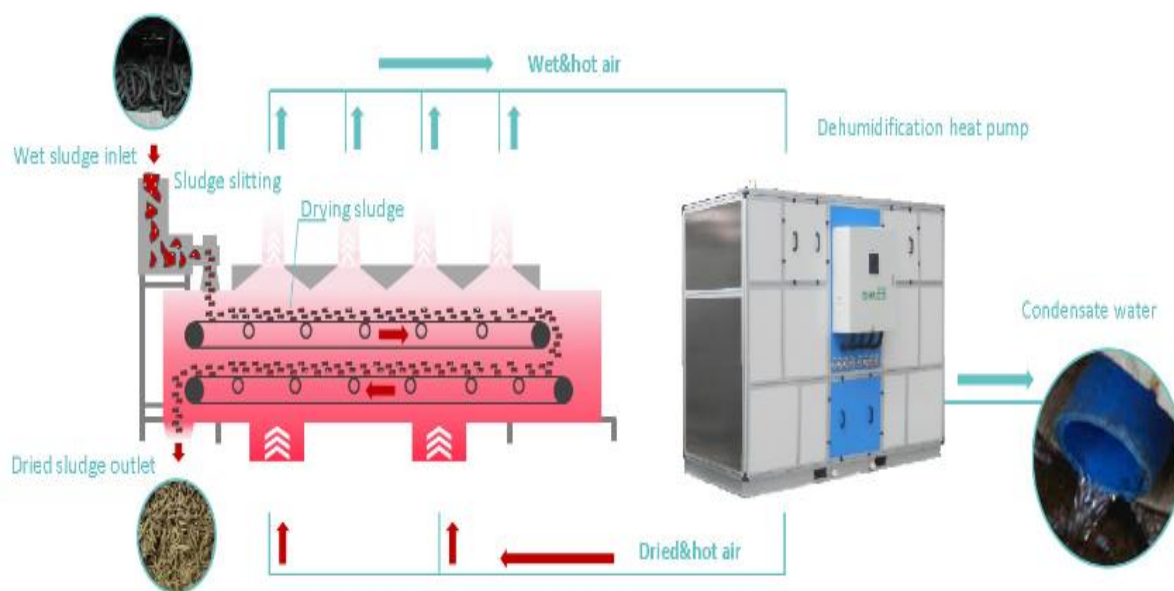


Figura 11. Esquema del funcionamiento del Secador de Banda de baja temperatura.

Ventajas técnicas del Secador de banda de baja temperatura:

El secador utiliza una tecnología de secado de baja temperatura y transferencia térmica directa, lo que lo diferencia de otras técnicas de secado basadas en alta temperatura. Las ventajas técnicas más relevantes son las siguientes:

- Operación a baja temperatura y diseño seguro: Funciona a temperaturas entre 40 y 75°C, con una densidad de polvo inferior a 60 g/m³ y un nivel de oxígeno menor al 12%, lo que elimina el riesgo de generación de polvo y explosiones. La temperatura del lodo seco a la salida es inferior a 50°C, por lo que no se requiere un sistema adicional de enfriamiento.
- Sistema cerrado: El diseño cerrado evita la emisión de olores al exterior, eliminando la necesidad de instalar costosos sistemas de eliminación de olores. El agua de enfriamiento generada tiene un nivel bajo de demanda química de oxígeno (DQO), lo que facilita su tratamiento.

- Esterilización mediante pasteurización: Durante el proceso de secado, se logra la eliminación de más del 90% de Escherichia coli, mejorando la calidad higiénica del lodo seco.

La tabla 26 presenta una comparación de distintas tecnologías utilizadas para el secado de lodos e indica las ventajas del secador de banda de baja temperatura con respecto a las tecnologías tradicionales de secado.

Tabla 23. Ventajas del secador de banda de baja temperatura.

Tecnología	Tambor rotativo	Aspa rotativa	Evaporador de capa fina	Aspa tipo pala	Banda de baja temperatura
Temp. de secado	200-300°C	≥150°C	≥150°C	≥150°C	40-75°C
Suministro de calor	Aire caliente, gas	Vapor, aceite conductor de calor	Vapor	Vapor, aceite conductor de calor	Bomba de calor
Contenido de polvo	Extremadamente alto	Alto	Alto	Medio	No
Seguridad	Alta temp. de operación	Alta temp. de operación	Alta temp. de operación	Alta temp. de operación	Baja
Sistema de escape	Complejo	Requiere sistema de eliminación de olores	Requiere sistema de eliminación de olores	Requiere sistema de eliminación de olores	No es necesario
Fricción mecánica	Alta	Alta	Alta	Alta	No
Consumo de energía (kJ/kg de agua)	3400	2800	2300	2800	No es necesario

5.6 ANÁLISIS DE DATOS AL IMPLEMENTAR EL SECADOR DE BANDA DE BAJA TEMPERATURA (MYEP)

5.6.1 Determinación del peso total de lodo con el nuevo % de Humedad al utilizar el Secador de Banda de baja temperatura (MYEP)

Sea:

% Humedad 2: 30% (Porcentaje de humedad esperado al utilizar el secador de bandeja de baja temperatura)

Como primer punto se calculará la masa de agua pérdida:

$$\text{Masa de agua perdida} = \text{Masa agua inicial} \times \left(\frac{\% \text{ Humedad 1} - \% \text{ Humedad 2}}{100} \right)$$

$$\text{Masa de agua perdida} = 96,000 \text{ kg} \times \left(\frac{80\% - 30\%}{100} \right)$$

$$\text{Masa de agua perdida} = 48,000 \text{ kg}$$

Encontrando la masa de agua final

$$\text{Masa de agua final} = \text{masa de agua inicial} - \text{masa de agua pérdida}$$

$$\text{Masa de agua final} = 96,000 \text{ kg} - 48,000 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de agua final} = 48,000 \text{ kg}$$

Encontrando la masa de lodos residuales generada mensualmente, posterior a la etapa de secado:

$$\text{Masa de lodos final} = \text{Masa de lodos secos inicial} + \text{Masa de agua final}$$

$$\text{Masa de lodos final} = 24,000 \text{ kg} + 48,000 \text{ kg} = 72,000 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de lodos final} = 72 \text{ Ton}$$

5.6.2 Análisis de los costos de disposición de lodos con el nuevo % de humedad

Para el cálculo de pago mensual de lodo residual gestionado, se considera la siguiente información proporcionada anteriormente en la ficha de recolección de información:

Tabla 24. Análisis de los costos de disposición con el nuevo % de humedad.

Precio de gestión de tonelada	\$64.07
Precio de transporte	\$357.50
Toneladas entregadas por mes	72 toneladas

Considerando que la visita del gestor es por 15 toneladas de lodo, al tener la nueva cantidad de lodo de 72 toneladas de lodo se reduce el número de entregas de 8 a 5 al mes.

- Calculando el pago a los gestores de lodos mensuales, considerando 5 visitas de los gestores, donde:
k: \$64.07/Tonelada

CT: \$357.50/Visita

n: 5 Visitas.

Masa de lodo final: 72 Toneladas

$$\text{Costo de disposición} = (k * \text{masa de lodo final}) + (CT * n)$$

$$\text{Costo de disposición} = (64.07 * 72) + (357.50 * 5)$$

$$\text{Costo de disposición} = \$6,400.54$$

Realizando una comparativa de los costos de disposición del lodo residual con el porcentaje de humedad actual, respecto los costos de disposición con el porcentaje de humedad esperado.

Tabla 25. Tabla comparativa de los costos de disposición.

% de Humedad del lodo	Masa total (Toneladas/mes)	Costo de disposición/mes
80%	120	\$10,908.40
30%	72	\$ 6,400.54

5.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

5.7.1 Detalle de la inversión (año cero)

La tabla 29 presenta los costos a considerar para la inversión y los impuestos aduanales para la importación de esta, estos se encuentran establecidos por la Dirección General de Aduanas de la República de El Salvador, a continuación, se detallan dichos impuestos:

Tabla 26. Detalles de la inversión, año cero.

Detalle de Inversión	Unidades	Costo Unitario	Costo Total	Vida Útil
Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura	1	\$119,700.00	\$119,700.00	10 años
Flete	1	\$23,021.29	\$23,021.29	
Seguro	1	\$1,795.50	\$1,795.50	
DAI	1	\$7,225.84	\$7,225.84	
IVA	1	\$19,726.54	\$19,726.54	
Imprevisto	1	\$11,970.00	\$11,970.00	
Costo de instalación	1	\$11,970.00	\$11,970.00	
TOTAL, INVERSIÓN		\$195,409.17	\$195,409.17	

Flete

Para llevar a cabo la importación del secador de lodos desde Shanghái (China) hasta Acajutla (El Salvador), se realizó una cotización con una naviera internacional que ofrece servicios de transporte marítimo para cargas de gran volumen. Dado el peso y las dimensiones del equipo, que tiene un peso de 8 toneladas y las siguientes medidas: 9.16 metros de largo, 2.19 metros de ancho y 2.42 metros de altura, se determinó que el tipo de contenedor más adecuado para su transporte sería un contenedor de acero de cubo alto de 45'.

Los cargos de transporte se desglosan en: Cargos en el origen (Shanghái): Manejo en puerto, documentación y transporte interno, Transporte marítimo (Shanghái - Acajutla): Costo principal del transporte marítimo y Cargos en el destino (Acajutla): Descarga en puerto, manejo en puerto, transporte terrestre y documentación necesaria. Esto, proporciona una visión completa de los gastos logísticos necesarios para la importación de la maquinaria.

Con base en esta cotización, se calculó el flete total:

Tabla 27. Detalles de cotización, flete.

Cargos	Moneda	Monto
Origen (Shanghái, China)	USD	1,157.29
Destino (Acajutla, El Salvador)	USD	480.00
Transporte de Shanghái a Acajutla	USD	21,384.00
TOTAL	USD	23,021.29

Derechos Arancelarios a la Importación (DAI)

Están contenidos en el Arancel Centroamericano de Importación, en el cual se establecen los porcentajes que debe pagar cada una de las mercancías que ingresan al país, aplicándose porcentajes distintos dependiendo del tipo de mercancías. El cual en este caso sería el 5%.

Impuesto al Valor Agregado (IVA)

Este es un 13% que se aplica sobre la sumatoria del valor en aduanas o base imponible y el DAI que se ha establecido para los bienes sujetos a importación.

La fórmula para establecer el valor en aduanas normalmente es:

$$VALOR EN ADUANAS = FOB + FLETE + SEGURO$$

Donde

FOB: valor pagado o por pagar de los bienes objeto de importación

FLETE: precio pagado por el transporte de las mercancías

SEGURO: prima de seguro que se haya contratado para el envío de los bienes, la Ley de Simplificación Aduanera dispone que debe de establecerse aplicando un 1.25% sobre el valor FOB en caso de que las mercancías provengan de la región centroamericana y si proceden de fuera de la región debe de aplicarse un 1.50% sobre el valor FOB.

Imprevisto

El imprevisto es un porcentaje de dinero que se utiliza para cubrir desembolsos que no se han planificado en el presupuesto inicial. En nuestro caso consideramos el imprevisto como el 10% del costo del equipo, por lo cual nuestro valor del imprevisto es de \$11,970.00.

Determinación de costos mantenimiento preventivo y predictivo

Se tomará en cuenta los costos relacionados al mantenimiento preventivo y predictivo del equipo escogido, algunos procedimientos del mantenimiento que se tomaran en cuenta son, lubricaciones, limpiezas, revisiones sistemáticas del equipo, entre otros. Lo cual se asumirá con un valor del 0.5% del costo del equipo, con un valor de \$598.5 mensuales.

Determinación de costos de mano de obra

Para los costos de mano de obra, se asumirán como despreciables debido a que el operador actual de la planta puede monitorear el funcionamiento del equipo, ya que este no tiene un funcionamiento complejo al ser un equipo automatizado.

Determinación de costos eléctricos

Determinando el tiempo de trabajo del secador:

Equipo: 300 kg agua/hora

$$300 \text{ kg} \frac{\text{agua}}{\text{hora}} \times 24 \text{ horas} = 7,200 \text{ kg de agua}$$

Entonces, el secador remueve 7,200 Kg de agua por día.

Recordando, la masa de agua final es 48,000 kg mensuales

$$48,000 \text{ kg agua mensuales} \div 28 \text{ días} = 1,714 \text{ kg de agua por día}$$

Entonces se desea remover 1,714 kg de agua por día

Conocemos que el secador remueve 300 kg de agua por hora, por lo tanto, para remover 1,714 kg de agua, el tiempo necesario sería:

$$\text{Tiempo necesario} = \frac{1,714 \text{ kg}}{300 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 5.71 \text{ horas}$$

El secador debería de trabajar aproximadamente 5.71 horas, es decir 5 horas con 43 minutos para remover 1,714 kg de agua.

En la planta se cuenta con una planta fotovoltaica que funciona alrededor de 8 horas diarias, por lo cual los costos eléctricos se tomarán despreciables debido que la empresa cuenta con paneles solares, con la potencia necesaria para hacer funcionar el equipo elegido de 75 kW por hora.

5.7.2 Determinación de ahorro

La implementación de la tecnología de secado de lodos residuales en la empresa textil representa una solución eficiente para reducir los costos asociados con la disposición de estos desechos. Actualmente, la empresa incurre en un gasto mensual de \$10,908.40 por concepto de disposición de lodos. Al reducir el peso del lodo mediante el secado, este costo se disminuiría significativamente a \$6,400.54 al mes, lo que equivale a un ahorro mensual de \$4,507.86. Este ahorro se debe a que el secado elimina gran parte del contenido de agua.

Tabla 28. Determinación de ahorro al implementar la tecnología de secado.

% de Humedad del lodo	Costo de disposición/mes
80%	\$10,908.40
30%	\$ 6,400.54
Ahorro mensual	\$4,507.86
Ahorro anual	\$54,094.32

5.7.3 Flujo de caja

A continuación, se presenta el flujo de caja asociado al sistema de tratamiento de lodos residuales considerando únicamente la implementación del equipo de secado a lo largo de 10 años, el cual es el periodo de vida útil del equipo. Considerando los ingresos asociados a la reducción de costos de disposición y los egresos asociados a los costos de mantenimiento.

Tabla 29. Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA					
	INVERSIÓN HOY				
AÑO	0	1	2	3	4
INGRESOS		\$ 54,094.32	\$ 54,094.32	\$ 54,094.32	\$ 54,094.32
EGRESOS	\$ 195,409.17	\$ 7,182.00	\$ 7,182.00	\$ 7,182.00	\$ 7,182.00
FLUJO DE CAJA	-\$ 195,409.17	\$ 46,912.32	\$ 46,912.32	\$ 46,912.32	\$ 46,912.32
FLUJO ACUMULADO	-\$ 195,409.17	-\$ 148,496.85	-\$ 101,584.53	-\$ 54,672.21	-\$ 7,759.89
AÑO	5	6	7	8	9
INGRESOS	\$ 54,094.32	\$ 54,094.32	\$ 54,094.32	\$ 54,094.32	\$ 54,094.32
EGRESOS	\$ 7,182.00	\$ 7,182.00	\$ 7,182.00	\$ 7,182.00	\$ 7,182.00
FLUJO DE CAJA	\$ 46,912.32	\$ 46,912.32	\$ 46,912.32	\$ 46,912.32	\$ 46,912.32
FLUJO ACUMULADO	\$ 39,152.43	\$ 86,064.75	\$ 132,977.07	\$ 179,889.39	\$ 226,801.71
AÑO	10				
INGRESOS	\$ 54,094.32				
EGRESOS	\$ 7,182.00				
FLUJO DE CAJA	\$ 46,912.32				
FLUJO ACUMULADO	\$ 273,714.03				

Del flujo de caja se observa lo siguiente:

Años iniciales (1-4):

El flujo acumulado es negativo debido a que los flujos anuales no son suficientes para compensar la inversión inicial:

Año 1: -\$148,496.85

Año 2: -\$101,584.53

Año 3: -\$54,672.21

Año 4: -\$7,759.89

El proyecto requiere 5 años para alcanzar el punto de equilibrio.

Punto de equilibrio (Año 5):

En el año 5, el flujo acumulado es positivo, alcanzando \$39,152.43 Esto significa que, en este punto, el proyecto ha recuperado toda la inversión inicial y ha comenzado a generar utilidades netas.

Años posteriores (6-10):

A partir del año 5, el flujo acumulado continúa creciendo a un ritmo constante de \$46,912.32 por año, gracias al flujo de caja anual positivo, al final del año 9 se logra alcanzar el monto total de inversión alcanzando un monto de \$226,801.71.

CONCLUSIONES

- El secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (MYEP) alcanzó una valoración total de 208 en la matriz Pugh, destacándose frente a las demás tecnologías evaluadas para la reducción del contenido de humedad presente en el lodo de tipo especial de la empresa textil, sobresaliendo por su calificación en características técnicas como la capacidad de procesamiento, el espacio requerido y el impacto ambiental respecto a las demás tecnologías evaluadas.
- La implementación del secador no solo cumple con las expectativas de reducir el porcentaje de humedad del lodo de tipo especial, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al no generar emisiones de polvo ni gases durante el proceso de secado.
- La implementación del secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (MYEP) genera una reducción considerable en los costos de disposición de lodos gracias a la reducción en el contenido de humedad. Al disminuir la humedad del lodo del 80% al 30%, se reduce su peso total de 120 toneladas/mes a 72 toneladas/mes, lo que implica un ahorro directo en los costos de disposición, pasando de \$10,908.40/mes a \$6,400.54/mes, lo que representa una disminución de aproximadamente 41% en los costos de disposición.
- El análisis del flujo de caja para la implementación del secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (MYEP) muestra que, a partir del año 5, el proyecto comienza a generar ingresos positivos con un flujo de caja anual de \$39,152.43; y para el año 9 el flujo acumulado cubre completamente el monto total de inversión inicial y se tiene adicional un ahorro de \$31,392.54.

RECOMENDACIONES

- Considerando las características de los lodos residuales de tipo especial generados en el tratamiento de aguas residuales, y conforme a lo establecido en los Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, se recomienda hacer reusó según el tipo.
- Antes de la instalación definitiva, realizar una prueba piloto con el secador de banda de baja temperatura para evaluar su rendimiento con las características específicas del lodo y confirmar que se alcanza el porcentaje de humedad deseado.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para garantizar la operación continua del equipo y minimizar tiempos de inactividad, aumentando así la vida útil del equipo. Este plan debe incluir revisiones periódicas del sistema automatizado, la bomba de calor y lubricación y limpieza de componentes mecánicos.
- Se recomienda que la empresa considere cotizar el secador de banda de baja temperatura con los proveedores con los que ya ha trabajado previamente, esto permitirá aprovechar la experiencia previa y garantizar la compatibilidad con la infraestructura existente.

BIBLIOGRAFÍA

- Abigail, N. C. G., & Enrique, C. R. (2007, septiembre). Propuesta de manual de perfiles de mandos medios basados en las competencias de gestión que exige el mercado laboral en la industria textil, confección de prendas de vestir e industria de cuero y sus productos. Recuperado en:
- Banco Central de Reserva de El Salvador. (2024). Estadísticas. Recuperado en: <https://estadisticas.bcr.gob.sv/>
- Banco Central de Reserva de El Salvador. (2023). Informe Anual sobre el Sector Textil.
- Cámara de la Industria Textil, Confección y Zonas Francas de El Salvador. (2024). CAMTEX. Industria textil, confección y zonas francas El Salvador. CAMTEX SV. Recuperado en: <https://www.camtex.com.sv/>
- Condorchem Enviro Solutions. (2024). Tratamiento de aguas residuales y emisiones | Condorchem Enviro Solutions. Recuperado en: <https://condorchem.com/es/>
- Díaz, J. C. (2021). *Efecto de la exposición del colorante textil rojo Versatint en solución acuosa, ante un plasma de aire* (Ingeniero Industrial). Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Recuperado en: <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3292/CEDJZR04.pdf?sequence=1>.
- De Materiales. (2023). Fibras textiles naturales minerales: características y usos. Recuperado en: [Fibras textiles naturales minerales: características y usos - De Materiales](#)
- FD Textil (2020). Procesos y maquinaria en la industria textil | Ferrer-Dalmau. Recuperado en: [Procesos y maquinaria en la industria textil - Textil | Ferrer-Dalmau \(fdtextil.es\)](#)
- Green Business Network. (2023). Sostenibilidad en la Industria Textil.
- IDRICA. (2022). Recuperado en: <https://www.idrica.com/es/blog/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-etapas/#:~:text=Normalmente%20se%20distribuyen%20en%204,obtenidos%20en%20los%20diferentes%20tratamientos>.
- IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2016). Alternativas en el manejo integral de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales [Informe técnico]. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado en: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1382/TC-1303.1.pdf;jsessionid=02D58A12286226E0FF10EA73D22BAF3A?sequence=1>
- ISO 9001. (2023). Normas Internacionales de Gestión de Calidad para la Industria Textil.

- Made in China. (s. f.). Dispositivo de Protección del Medio Ambiente Municipal de Alimentos Secador de Residuos Cervecería agua residual secado Solución Secador de lodos a baja temperatura para planta de tratamiento de lodos sépticos | Guangdong Diye Energy Equipment. Recuperado en: https://es.made-in-china.com/co_diyeenergy/product_Environment-Protection-Device-Municipal-Food-Waste-Dryer-Brewery-Wastewater-Drying-Solution-Low-Temperature-Sludge-Dryer-for-Septic-Sludge-Treatment-Plant_uouennoheh.html?pv_id=1ictmfgpr93&faw_id=1ictmg15ob9b
- Made in China. (s. f.). Equipo de tratamiento de aguas residuales Secador de tambor rotativo de lodos Petroquímicos de gran capacidad Con pala | Zhengzhou Jiutian Technology Machinery. Recuperado en: https://es.made-in-china.com/co_zztian/product_Big-Capacity-Petrochemical-Sludge-Rotary-Drum-Dryer-Sewage-Treatment-Equipment-with-Paddle_egerehyoy.html
- Made in China. (s. f.). Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura para planta de tratamiento de aguas residuales | Yangzhou Maoyuan Environmental Protection Technology (MYEP). Recuperado en: https://es.made-in-china.com/co_yzmaoyuan/product_Low-Temperature-Belt-Type-Sludge-Dryer-for-Sewage-Treatment-Plant_yusonogseg.html
- MARN. (2023). Lineamientos técnicos para la evaluación de actividades, obras o proyectos que comprendan el manejo y reúso de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. San Salvador, El Salvador.
- MARN. (2019). Reglamento de Aguas Residuales y Manejo de Lodos Residuales.
- MARN (2019). Guía técnica para la evaluación de impacto ambiental de Aguas Residuales. Recuperado en: https://appsdec.marn.gob.sv/docs/10Guia_Residuales.pdf
- Mantilla Morales, G. (2016, 7 de noviembre). Alternativas en el manejo integral de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Tijuana, BC. Recuperado en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MANTILLA%202016.%20Alternativas%20en%20PTARS.pdf
- Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.
- Pérez, A. (2023). Guía sectorial textil y confección. San Salvador, El Salvador.
- Smith, J. (2021). Sustainable Practices in the Textile Industry: Innovations and Strategies. GreenTech Publishing.

- Solutions, E. W. (2024). Home | Daga equipment. Daga Equipment. Recuperado en: <https://dagequipment.com/en/>
- Tecnológico de Monterrey, Innovación Educativa. (2020, octubre). Matriz Pugh: técnica de selección de alternativas. YouTube. Recuperado en: https://www.youtube.com/watch?v=Kr2QQ_q7Axc&ab_channel=Tecnol%C3%B3gicodeMonterrey%7CInnovaci%C3%B3nEducativa
- Tejidos textiles. (s. f.). Recuperado en: <https://www.textiles-tejidos.net/fibras/>
- The Central American Group. (s.f.). Recuperado en: <https://www.thecentralamericangroup.com/la-industria-textil-y-de-la-confeccion-en-el-salvador/#bg>
- Von Sperling, M. (2007). Wastewater characteristics, treatment and disposal. IWA Publishing. Recuperado en: <https://iwaponline.com/ebooks/book/72/Wastewater-Characteristics-Treatment-and-Disposal>.
- Williams, D. C. B. (2018). Handbook of Industrial Water Treatment. McGraw-Hill Education.

ANEXO 1 UBICACIÓN DE ZONAS FRANCAS Y PARQUES INDUSTRIALES EN EL SALVADOR

UBICACIÓN DE ZONAS FRANCAS / PARQUES INDUSTRIALES

- 1 Zona Franca Santa Ana
- 2 Zona Franca Las Mercedes
- 3 Zona Franca 10
- 4 Zona Franca EXPORTSALVA
- 5 Zona Franca PIPIL
- 6 Zona Franca SAM-LI
- 7 Zona Franca American Park
- 8 Zona Franca Santa Tecla
- 9 Zona Franca San José
- 10 Zona Franca San Marcos
- 11 Zona Franca San Bartolo
- 12 Zona Franca Santo Tomás
- 13 Zona Franca Internacional
- 14 Zona Franca MIRAMAR
- 15 Zona Franca El Pedregal
- 16 Zona Franca Concordia Industrial Park
- 17 Zona Franca Calvo
- 18 AirCity
- 19 Altius Tech Park
- 20 Apolo Industrial Park
- 21 Orion Industrial Park
- 22 Parque Industrial El Progreso
- 23 Sirius Industrial Park



Simbología

Carretera Panamericana	Carretera Litoral	Carretera Longitudinal del Norte	Frontera	Capital	Ciudades Principales	Puertos	Aeropuertos
------------------------	-------------------	----------------------------------	----------	---------	----------------------	---------	-------------

ANEXO 2 COTIZACIÓN ANÁLISIS DE HUMEDAD

Cotización de LECC



COTIZACIÓN

Liderazgo + Excelencia + Compromiso + Confiabilidad

Calle San Antonio Abad, No. 1965. S.S., El Salvador
PBX: (503) 2525-0200 WhatsApp: +503 7180-4157
Correo: info@lecc.com.sv www.lecc.com.sv

NÚMERO DE TRABAJO: SOW-011114 v1

FECHA: 08/10/2024

ELABORADO POR: Enrique Romero

VIGENTE AL: 07/11/2024

Para: Jennifer Michelle Valencia
JENNIFER MICHELLE VALENCIA
vh15024@ues.edu.sv
7638-5200

FORMA DE ENTREGA	TIEMPO DE ENTREGA	CONDICIONES DE PAGO
Por correo electrónico, desde la cuenta: informes@lecc.com.sv	15 días hábiles (No incluye fines de semana, ni asuetos)	Anticipado
ACLARACIONES: - Cantidad mínima de muestra a remitir: 1 kg - Precio no incluye visita para toma y transporte de muestra - Para poder recibir la muestra e iniciar el proceso analítico, favor compartir la solicitud con la información de la muestra - Si durante el proceso analítico no es posible cuantificar algunos de los parámetros debido a las características de la muestra, se colocará en el resultado: "No es posible cuantificar debido a interferencias"		

CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO POR UNIDAD	TOTAL DE LÍNEA
1	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO EN LODO RESIDUAL. ESPECIFICACIONES SEGÚN RTS 13.05.01:18 AGUA. AGUAS RESIDUALES. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES PARA DESCARGA Y MANEJO DE LODOS RESIDUALES.	\$19.47	\$19.47
	Humedad. Referencia: ASTM D-2974. Método: ASTM D-2974.		
		SUBTOTAL	\$19.47
		IVA	\$2.53
		TOTAL	\$22.00

* Ensayos acreditados por el OSA.

Consultar detalle en: <https://www.osa.gob.sv/descarga/lecc/>

- Puede consultar el significado de las abreviaturas en: www.lecc.com.sv

Este es un presupuesto de los servicios indicados, sujetos a las condiciones indicadas a continuación:

- Servicios no descritos en la cotización tienen un costo adicional.
- El tiempo de entrega inicia a partir de un día hábil después de recibida la muestra y que el cliente ha completado información de envío e instrucciones especiales.
- Para facturar el servicio remitir tarjeta de IVA. Si su empresa es gran contribuyente, recuerde retener 1% de IVA.

Para pagos por transferencia:

- Cuenta corriente a nombre de ESEBESA S.A. DE C.V. de Banco de América Central: 200721710
- Cuenta corriente a nombre de ESEBESA S.A. DE C.V. de Banco Agrícola: 504-006320-0

De ser aprobada esta cotización por favor notificarnos y enviar el comprobante de transferencia al correo: pago@lecc.com.sv

Si su sistema incluye orden de compra, por favor remitir al correo: ordenesdecompra@lecc.com.sv

Nos dedicamos exclusivamente a brindar servicios analíticos y así garantizar la imparcialidad de sus resultados.

Firma y sello de aceptación: _____

Consulte nuestro compromiso de confidencialidad en: <https://lecc.com.sv/compromiso-de-confidencialidad/>

¡Gracias por su confianza!

Cotización de Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI)

San Salvador, 10 de octubre de 2024

Respetable

Ing. Jennifer Michelle Valencia
Vh15024@ues.edu.sv
OFA241010-1923-JB.

Reciba un cordial saludo del personal técnico y Administrativo del Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V. (CCCI)
En atención a su amable solicitud, anexo para su consideración la siguiente oferta de servicio, confío en que sea de su entera satisfacción.

ANALISIS EN LODOS

Cantidad	Descripción del servicio	Metodo a utilizar	Cantidad de muestra utilizada	Precio unitario por servicio	Precio total por 1 servicios	Tiempo de entrega de resultados
1	Humedad*	Gravimétrico, AOAC, 2019 9030.15	1 kg.	\$45.00+IVA	\$45.00+IVA	10-12 días hábiles después de recibida la muestra

Total:	\$45.00+IVA
---------------	--------------------

Análisis y muestreo acreditado
*Análisis y muestreo no acreditado

Cuando el cliente enviara la muestra (No se incluye oferta de los servicios de muestreo)

CUADRO RESUMEN

Análisis lodos	\$45.00
Toma de muestra y transporte(cliente traerá muestra)	\$0.00
Subtotal:	\$45.00
IVA (13%):	\$5.85
TOTAL:	\$50.85

Cliente traerá muestra

CONDICIONES DE LA OFERTA:

El tiempo de análisis inicia a partir del primer día después de recibir la(s) muestra (s) en el Laboratorio y se cuentan los días hábiles (no incluye fines de semana, ni días feriados).
Los servicios ofertados serán realizados en las instalaciones del Laboratorio, a excepción de los servicios Sub contratados indicados en la oferta

**Si va a enviar muestras, puede solicitar los recipientes previamente en el laboratorio (cancelarlos, se descontara el pago de los mismos al momento de cancelar el costo ofertado) si no dispone de un método para la toma y transporte de la muestra solicitar las indicaciones en el laboratorio.
Favor llenar de manera completa la solicitud de análisis sin obviar el apartado de la cadena de custodia, identificar en la solicitud de análisis y /o en las muestras la información que requiera en el reporte incluyendo: Dirección, número de lote, fecha, etc.**

ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

Página 1 de 2



CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A. de C.V.

Calle San Antonio Abad. Urb. Lisboa N° 35 Telefax: 2284-5933,2284-0223.

ventas@ccci.com.sv; www.ccci.com.sv

La oferta de manera general no incluye gastos de envío de reporte, estos se deberán recoger en nuestras instalaciones, y/o en la solicitud deberá indicar si los mismos pueden ser enviado escaneados, con lo cual no serán impresos, la entrega de los reportes está sujeta a los acuerdos de cada oferta.

En el caso se requiera entrega de resultados a domicilio, el costo será de: \$ 15.00 +IVA área metropolitana, otras zonas su costo variara según el lugar de la entrega.

Indicar por escrito si en su reporte va a requerir una declaración de aceptación o rechazo del resultado. (La declaración se emitirá si se dispone de una norma de referencia o si el cliente la proporciona). Caso no envíe indicaciones, interpretaremos que dicho dictamen no es requerido.

El servicio de transporte y recolección de muestra se realizará previa programación y podrá ser suspendido o cancelado por el cliente con una notificación de 24 horas antes de realizarlo, sin ningún costo adicional, caso contrario se recargará un nuevo costo de muestreo, si el mismo es reprogramado sin la previa notificación cliente o llegamos a sus instalaciones y se suspende en el momento de la visita.

La emisión de copias de un reporte ya emitido, por modificación de información dada por el cliente o extravío tendrá un costo de \$5.00+ IVA por reporte.

Reportes en idioma ingles tendrán un costo adicional de \$ 5.00 + IVA

Cualquier servicio de análisis no contemplado en esta oferta, se cobrará como un servicio adicional, previa autorización del cliente, generándose una nueva oferta incluyendo los cambios realizados.

Forma de pago: CONTADO AL INGRESO DE LA MUESTRA

Cheque a nombre de: Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V.

Depósitos bancarios cuenta corriente Banco Agrícola 510-008235-3 o Banco de América Central cuenta 200762789. (favor enviar comprobante de transferencia)

Validez de la oferta: 30 días hábiles

El laboratorio se responsabiliza y compromete a salvaguardar la confidencialidad de la información del cliente, recibida y/o generada durante la realización del servicio, a excepción de requerimientos de ley, de auditorías del SGC o de acreditación de acuerdo a la norma 17025:2017 requisito 4.2.2. y el MGC 4.2.2

Laboratorio de ensayo acreditado por OSA con registro N° LEA-15:07 para el alcance detallado en www.osa.gob.sv.

El CCCI es un Laboratorio que trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma ISO /IEC 17025:2017 vigente, como parte de la garantía de la calidad de nuestros servicios y procesos.

Si está de acuerdo con la oferta, favor reenviarla firmada y sellada al correo atencionalcliente@ccci.com.sv, ventas@ccci.com.sv adjuntando el NIT e IVA de la empresa.

Esperamos que los servicios ofrecidos llenen sus expectativas, y en el momento que los necesite nos tome en cuenta.

Atentamente:

Aceptación del cliente:

**Dra. Sulma Reyes de Serpas
Directora Ejecutiva**

Este documento ha sido generado electrónicamente y es válido sin firma y sello

ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

ANEXO 3 FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

<i>Ficha de recolección de información acerca del sistema de tratamiento de lodos</i>
¿Cuál es la cantidad de m ³ de agua residual tratada? Especificar periodo de tiempo. 60,000 m³/semana
¿Cuál es la cantidad de m ³ de lodos generados? Especificar periodo de tiempo. 110 toneladas mensuales
¿Cuál el % de humedad final de los lodos residuales? 80%
¿Cómo calculan el % de humedad final de los lodos residuales? Mufla: reporte de laboratorio acreditado
¿Les miden parámetros a los lodos? Sí, según RTS 13.05.01:24
¿Realizan caracterización de lodos? Si
¿Como gestionan la disposición final de los lodos residuales? Con proveedor autorizado, se envían a relleno sanitario
¿Su gestor realiza caracterización de lodos residuales? Sí, como residuo especial
¿El servicio ofrecido por el gestor es en base a volumen o peso de los lodos residuales? En base a peso
¿Cuál es costo del servicio de disposición? \$64.50/Ton + transporte flete \$357.50
¿Cuál es la frecuencia del uso de este servicio? 2 veces por semana
¿Cuál es el volumen total de lodos entregados al gestor para su disposición? 15 toneladas en cada entrega
¿Venden o disponen de alguna manera sus lodos residuales? Si la respuesta es sí, especificar más información sobre el proceso de venta o disposición. NO
Información adicional ¿Cuál es el producto químico que se utiliza para la deshidratación de solidos? Floculante catiónico Nombre de floculante catiónico: Zetag 8846FS ¿Cuál es la dosis que se utiliza de este? Puede varias 190 ppm – 180 ppm

ANEXO 4 COTIZACIÓN DE EQUIPOS

Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (MYEP)



Proposal of Sludge deep drying

Deep Drying Project

Design Capacity	0.3tons 80& wet material per hour
Subject	Deep drying
Main Tech	Heat Pump Dryer
Operation Mode	<u>24hrs/day</u>
Date	2024-11-18

Sludge dryer LTD	
Model	MYB7200FL
Water removal/day	7200kg
Working Power	75kw
Heat Pump Module	3set
Compressor Amount	12set
Cooling Method	Air fan cooling
Refrigerant	R134a
Drying Temperature	48 ~ 56 °C (recycle air)/ 65 ~ 80 °C (supply air)
Applicable range of outlet sludge	10%~50%
Size(mm)	9160*2190*2420mm
Weight	8ton
Power supply	220v/380v/440v

No.	Item	Model	Qty	Unit Price	Amount	Remarks
Dryer						
(1)	Dryer	MYB7200SL	1	119,700	119,700	
include	Slitter					
	PLC control panel					
	Power distribution					
System Total cost					USD 119,700	

Secador de lodos de tipo banda de baja temperatura (DIYE ENERGY)

S.N	Name	Specification	Unit	QTY	Unit Price (\$)	Amount (\$)	Remark
one	Sludge heat pump low temperature drying equipment	DY-WN4800FL	set	1	\$108,571	108,571	Corrosion resistance; frame 304; heat exchanger material 316L
1	Mesh belt and insulation board	SUS304, the insulation layer is polyurethane	set	1			SUS304
2	Heat pump host	Frame SUS304	set	1			SUS304
3	hopper	SUS304	set	1			SUS304
4	Electronic control	Intelligent control, contactor Schneider	tower	1			
Two	Discharge screw and hopper	Shell SUS304, spiral 16# manganese steel	set	1	\$6,428	\$6,428	
Three	Wet material bin and feeding conveyor system	custom made	set	1	\$50,000	\$50,000	SUS304
Four	Shipping fee/in place	Shipping not included	item	/			Shipping fee not included
	Total					\$164,999	
Remark	(1) The above quotation does not include the civil construction of the equipment site and the equipment foundation cost;						

Secador de tambor rotativo (Zhengzhou Jiutian Machinery)



Productos

Cuéntanos lo que estás buscando...



Publicar mi RFQ

Iniciar Sesión / Unirse

Todas las Categorías

Comprador

Ayuda

Apps

Español

Inicio > Equipo y Componentes Industriales > Aparato de Protección del Medio Ambiente > Equipo de Tratamiento de Aguas Residuales



Equipo de tratamiento de aguas residuales Secador de tambor rotativo de lodos Petroquímicos de gran capacidad Con pala

US\$ 10.000,00-30.000,00

1 Pieza (MOQ)

Detalles de Producto

Personalización: Disponible
 Servicio postventa: instalación, puesta en marcha, formación técnica
 Garantía: 1 años

Contáctame

Charlar

No. de Modelo.	JTNJ
Uso	Industrial, Familia, Agricultura, Hospital
humedad inicial (%)	53-85%
fuelle de calor	combustibles sólidos como combustibles de biomasa, corteza, etc.
área de planta(m)	20*5-30*10
Especificación	20m*5m-30m*10m
Origen	Henan, China

Tipo	máquina de secado
capacidad (t/h)	30-200
humedad final (%)	≤25%
potencia total (kw)	40-236
Paquete de Transporte	contenedor
Marca Comercial	jiutian
Capacidad de Producción	20 sets/mes

Parámetro técnico

Modelo	JTNJ1412	JTNJ1612	JTNJ1812	JTNJ2012	JTNJ2512	JTNJ2812	JTNJ3012	JTNJ3212	JTNJ3412
Capacidad (T/h)	30	50	60	80	100	120	150	180	200
Humedad inicial (%)	53-85%								
Humedad final (%)	≤25%								
Fuente de calor	Combustibles sólidos como combustibles de biomasa, corteza y bloques de madera.								
Potencia total (kW)	40	58	65	86	126	157	188	217	236
Superficie de la planta(m ²)	20*5	20*5	22*6	22*6	25*8	25*8	28*8	30*10	30*10