



Instituto de
Postgrado

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSTGRADO**

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE AGROEMPRESAS Y AGRONEGOCIOS

**“VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA
PROCESADORA DE HUMUS ELABORADO A PARTIR DE EFLUENTES DE LA
INDUSTRIA LÁCTEA”**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magister en Gestión de
Agroempresas y Agronegocios**

DIRECTOR:

Ing. Lucía del Rocío Vásquez Hernández, PhD

AUTOR:

Ing. Milton Polivio Ramírez Landeta

IBARRA – ECUADOR

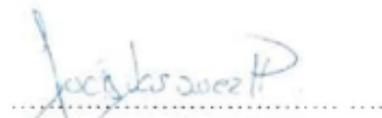
2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Grado "VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA PROCESADORA DE HUMUS ELABORADO A PARTIR DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA", presentado por el Ingeniero Milton Ramírez Landeta, para optar por el grado de Magíster Gestión de Agroempresas y Agronegocios, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación (pública o privada) y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a 28 día del mes de septiembre de 2021.

Lo certifico:



Ing. Lucia del Rocio Vásquez Hemández, PhD

CI.: 100268272-0

DIRECTOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	171554797-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ramírez Landeta Milton Polivio		
DIRECCIÓN:	Cayambe, Urb, Donoso Cabezas #14		
EMAIL:	mpramir2@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	0999278197	TELÉFONO MÓVIL:	0999278197

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA PROCESADORA DE HUMUS ELABORADO A PARTIR DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA.
AUTOR (ES):	Milton Ramírez Landeta
FECHA:	28 de septiembre de 2021.
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Magíster en Gestión de Agroempresas y Agronegocios
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Lucía del Rocío Vásquez Hernández, PhD

2. CONSTANCIAS

El (La) autor (a) (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a 28 de septiembre de 2021.

EL AUTOR:



Nombre: Milton Polivio Ramírez Landeta

C.C.: 171554797-0

REGISTRO DE POSGRADO

Guía: POSTGRADO - UTN

Fecha: 28 de septiembre de 2021.

MILTON RAMÍREZ LANDETA "VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA PROCESADORA DE HUMUS ELABORADO A PARTIR DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA" / Trabajo de grado de Magister en Gestión de Agroempresas y Agronegocios, Universidad Técnica del Norte "UTN", Ibarra.

DIRECTORA DE TESIS: Lucía del Rocío Vásquez Hernández

La investigación tuvo como objetivo evaluar la viabilidad y factibilidad técnica y económica de una planta procesadora de humus elaborado a partir de efluentes de la industria láctea. Para ello se realizó un diagnóstico del estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del medio ambiente (cuanto, cuando, como, cantidades, contenidos). También se identificó la viabilidad técnica de la producción de humus a base de efluentes de la industria láctea. Se evaluó la factibilidad económica de una planta procesadora de humus a base de efluentes de la industria láctea. Finalmente, se plantearon estrategias para la producción sostenible y sustentable de humus.

Fecha: Ibarra, 28 de septiembre de 2021.



Ing. Lucía del Rocío Vásquez Hernández, PhD

Directora



Ing. Milton Bonvivo Ramírez Landeta

Autor

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con todo mi corazón a:
Mi amada esposa Gaby y mis adorados hijos
Matías y Zabdy, quienes pese a las
complicaciones que pudo haber generado estos
estudios siempre estuvieron ahí como mi
complemento y para hacer feliz mi vida.

Mis padres y mis hermanos quienes con sus
palabras y ejemplo siempre pondrán únicamente
cosas positivas en mi vida y en la de mi familia.

AGRADECIMIENTO

Primero a mi Dios por permitirme tener esta experiencia de vida.

A la Universidad Técnica del Norte por todo lo que me ha dado por todo lo que ha puesto en mí lo cual me ha permitido abrirme camino en mi vida como un hombre de bien y de trabajo.

A mi tutora, asesor y mis profesores quienes supieron brindar siempre su apoyo para la realización de este trabajo.

A mis compañeros de aula y amigos en general que apoyaron la realización de este proyecto.

.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. Contextualización del problema	16
1.2. Problema de investigación	17
1.3. Formulación del problema	17
1.4. Preguntas de investigación.....	18
1.5. Objetivos de la investigación.....	18
1.5.1. Objetivo general	18
1.5.2. Objetivos específicos.....	18
1.6. Justificación	18
CAPÍTULO II	20
MARCO REFERENCIAL	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Marco teórico	21
2.2.1. La industria láctea en el Ecuador	21
2.2.2. Composición de la leche	22
2.2.3. Aguas residuales como residuos de la industria láctea	23
2.2.3.1. <i>Clasificación de las aguas residuales</i>	24
2.2.3.2. <i>Características químicas de las aguas residuales</i>	25
2.2.3.3. <i>Características físicas de las aguas residuales</i>	26
2.2.3.4. <i>Características biológicas</i>	27
2.2.4. Mecanismos de tratamiento de aguas residuales.....	28
2.2.4.1. <i>Sistema TOHÁ como mecanismo de tratamiento de aguas residuales</i>	29
2.2.4.2. <i>Esquema de conformación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la empresa INPROLAC</i>	29
2.2.4.3. <i>Lombriz roja californiana (Eisenia foetida) como microorganismo de proceso biológico</i>	30
2.2.4.4. Humus resultante del tratamiento de aguas residuales con microorganismos biológicos	31
2.2.5. Legislación vigente en el Ecuador sobre descargas de aguas residuales	32
CAPÍTULO III	34
MARCO METODOLÓGICO	34
3.1. Descripción del área de estudio	34
3.2. Tipo de investigación.....	35
3.3. Procedimientos y métodos	35
3.3.1. Fase I: diagnóstico del estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del medio ambiente	35
3.3.1.1. <i>Cuantificación de volumen de los procesos industriales</i>	36
3.3.1.2. <i>Toma de muestras de efluentes lácteos</i>	36
3.3.1.3. <i>Ensayos fisicoquímicos</i>	37
3.3.1.4. <i>Medición de caudal</i>	37
3.3.2. Fase II: identificación de la viabilidad técnica de la producción de humus a base	

de efluentes de la industria láctea.....	37
3.3.2.1. Sistema Tohá	37
3.3.2.4. Estudio de impacto ambiental y social	38
3.3.3. Fase III: evaluación de la factibilidad económica de una planta procesadora de humus a base de efluentes de la industria láctea	38
3.3.3.1. Estudio económico - financiero	39
3.3.4. Fase IV: planteamiento de estrategias para la producción sostenible y sustentable de humus	40
CAPÍTULO IV.....	41
RESULTADOS	41
4.1. Diagnóstico del estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del ambiente (cuanto, cuando, como, cantidades, contenidos).	41
4.1.1. Uso del agua en los procesos industriales lácteos y generación de aguas residuales.....	41
4.1.2. Análisis fisicoquímico del agua residual.....	44
4.2. Viabilidad técnica de la producción de humus a base de efluentes de la industria láctea	47
4.2.1. Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	47
4.2.2. Costo de inversión para instalar el sistema Tohá	49
4.3.1. Costos de producción	50
4.3.2. Ingresos	51
4.3. Planteamiento de estrategias para la producción sostenible y sustentable de humus.....	52
CAPÍTULO V	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
5.1. Conclusiones	56
5.2. Recomendaciones	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales industrias lácteas del Ecuador.....	22
Tabla 2. Comparación de contenido de diferentes constituyentes de leche en tres razas....	22
Tabla 3. Valores promedios de los residuos industriales de la industria láctea.....	23
Tabla 4. Métodos utilizados por laboratorio.....	37
Tabla 5. Esquema de la matriz FODA y cruce de variables.....	40
Tabla 6. Volumen semanal de leche y aguas residuales.....	41
Tabla 7. Diagnóstico del estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del medio ambiente.	43
Tabla 8. Comparativo de análisis de agua residual y los límites máximos permitidos, establecidos en la norma calidad ambiental y descarga de efluentes en Ecuador.	45
Tabla 9. Evaluación de fósforo y nitrógeno.	46
Tabla 10. Comparativo empresas aguas residuales finales.....	46
Tabla 11. Detalle y costos de inversión.....	49
Tabla 12. Registro de costos (\$/1 año).	50
Tabla 13. Ingresos.....	51
Tabla 14. Flujo de caja.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de tratamiento de aguas bajo Sistema Toha.....	30
Figura 2. Mapa de ubicación de la planta de lácteos INPROLAC S.A.....	34
Figura 3. Muestras de agua de efluentes lácteos antes y después del tratamiento con el sistema Tohá, empresa INPROLAC S.A.	36
Figura 4. Volumen de aguas residuales por la línea de producción. Basado en registros de producción del año 2020 de la industria INPROLAC S. A.....	42
Figura 5. Volumen m ³ aguas residuales/día por producto. Basado en registros de producción del año 2020 de la industria INPROLAC S. A.....	42
Figura 6. Diseño de la PTAR instalada en la industria INPROLAC S. A.	48
Figura 7. Esquema sistema Tohá, INPROLAC. S.A.....	49

ABREVIATURAS

INEN	Norma técnica ecuatoriana
ARCOSA	Agencia de regulación y control sanitario
BPM's	Buenas prácticas de manufactura
HACCP	Análisis de peligros y puntos críticos de control
VAN	Valor actual neto
TIR	Tasa interna de retorno
RIL	Residuos Industriales líquidos
ERNC	Energía Renovable No Convencional
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
SD	Sólidos disueltos
SS	Sólidos suspendidos
Ss	Sólidos sedimentables
ST	Sólidos totales
PIB	Producto interno bruto
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
NTC	Norma Técnica Colombiana
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
OD	Oxígeno disuelto
DQO	demanda química de oxígeno
DBO	Demanda biológica de oxígeno

MAGAP Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
MAE Ministerio de Ambiente del Ecuador
PTAR Planta de tratamiento de aguas residuales

“VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA PROCESADORA DE HUMUS ELABORADO A PARTIR DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA”

Autor: Milton Ramírez Landeta

Tutor: Ing. Lucía del Rocío Vásquez Hernández, PhD

Año: 2021

RESUMEN

Las industrias lácteas son unas de las principales fuentes de aguas residuales que causan contaminación de los cursos de agua receptores. Esto genera la necesidad de implementar plantas de tratamientos de agua para el manejo adecuado de los recursos hídricos. El objetivo del proyecto fue evaluar la viabilidad técnica y económica de una planta que genera humus a partir del tratamiento con biofiltro de los efluentes generados por la industria láctea INPROLAC S.A. El caudal promedio diario fue medido mediante la multiplicación de los aspersores que compone el sistema, evaluando también parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, mediante muestreos de las tres piscinas del sistema de tratamiento. Se obtuvo un promedio semanal de aproximadamente 1,064,396.00 litros de agua residual por un consumo de leche aproximado de 264,597.00 litros (4 L de agua residual por 1 L de leche procesado). El consumo de leche es para seis procesos agroindustriales, sin embargo, los que más aguas residuales generan son la de quesos y yogurt. La producción anual de humus es de 175 toneladas métricas producto del tratamiento de biofiltros a base de los efluentes. El sistema de tratamiento tiene una eficiencia de aproximadamente un 95%, con base a la reducción de los parámetros de DBO 95.7 %, DQO 95,7%, SST 95%; cumpliendo con la norma vigente ambiental del Ecuador y permitiendo reutilizar el agua para el uso agrícola de la zona. La inversión total para la implementación del sistema de tratamiento fue de \$119,000.00, el cual incluye todos los gastos de instalaciones, infraestructura y análisis correspondientes, obteniendo un VAN 784.52\$ y una TIR 18%. De esta forma se concluye que la implementación del sistema de tratamiento Toha es viable en aspectos técnicos y económicos.

Palabras clave: aguas residuales, biofiltro, humus, industrias lácteas, procesos biológicos, sistemas de tratamiento Toha, viabilidad técnica y económica.

“TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF A HUMUS PROCESSING PLANT MADE FROM EFFLUENTS FROM THE DAIRY INDUSTRY”

Author: Milton Ramírez Landeta

Reviser: Ing. Lucía del Rocío Vásquez Hernández, PhD

Año: 2021

SUMMARY

Dairy industries are one of the main sources of wastewater that cause contamination of receiving watercourses. This generates the need to implement water treatment plants for the proper management of water resources. The objective of the project was to evaluate the technical and economic viability of a plant that produces humus from the biofilter treatment of the effluents generated by the dairy industry INPROLAC S.A. The average daily flow was measured by multiplying the sprinklers that make up the system, also evaluating physical, chemical and bacteriological parameters, through samplings of the three pools of the treatment system. A weekly average of approximately 1,064,396.00 liters of residual water was obtained for an approximate milk consumption of 264,597.00 liters (4 L of residual water per 1 L of processed milk). The consumption of milk is for six agro-industrial processes, however, those that generate the most wastewater are cheese and yogurt. The annual production of humus is 175 metric tons as a result of the treatment of biofilters based on the effluents. The treatment system has an efficiency of approximately 95%, based on the reduction of the parameters of BOD 95.7%, QOD 95.7%, SST 95%, complying with the current environmental norm of Ecuador and allowing the reuse of water for agricultural use in the area. The total investment for the implementation of the treatment system was \$ 119,000.00, which includes costs of facilities, infrastructure and corresponding analysis, obtaining a NPV of \$ 784.52 and an IRR of 18%. In this way, it is concluded that the implementation of the Toha treatment system is viable in technical and economic aspects.

Keywords: wastewater, biofilter, humus, dairy industries, biological processes, Toha treatment systems, technical and economic feasibility.

INTRODUCCIÓN

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) determinaron que la producción mundial de leche (81% de vaca, 15% de búfala y un total de 4% de leche de cabra, oveja y camella combinadas) creció 1.3% en 2019 y ascendió a cerca de 852 millones de toneladas (Mt) (OCDE y FAO, 2020).

Según datos del Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) en Ecuador se producen 5.4×10^6 L día⁻¹, de los cuales más del 50% se destinan a la producción de derivados lácteos; 1.2×10^6 (22%) a la producción de queso informal; y 1.4×10^6 (25.93%) para autoconsumo (MAGAP, 2014).

El sector alimentario es uno de los máximos consumidores de agua a nivel industrial y, por lo tanto, produce altos volúmenes de efluentes residuales (Lucas, 2018). El aumento de la demanda de leche y derivados (leche pasteurizada, yogurt, queso, crema, mantequilla, helado, leche en polvo) ha generado un incremento de la capacidad operativa a nivel mundial en la industria láctea (Kushwaha *et al.*, 2011). Como resultado se genera entre 0.2 a 10 L de efluente por 1 L de leche procesada (incluye limpieza de botellas, frascos, tanques y equipos), con un promedio de 2.5 L (Shete y Shinkar, 2013).

En el agua limpia la demanda biológica de oxígeno (DBO) es de 0-20 mg L⁻¹ y a la demanda química de oxígeno (DQO) es de 2 mg L⁻¹. Sin embargo, el efluente lácteo contiene orgánicos solubles, sólidos en suspensión y trazas orgánicas (suero, lactosa, sales minerales y proteínas (caseína, albuminas y globulinas); compuestos que incrementan la DBO en 2.000 - 3.000 mg L⁻¹ y la DQO en 2.000 - 4.000 mg L⁻¹ (Pisutpaisal, y Sirisukpoca, 2014).

Incrementos del DBO y DQO conllevan a que el agua se vuelva turbia y verdosa, apareciendo bacterias anaerobias que consumen el oxígeno de las aguas, para oxidar la materia orgánica y vegetal (Del Pino y Calderón, 2017). Como resultado de este proceso, la diversidad biótica en los cauces de agua natural disminuye. Por lo tanto, toda la cadena láctea (producción, procesamiento, empaque, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización) impacta de forma negativa al ambiente (Strydom *et al.*, 1993).

José Tohá, fue el primero en demostrar que la vermifiltración es un sistema sustentable y altamente eficiente en términos de remoción de contaminantes del agua, por ejemplo, tiene eficiencia de 95% de DBO, 95% de sólidos totales, 93% de sólidos suspendidos volátiles, 80% aceites y grasas, 60 - 80% de nitrógeno total, 60 – 70% de fósforo total, 99% coliformes fecales. Es un sistema que produce agua sin olores, que pueden ser usadas en el riego de vegetales, disminuyendo las emisiones de material particulado. Además, un atributo del sistema Tohá es que, produce un subproducto (humus) que puede ser utilizado como abono natural (Soto y Tohá, 1998).

La diversidad de productos y métodos de producción de la industria láctea INPROLAC S.A. producen residuos industriales líquidos muy variables, con elevados contenidos de DBO, DQO, nutrientes (fosfatos, minerales), sólidos suspendidos o disueltos (grasas y aceites). Si estos parámetros de calidad de agua no se tratan de forma adecuada, se descargarían directamente a la fuente de agua más cercana (río), lo cual provocaría una considerable contaminación ambiental.

En este sentido, la industria ha implementado el sistema de tratamiento Toha con la finalidad de realizar un tratamiento de aguas residuales con resultados óptimos. Por lo tanto, la presente investigación evalúa la viabilidad y factibilidad técnica y económica de la planta procesadora de humus elaborada a partir de efluentes de la industria láctea INPROLAC S.A.

El documento está estructurado en cinco capítulos. En el capítulo uno se estableció la problemática, las preguntas de investigación, los objetivos del estudio y la justificación. En el capítulo dos se analizaron los antecedentes y el marco teórico, utilizando información obtenida por revisión bibliográfica. El capítulo tres se desarrolló la metodología utilizada en la investigación, trabajando en cuatro fases que responden a los objetivos planteados. El capítulo cuatro consiste en la presentación de resultados, donde se diseñaron varias estrategias para la producción sostenible del humus. En el capítulo cinco se desarrollaron las conclusiones y recomendaciones, donde se determinó que la principal estrategia en trabajar en pruebas de resistencia a pequeños lotes de lombrices. Esto consiste en someter las lombrices a cambios paulatinos de pH considerando la inestabilidad de los afluentes de una industria láctea.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Contextualización del problema

La industria láctea es de gran importancia para el sector agrícola y ganadero, sin embargo, presenta problemas de contaminación, principalmente por los procesos de tratamiento del agua inadecuados. Esto genera que la composición física, química y biológica del agua cambie, de manera que no reúne las condiciones mínimas para el consumo humano o el uso en actividades agrícolas (Santamaría *et al.*, 2015).

Para solucionar los problemas de contaminación por aguas residuales en 1930 Estados Unidos, Alemania, Francia y Suiza establecen plantas de procesamiento con plantas de tratamiento de aguas (Foster, 1965). El sistema de aguas residuales permite la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos; producto de esto se obtiene un agua tratada, que puede ser reutilizada (Pons, *et al.*, 2004). Sin embargo, los sistemas de tratamiento de efluentes mal gestionados pueden tener una variedad de impactos ambientales adversos como la contaminación del agua superficial y subterránea, disminuyendo la calidad del suelo (Cameron, Di y McLaren, 1999).

El tratamiento de aguas residuales de la industria láctea es complejo. Por ejemplo, la presencia de sólidos de la leche registra un contenido orgánico y una demanda biológica (DBO) y química (DQO) de oxígeno considerables. Además, existen grandes cargas orgánicas derivadas de la sal utilizada para elaborar queso, lo cual afecta la salinidad, ácidos, álcali, cloro, peróxido de hidrógeno y amonio cuaternario, entre otros (Santamaría *et al.*, 2015).

Por esta razón, estas aguas residuales necesitan un proceso de tratamiento adecuado antes de ser depositadas en cursos de aguas naturales. Sin embargo, algunos métodos de tratamiento llegan a ser costosos, incluso hay sistemas que se instalan de manera incorrecta, lo cual genera problemas de depreciación de infraestructuras y equipos, además de pérdidas económicas (Pastor, 2008).

1.2. Problema de investigación

En el Ecuador los efluentes o aguas residuales de la industria láctea no tienen un tratamiento adecuado, es así como, gran cantidad de agua que proviene de procesos agroindustriales se vierte directamente a los recursos lóticos y lénticos naturales (Vera e Iglesias, 2018). Esto tiene repercusiones sociales y ambientales negativas que se derivan específicamente de factores como: falta de responsabilidad y conciencia ambiental; falta de recursos para instalar una planta de tratamiento de aguas residuales; desconocimiento de métodos y nuevas tecnologías; deficiente control sanitario y monitoreo ambiental de las entidades regulatorias; altos costos de inversión; y, la variabilidad de procesos y cantidad de materia prima procesada.

Para reducir los efectos de los contaminantes del sector industrial, es importante implementar estrategias que impliquen minimización en el origen, uso de tecnología de producción más avanzada y limpia, reúso y reciclaje interno, tratamiento y disposición, y a su vez efectuar la tecnología de tratamiento de efluentes líquidos (vermicompost). Sin embargo, previo a la instalación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se debe realizar estudios de factibilidad. Esto con la finalidad de determinar el más adecuado, que genere ventajas económicas y operacionalidad.

INPROLAC S.A. ha implementado el sistema de tratamiento de aguas residuales Toha, el cual elabora humus a partir de efluentes de la industria. Sin embargo, no se ha realizado un estudio de factibilidad técnica y económica que le permita comparar sus resultados con otros sistemas. Por otra parte, es necesario compartir los resultados de factibilidad con las pequeñas, medianas y grandes industrias lácteas del país. Esto con la finalidad de generar información para que las empresas realicen una selección adecuada de sistemas de tratamiento. La finalidad es trabajar con sistemas sostenibles que aporten al cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), de manera que se disminuya el uso de químicos o la evacuación directa a los vertederos.

1.3. Formulación del problema

Necesidad de realizar una evaluación de la viabilidad técnica y económica de una planta procesadora de humus elaborado a partir de efluentes de la industria láctea INPROLAC S.A.

1.4. Preguntas de investigación

- ¿Cuál es el estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del ambiente (cuanto, cuando, como, cantidades, contenidos)?
- ¿Es técnicamente viable la producción de humus a base de efluentes de la industria láctea?
- ¿Es económicamente factible la planta procesadora de humus a base de efluentes de la industria láctea?
- ¿Cuáles son las estrategias más idóneas para la producción sostenible y sustentable de humus?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la viabilidad y factibilidad técnica y económica de una planta procesadora de humus elaborado a partir de efluentes de la industria láctea.

1.5.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del medio ambiente (cuanto, cuando, como, cantidades, contenidos).
- Identificar la viabilidad técnica de la producción de humus a base de efluentes de la industria láctea.
- Evaluar la factibilidad económica de una planta procesadora de humus a base de efluentes de la industria láctea.
- Plantear estrategias para la producción sostenible y sustentable de humus.

1.6. Justificación

La industria láctea genera efluentes que causan problemas ambientales, en especial en las fuentes de agua en las que se descargan. Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales es la vermifiltración, a través de la introducción de lombrices de tierra en el sistema de filtración, con materiales de cama adecuados para descomponer los contaminantes orgánicos (Tomar y Suthar, 2011).

Este sistema no genera lodos, se obtiene humus como subproducto, el cual se puede reutilizar como abono fertilizante para las actividades agrícolas. Además, el consumo de energía es bajo, no genera olores y sus costos de operación y mantenimiento son bajos y requiere una infraestructura simple (Singh *et al.*, 2017).

De acuerdo con las ventajas de la vermifiltración se realizó el presente trabajo de investigación para evaluar la factibilidad de implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales Toha. En este sentido, se analizó la planta de tratamiento de la industria láctea en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha, de manera que se determinó la contribución con el cuidado del ambiente, la viabilidad económica y el potencial productivo de las comunidades de la región.

La investigación se sustenta en varios ODS: Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento; Objetivo 9. Agua, industria, innovación e infraestructura; Objetivo 12. Producción y consumo responsable; Objetivo 13. Acción por el clima; Objetivo 14. Vida submarina (PNUD, 2018).

Además, en la Constitución de la República del Ecuador (2008), específicamente en el “**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua” (p. 13). **Art. 276**, específicamente en el objetivo 4 del régimen: “**Objetivo 4.** Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural” (*Op. Cit*, p. 89).

Finalmente, en Plan Nacional de Desarrollo. Toda una vida (2017): Objetivo 3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones (SENPLADES, 2017). Además, existen otros documentos legales que incluyen varias políticas en beneficio de la conservación y recuperación de los recursos hídricos.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

Existe una amplia gama de tecnologías para tratar aguas residuales que provienen de las industrias lácteas. Sin embargo, uno de los que han demostrado mayor viabilidad es el sistema de depuración biológica denominado lombrifiltro, el cual consiste en utilizar lombrices de tierra.

En este sentido, existen varios estudios que evalúan la factibilidad de utilizar los sistemas de lombrifiltro. Por ejemplo, Manrique y Piñeros (2016) evaluaron la factibilidad del uso de un sistema de depuración biológica denominada lombrifiltro, que contiene lombrices de tierra (*Eisenia foetida*), realizando una comparación con respecto a un geofiltro (sin lombrices). Los resultados determinaron un 79.56% de reducción de DQO en el lombrifiltro y de 55.18% en el geofiltro, el pH alcanzó un valor de 4.56.

Por otra parte, Kumar, Rajpal, Bhargava y Prasad (2014) demostraron que el potencial del vermifiltro utilizando material de lecho de río con aplicación de aguas residuales a diferentes tasas de carga hidráulica para el tratamiento. Se comparó el vermifiltro que contiene la especie de lombriz de tierra (*Eisenia fetida*) paralelo a un geofiltro (sin lombrices de tierra) para el tratamiento de aguas residuales. La eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales con vermifiltro fue de 96%, 90% y 82%, mientras que en geofiltro se observó 70%, 79% y 56% respectivamente.

Además, Cruz y Rivero (2020) desarrollaron un prototipo de filtro biológico con base en el Sistema Tohá para evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales industriales lácteas y comparar económicamente con un tratamiento convencional. Se determinó un 90.64% de eficiencia para el biofiltro, esto en base a la remoción de la turbidez. La evaluación económica reportó que el biofiltro es más económico (S/. 1,645,805) que un tratamiento convencional (S/. 11,265,880). Además, se determinó un valor neto de S/. 14,791,176.2 con una tasa interna de retorno de 75%, con un valor estimado de recuperación de dos años.

Otro estudio realizado por Gallegos (2019) evaluó la viabilidad y eficiencia de remoción de

contaminantes del sistema de depuración biológica llamado el Lombrifiltro donde se usó la lombriz *Eisenia foetida*. El sistema fue implementado por el proyecto medioambiental “Manchay Verde” que tiene como iniciativa el reúso de aguas residuales para riego forestal. Los resultados determinaron una máxima eficiencia de remoción de 95.46% DBO, 90.84% DQO, 99.37% Coliformes Fecales. Además, se monitoreo de la población de lombrices por un periodo de 30 días, para evaluar principalmente la viabilidad del lombrifiltro, donde se obtuvo una población inicial de 5985 lombrices y una población final de 24 605 lombrices al finalizar la investigación.

2.2. Marco teórico

2.2.1. La industria láctea en el Ecuador

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) realizada en 2017, el país registra 4.2×10^6 bovinos, con un incremento de 1.53% con relación al 2016. La región Sierra cuenta con el 48.87% del total nacional de cantidad de ganado, mientras que la región Costa con 42.32% y el Oriente con 8.77%. La producción de leche registra un aporte de 64.31% en la Sierra; 29.99% en la Costa; y el 5.67% en el Oriente. Además, la industria láctea en el Ecuador ha aportado el 0.5% del PIB total en los últimos 13 años; siendo un factor esencial en la dinámica agropecuaria del país (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2017).

La producción total de leche en el 2017 fue de 5.4 millones de litros/día. De este valor el 37% se destina para autoconsumo, el 53% para la industria formal, y el 10% se emplea en la producción artesanal (Dirección Nacional de Estudios de Mercado, 2021). La leche de la industria formal se emplea para la elaboración de productos lácteos, como; leche en funda 19%, quesos 37%, leche en cartón 16%, leche en polvo 9%, yogurt 15%, otros 3% (Dirección Nacional de Estudios de Mercado, 2021).

En el Ecuador cerca del 78% de la producción de leche se concentra en pequeños y medianos productores, esto representa el 95% del total. Además, se registran alrededor de 30 grandes industrias lácteas, consideradas como las principales en este rubro (Tabla 1) (MAGAP, 2014).

Tabla 1. Principales industrias lácteas del Ecuador.

No.	Industria	Ubicación
1	Pasteurizadora INDULAC	Latacunga
2	NESTLE (INEDECA)	Cayambe
3	Pasteurizadora Quito	Quito
4	INDULAC	Guayaquil
5	Pasteurizadora LECOCEM (PARMALAT)	Lasso
6	La Avelina	Latacunga
7	Ineleche (INDULAC)	Pelileo
8	Miraflores	Cayambe
9	Pasteurizadora Carchi	Tulcán
10	Pasteurizadora Lactodan	Latacunga
11	Lácteos San Antonio	Azogues
12	Productos González	San Gabriel
13	González Cia Ltda	Cayambe
14	Visaenleche (INDULAC)	La Concordia
15	Prolasem	Cuenca
16	Comprolac	Loja
17	Leansa	Sangolquí
18	Porlac	Riobamba
19	NESTLE Balzar	Balzar
20	Pasteurizadora FLORALP	Ibarra
21	PLUCA	Guayaquil
22	La Finca	Latacunga
23	Chiveria	Guayaquil
24	Derilacpi	Salcedo
25	Procesadora Muu	Salcedo
26	Nutri	Cuenca
27	Alpina	Machachi
28	Milmalac	Carchi
29	Alpina	Carchi
30	INPROLAC- DULAC	Cayambe

Fuente: MAGAP (2014).

2.2.2. Composición de la leche

La leche vacuna está constituida en promedio por 87% agua y 13% de sólidos lácteos, porcentajes que varían según la raza, etapa de lactancia, manejo nutricional y otros factores. Los sólidos lácteos provocan la contaminación del agua y entre los principales se encuentran los descritos en la tabla 2 (Gallego, Mahecha y Angulo, 2017).

Tabla 2. Comparación de contenido de diferentes constituyentes de leche en tres razas.

Nutrientes (%)	Holstein	Jersey	J x H
Grasa	3,4	5,2	4,9
Proteína	3,2	3,9	3,6
Lactosa	4,1	4,3	4,2

Fuente: Gallego, Mahecha y Angulo (2017).

2.2.3. Aguas residuales como residuos de la industria láctea

Las aguas residuales pueden resultar de actividades desarrolladas en domicilios, industrias que trabajan en la producción de productos con valor agregado, entre otros. Estas aguas por lo general contienen detergente, materia orgánica, grasas, residuos de la industria, plaguicida y sustancias tóxicas (Ramalho, 1990; Vilanova, Santíny Pedret, 2017). En el caso de la industria láctea existen residuos que afectan de manera negativa a la calidad del agua. Por ejemplo, en la tabla 3 se presenta varios residuos con sus valores promedios de concentración.

Tabla 3. Valores promedios de los residuos industriales de la industria láctea.

Constituyente	Rango	Media
DBO ₅ (mg - O ₂ /L)	450 - 4800	1885
DQO (mg - O ₂ /L)	675 - 7200	2820
Sólidos en suspensión (mg/L)	24 - 5700	1500
Sólidos totales (mg/L)	135.8500	2400
pH	5,3 - 9,4	0
Grasas (mg/L)	35 - 500	909
Proteínas (mg/L)	210 - 550	350
Carbohidratos (mg/L)	252 - 930	522
Fósforo (mg/L)	11 - 160	50

Fuente: Licto (2017).

Los agentes descritos a continuación son los que forman parte de la composición de las aguas residuales y determinan su calidad (Torres, 2018; Moposita y Vistin, 2019):

- *Agentes físicos.* Sustancias radioactivas presentes en el agua, derivados de la energía nuclear y de la actividad de centrales termonucleares. La contaminación térmica se debe al aumento de la temperatura del agua de los ríos o embalses, como efecto de esto disminuye la capacidad del agua para contener oxígeno, que afecta la vida acuática.
- *Agentes patógenos.* Son entidades biológicas, bacterias, virus, parásitos, protozoarios y helmintos capaces de producir enfermedades en el ser humano, animales o vegetales.
- *Desechos orgánicos.* Son compuestos como aceites, grasas, proteínas, entre otros productos producidos por el ser humano y/o animales (heces).
- *Desechos inorgánicos.* Se trata de ácidos, sales o metálicos tóxicos (mercurio y plomo), la presencia en el agua en grandes cantidades puede causar daños en el sistema acuático, reducción de la biodiversidad.

2.2.3.1. Clasificación de las aguas residuales

El reciclaje y la recuperación de las aguas residuales y sus recursos es necesario para mantener el uso sostenible de los limitados recursos lóticos y lénticos continentales a nivel mundial. Por lo tanto, es necesario distinguir y hacer referencia a los tipos de aguas residuales que existen (Hsien, Low, Chung y Tan, 2019).

De acuerdo con el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) las aguas residuales se clasifican en (OEFA, 2014):

Aguas residuales industriales. Se caracterizan por ser residuos líquidos que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética y agroindustrial, entre otras.

Aguas residuales doméstica. Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos provenientes de la actividad humana, las cuales deben ser dispuestas adecuadamente.

Aguas residuales municipales. Son aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial. En algunos casos las aguas residuales industriales son previamente tratadas, con el fin de cumplir los valores mínimos permitidos para su depósito en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Por otra parte, las aguas domésticas provienen de viviendas, instituciones, centros comerciales y almacenes, y se dividen en (Miranda, Ubaque y Pinzón, 2015):

- *Aguas negras.* Proviene de aguas de inodoro (heces y orina).
- *Aguas grises.* Se caracterizan por ser aguas jabonosas y grasas.

Aguas residuales agrícolas. Son aguas provenientes de la escorrentía superficial según la zona agrícola procedente, estas aguas se caracterizan por contener residuos químicos (pesticidas, herbicidas, fungicidas, otros); muchas veces estas aguas contienen residuos fecales y orines de los animales (Herrera y Muñoz, 2017).

2.2.3.2. Características químicas de las aguas residuales

Las aguas residuales contienen contaminantes como: grasas, aceites, metales pesados, residuos de materia fecal entre otros. Para analizar las afectaciones de dichos contaminantes se analizan las propiedades químicas de la calidad del agua midiendo indicadores como: Oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) (Valencia, 2010).

Oxígeno Disuelto. El oxígeno es poco soluble en el agua y es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con OD, pero la demanda de oxígeno de los desechos puede ser consumido rápidamente. Las fuentes de OD son la aireación natural y la fotosíntesis, su concentración y solubilidad en el agua depende de factores como la temperatura, movimientos de curso receptor, salinidad, etc. La concentración de oxígeno en cursos de aguas que presentan baja concentración suele variar entre 7 a 10 mg/L, concentraciones inferiores a 2 mg/L puede tener serios efectos en la vida acuática superior (Oroxón, 2017).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en las aguas residuales. Puede ser degradado mediante procesos biológicos, esencialmente la oxidación biológica completa de la materia orgánica, la cual lleva aproximadamente 20 días y se realiza en dos etapas (Menendez y Dueñas, 2018):

- Oxidación de los compuestos carbonáceos
- Oxidación de los compuestos nitrogenados

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica presente en las aguas residuales. Existen distintas formas de disminuir la DQO como los tratamientos fisicoquímicos, electrocoagulación y el ozono (Rodríguez, 2015). Es común utilizar como indicador de estabilidad la razón DQO/DBO; en aguas residuales domésticas esta razón se encuentra entre 1,8 – 2,2 y en efluentes muy estabilizados la relación puede llegar hasta valores cercanos a 10 (Huilcarema y Quizhpi, 2016).

Materia orgánica o humus. Es la parte orgánica que cumple un papel esencial en el suelo; es

decir, son sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, que se originan de la descomposición de materia orgánica vegetal. Además, contienen aproximadamente 5% de nitrógeno (Reyes y Medina, 2021).

Acidez (pH). Factor que permite medir la agrupación de iones H^+ en el agua, asumiendo valores que fluctúan desde 0 (muy ácido) hasta 14 (muy alcalino), valor neutro pH de 7 (Sigler y Bauder, 2017).

Conductividad eléctrica (salinidad). Es la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica, es lo contrario de la resistencia y refleja directamente el tipo de agua (Hem, 1985).

Dureza (alcalinidad). Es la concentración de compuestos minerales en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El grado de dureza del agua es directamente proporcional a la concentración de estas sales (Sigler y Bauder, 2017).

2.2.3.3. Características físicas de las aguas residuales

Un aspecto importante en el monitoreo de la impureza de los cuerpos de agua es tener datos precisos sobre la categoría de sustancias físicas nocivas y las cantidades en las que se encuentran (Balanica, Muntenita, Zeca, y Stoica, 2020). Los principales procesos contaminantes de la industria láctea son la producción de quesos, cremas y mantequilla, el lavado de torres de secado y las soluciones de limpieza alcalina. De esta forma las aguas residuales de estos procesos contienen características físicas como partículas sólidas, sólidos totales, temperatura, olor, color y turbidez (Grupo Aqua Limpia, 2010).

Partículas sólidas. Es la materia que pertenece como residuo después de someter a evaporación una muestra de agua a temperatura entre 103-105 °C. En aguas residuales la cantidad máxima de sólidos es de 1.000 ppm (Metcalf y Eddy, 2008).

Sólidos Totales (ST). Es toda materia que queda como residuo después de someter a evaporación una muestra de agua a temperatura comprometida entre 103-105°C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. En este sentido, los sólidos totales se dividen en (Jácome, 2014):

- Sólidos sedimentables (Ss): Sólidos de tamaño aproximado mayor a 10^{-2} mm,

formados de 75% sólidos orgánicos y 25% sólidos inorgánicos.

- Sólidos Suspendedos (SS): Sólidos de tamaño aproximado mayor a 10^{-3} mm, formados de 70% sólidos orgánicos y 30% sólidos inorgánicos.
- Sólidos Disueltos (SD): Sólidos de tamaño aproximado mayor a 10^{-3} y 10^{-6} mm, formados de 40% sólidos orgánicos y 60% sólidos inorgánicos.

Temperatura. Es una magnitud física que refleja la cantidad de calor de un objeto o ambiente; el producto de la descarga de aguas residuales hace que la temperatura aumente, disminuyendo la solubilidad de oxígeno disponible en el medio (Grupo Aqua Limpia, 2010).

Olor. Las aguas residuales frescas son evacuadas sin olor. Los olores a podrido tales como: ácido sulfúrico, mercaptanos, amoníaco y aminas, indol, escatol y productos de descomposición indican que las aguas están en estado de descomposición (Lacrampe, 2009).

Color. Es un indicador de composición de las aguas residuales, el color del agua es por la presencia de hierro y magnesio coloidal o en solución. El contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales (Santamaría, Álvarez, Díaz y Zamora, 2015).

Turbidez. La turbidez es la propiedad causada por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra que puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño y otras partículas gruesas, entre otros arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos (Centro de Actividad Regional de la Producción, 2002).

2.2.3.4. Características biológicas

Uno de los inconvenientes del uso de aguas residuales es la presencia de bacterias coliformes, las cuales provienen de las heces de humanos y animales; y la existencia de helmintos. Por lo general, la presencia de estos contaminantes biológicos en las industrias lácteas no es específicamente por residuos de los procesos industriales, sino más bien, por carencia de instalaciones sanitarias adecuadas y la falta de control de efluentes residuales de la empresa (Hernández, Quiñones, Cristóbal y Rubiños, 2014).

Algunos microorganismos benéficos sirven como biotratamiento para las aguas residuales lácteas. Se utiliza la digestión anaerobia como proceso biológico debido a su mayor ventaja en comparación con los otros tratamientos, se obtiene mejor estabilización y bajo crecimiento de biomasa. Tienen alta eficiencia en el tratamiento de aguas residuales lácteas debido al control de los altos niveles de sólidos disueltos o suspendidos, que incluyen grasas, aceites y nutrientes tales como amoníaco, minerales y fosfatos (Armesto *et al.*, 2016).

Por ejemplo, las bacterias en los sistemas de tratamiento de aguas residuales eliminan la materia orgánica para transformarla en crecimiento de nuevas células y en subproductos, es decir, son descomponedores primarios. Las bacterias que destacan en las aguas residuales industriales de alimentos son las *Alphaproteobacterias* (Levantesi, 2009).

2.2.4. Mecanismos de tratamiento de aguas residuales

Los mecanismos de tratamiento de aguas residuales tienen como objetivo reducir la carga de contaminantes del vertido (o agua residual) y mediante proceso de tratamiento generar un medio inocuo para el ambiente y la salud humana (Vera, 2017).

Los mecanismos de depuración se clasifican en tres categorías (Parra, 2015):

- Mecanismos físicos: Desengrasado, decantación, sedimentación, adsorción y filtración mecánica.
- Mecanismos químicos: Floculación y coagulación, oxidación y reducción, intercambio iónico, neutralización y precipitación química.
- Mecanismos biológicos: Sistemas de tratamiento en que la diferencia sustancial, para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, consiste en el medio de cultivo empleado, por ejemplo, sistemas de lodos activados (utilizan cultivo biológico en suspensión), los biofiltros, cultivo biológico adherido (Hernández, Buitrón, Lopez y Cervantes, 2017).

Hay muchos factores o procesos que pueden intervenir en un sistema de tratamiento de aguas, la elección del proceso se basa por las características del afluente a tratar y/o del efluente a conseguir, sin embargo, un mismo sistema de tratamiento de aguas puede estar compuesto por varios procesos, ya sea físicos, químicos o biológicos, teniendo lugar en reactores

separados o en uno que los conjugue (Vera, 2017).

2.2.4.1. Sistema TOHÁ como mecanismo de tratamiento de aguas residuales

El sistema Tohá o vermifiltración es una tecnología para tratamiento de aguas residuales, fue creada y desarrollada por Dr. José Tohá Castellá; esta tecnología corresponde a un filtro percolador compuesto de diferentes extractos filtrantes y lombrices. Durante el proceso de purificación o limpieza de las aguas residuales queda detenida la materia orgánica, que posteriormente es consumida por las lombrices generando humus (Castro, 2019). Este sistema tiene las siguientes ventajas (Gemat-sistema Tohá, 2017):

- No genera lodos
- No genera olores
- Genera un subproducto, humus (abono natural)
- Sistema muy fácil de operar y mantener
- Bajo coste de inversión y de operación
- Se puede complementar con Energía Renovable No Convencional (ERNC)
- Sistema modular, ampliable y de distintos tipos constructivos
- Requiere áreas de mayor extensión que otros sistemas tradicionales
- No requiere inoculaciones posteriores. Eficiencia igual o superior a tecnología tradicional
- Cumple con normas de descargas ambientales.

El Sistema Tohá se ha implementado en diferentes tipos de industrias con Residuos Industriales líquidos (RIL) de origen orgánico como empresas lácteas y lecherías, centros de faenamiento animal (bovinos, ovinos, aves, cerdos y salmones), industria de alimentos, industrias cerveceras y vitivinícolas, y piscicultura (Gemat-sistema Tohá, 2017).

2.2.4.2. Esquema de conformación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la empresa INPROLAC

En la figura 1 se describe un flujo del tratamiento de aguas residuales bajo el sistema Toha

el cual finaliza con el desecho hacia un afluente de un agua totalmente tratada y dentro de los parámetros establecidos por la legislación en este caso ecuatoriana.

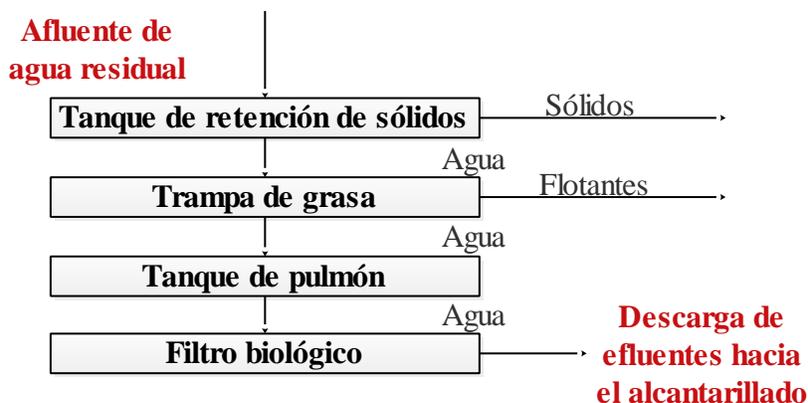


Figura 1. Flujograma de tratamiento de aguas bajo Sistema Toha.

Fuente: Adaptado de Gemat Sistema Toha. (2017)

2.2.4.3. Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) como microorganismo de proceso biológico

La lombricultura es una biotecnología que utiliza a una especie domesticada de lombriz, que tiene como principal característica transformar desperdicios orgánicos en abonos. De esta forma se mantiene los suelos en condiciones apropiadas para el desarrollo de las especies vegetales y servir de fuente de energía y alimento para la biota del suelo. Esto se debe a que estos organismos primitivos tienen la capacidad de convertir los desperdicios orgánicos (restos de comida, residuos de jardín y de papel) en abono, el cual se denomina lombricomposta, vermicomposta, o humus de lombriz (Moreno, 2003).

Una especie utilizada en esta biotecnología es la lombriz roja californiana (*Eisenia foetina*), invertebrado hermafrodita de cuerpo alargado, cilíndrico, formado por 94 a 96 anillos, con funciones específicas; al nacer mide 1mm de color blanco, de adulta mide de 6 a 8 cm de color rojo oscuro, tiene un diámetro aproximado de 3 a 5 mm y un peso entre 0.4 a 1gr. La *Eisenia foetina*, tiene 182 aparatos excretores, 6 riñones y 5 corazones, respira a través de la piel, su cabeza carece de ojos y son muy sensible a la luz. Su sistema digestivo incluye glándulas secretoras de carbono y calcio, permitiendo neutralizar los ácidos presentes de los alimentos; finalmente a través del ano expulsa humus (Singh, Bhunia y Dash, 2017).

Las lombrices son un recurso potencial de gran interés en la sostenibilidad de la agricultura, participan activamente en la regulación de las propiedades físicas del suelo, la dinámica de la materia orgánica del entorno y el crecimiento de las plantas. La lombriz forma parte de las herramientas biotecnológicas actuales para el reciclaje de desechos orgánicos, obteniéndose como beneficio el vermicompost (abono orgánico).

La longevidad de la lombriz oscila entre 15 a 16 años, esta especie no contrae ni transmite enfermedades (Paco, Loza, Mamani y Sainz, 2011). La proporción de ingesta es equivalente a su propio peso, después de la digestión expulsa el 60% de humus, el 40% restante es síntesis celular y respiración (Agroflor, 2015).

Las condiciones de hábitat de la lombriz son, temperatura entre 15 a 24 °C, pH neutro entre 6.5 y 7.5, oxígeno libre, materia orgánica, bajo luminosidad y humedad disponible. Esta última es de gran importancia para su reproducción (Agroflor, 2015), la densidad de esta especie es de 40 a 50 x 10³ individuos/m², 100.000 lombrices son capaces de producir 2 kg de humus/día/2m² (Agrolanzarote, 2013).

2.2.4.4. Humus resultante del tratamiento de aguas residuales con microorganismos biológicos

El humus es la defecación de la lombriz, son fuentes de abono orgánico ricos en un 100% de flora bacteriana. Su aspecto es suave, granulado e inoloro, tiene pH neutro y tiene gran cantidad de macronutrientes primarios y secundarios como, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, los cuales son aporte para el suelo y las plantas (Tobiasová *et al.*, 2018).

La aplicación de humus mejora la germinación y crecimiento de diferentes especies (Subler *et al.*, 1998) por la cantidad de nutrientes presentes en el vermicompostado y que no se encuentran totalmente en los fertilizantes químicos, como nitrógeno, fósforo, potasio soluble, calcio y magnesio (Orozco *et al.*, 1996).

A causa de la humificación se forman compuestos que liberan nutrientes para los vegetales, aumenta la fertilidad, favorece el desarrollo de las raíces, amortigua el impacto de agentes contaminantes y degradatorios como las aguas de riego, fertilizantes y residuos peligrosos. El humus es el abono orgánico con mayor contenido de bacterias, existen 2 x 10¹² bacterias en

un gramo de humus; permite mejor las propiedades biológicas del suelo; la dosis mínima de aplicación es de 3 t/año (Compagnoni y Putzolu, 2018).

El contenido de carbono orgánico es un indicador de la concentración de materia orgánica y un índice de la calidad del humus; según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167 (ICONTEC, 2004) este porcentaje debe de estar entre 5 - 15%; y los parámetros promedio de calidad de humus son N, del 1 al 3%, P del 1 a 3%, K y Ca del 1 al 2% y pH 6.5 a 7.5 (Ortega *et al.*, 2012).

2.2.5. Legislación vigente en el Ecuador sobre descargas de aguas residuales

La Constitución de la República del Ecuador (2008) incorpora en su texto el siguiente artículo: Art. 415.- “Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción, 118 reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se incentivará y facilitará el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclovías” (p. 124).

Por otra parte, el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) incorpora la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. Entre los principios básicos se menciona que:

3.3 Para el control de la contaminación de los cuerpos de agua de cualquier tipo, de acuerdo a la actividad regulada, el Sujeto de Control debe entre otras realizar las siguientes actividades: desarrollo del Plan de Manejo Ambiental, en el que se incluya el tratamiento de sus efluentes previo a la descarga, actividades de control de la contaminación por escorrentía pluvial, y demás actividades que permitan prevenir y controlar posibles impactos ambientales. Adicionalmente la Autoridad Ambiental podrá solicitar al regulado el monitoreo de la calidad del cuerpo de agua (TULSMA, 2017, p. 267).

Además, en esta norma de calidad ambiental y descarga de efluentes, en el literal 5.2.5.1 del artículo 5.2. sobre criterios generales para la descarga de efluentes, también se menciona que:

Se prohíbe la descarga de aguas residuales domésticas e industriales a cuerpos de agua salobre y marina, sujetos a la influencia de flujo y refluo de mareas. Todas las

descargas a cuerpos de agua estuarios, sin excepción, deberán ser interceptadas para tratamiento y descarga de conformidad con las disposiciones de esta norma. Las Municipalidades deberán incluir en sus planes maestros o similares, las consideraciones para el control de la contaminación de este tipo de cuerpos receptores, por efecto de la escorrentía pluvial urbana (TULSMA, 2017, p. 272).

La Norma Técnica Ecuatoriana (INEN), hace referencia al establecimiento de un sistema de gestión integral de calidad; establece los requisitos básicos para una adecuada gestión de calidad, ambiente, seguridad y salud en el trabajo, debe ser aplicada en todo tipo de establecimientos de preparación y expendio de alimentos y bebidas. La emisión y aplicación de esta norma es importante en cuanto motiva a las empresas de ese subsector a la mejora continua, siendo una iniciativa integradora entre los aspectos de calidad, sostenibilidad del negocio, cuidado y preservación del ambiente, así como la prevención de riesgos que podrían afectar a las personas involucradas (INEN, 2015).

La Agencia de Regulación y Control Sanitario (ARCSA), ha actualizado el registro oficial 042-2015-GGG, correspondiente a la Norma Técnica de Buenas Prácticas de Manufactura (ARCSA 2015).

Es importante señalar que la industria debe aplicar las prácticas de higiene establecidas por el Codex Alimentario (Codigo Internacional Recomendado de Prácticas). En este texto se menciona que los gobiernos deben mantener la vigilancia del cumplimiento de las normas. El crecimiento de las industrias es parte importante en el incremento de los problemas ambientales, ya que los contaminantes que producen son muy elevados. La mayoría de las industrias se establecen en países que no exigen el cumplimiento de normas de regulación de contaminantes ya que no están dispuestos a adquirir responsabilidades frente a los problemas ambientales (Codex alimentario, 2003).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

INPROLAC es una industria nacional ubicada en la provincia de Pichincha cantón Cayambe, de acuerdo con registros de la empresa se trabaja diariamente un promedio de 50,000 L de leche. De esta cantidad más del 80% se destina a la producción de quesos y yogur y lo que resta a la producción de postres. Diariamente genera de sus procesos 180,000 L de aguas residuales, el 80% se destina a la planta de tratamiento de aguas y el restante a la alimentación animal a través de gestores calificados. Se encuentra a 2830 m.s.n.m. y la temperatura media del sector es de 14°C. La precipitación en el periodo julio a septiembre es baja con 27.8 mm y los meses que con mayores promedios son diciembre con 97.2 mm y octubre con 94.6 mm (GADIPMC, 2015). Las coordenadas de referencia son latitud: 0.043889 y longitud: -78.156111 (Figura 2).

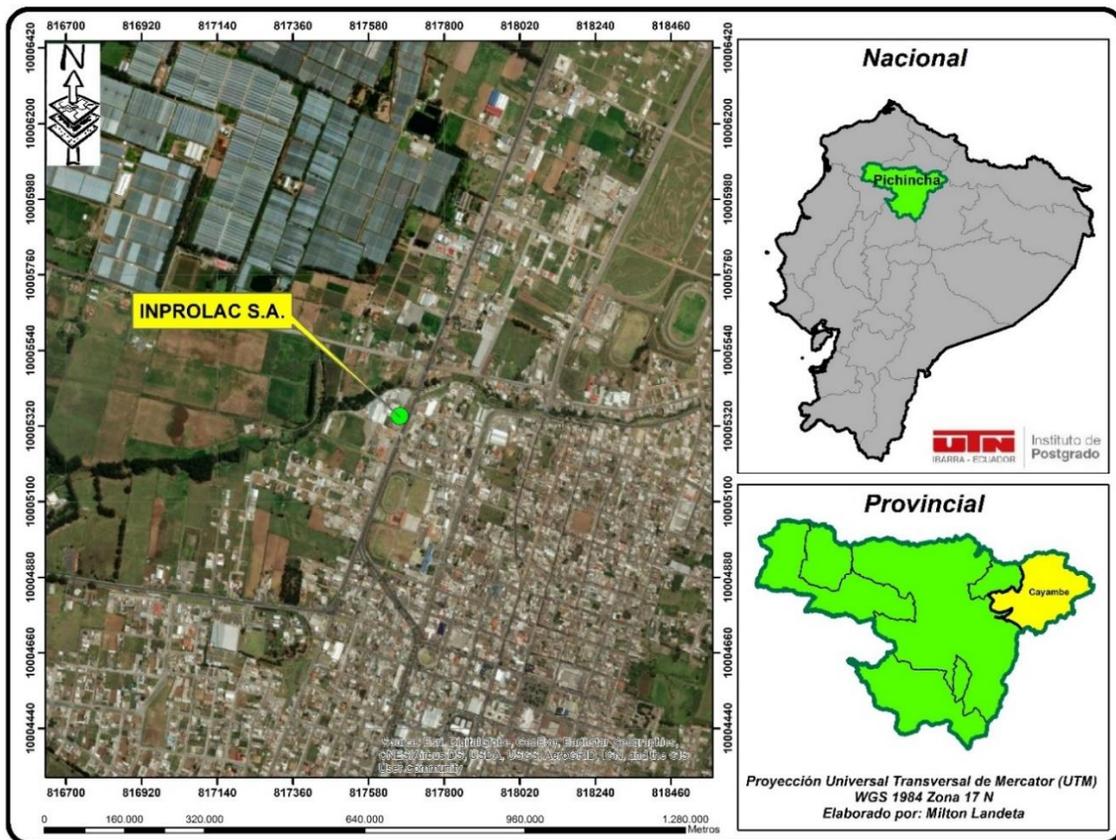


Figura 2. Mapa de ubicación de la planta de lácteos INPROLAC S.A.

3.2. Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es mixto; es decir, cuantitativo mediante la recopilación de datos medibles interpretados con estadísticas, y cualitativo con la recolección de información en diferentes fuentes bibliográficas. Los tipos de investigación que se emplearon en el presente estudio son (Hernández, Fernández y Baptista, 2014):

- *No experimental longitudinal.* Se recolectaron datos históricos sobre monitoreo de calidad de aguas residuales de la industria.
- *Descriptiva.* Se describieron los resultados de diferentes análisis de las aguas residuales de la industria, así como los procesos que se realizan durante la elaboración de sus productos y el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- *Investigación documental.* Se recopiló información por medio de la lectura y análisis de materiales bibliográficos, registros de producción de las industrias lácteas del norte del país y análisis de laboratorio de aguas residuales, donde se recopiló información primaria para determinar el diagnóstico de los efluentes de la industria.
- *Investigación de campo.* Se recolectó y exploró de forma ordenada los datos referentes al sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa.

3.3. Procedimientos y métodos

Para la evaluación de la viabilidad técnica y económica de una planta procesadora de humus elaborado a partir de efluentes de la industria láctea fue necesario desarrollar la investigación en cuatro fases que responden a los objetivos específicos. Estas fases se describen a continuación.

3.3.1. Fase I: diagnóstico del estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del medio ambiente

En la fase de diagnóstico se analizaron los procesos industriales lácteos que generan aguas residuales. De esta forma se realizan los análisis fisicoquímicos a partir de muestras tomadas de los efluentes de la industria. Además, se realizó la medición del caudal. Estos procedimientos se describen con mayor detalle a continuación.

3.3.1.1. Cuantificación de volumen de los procesos industriales

Basado en la planificación semanal “*Forecast*”, donde se determinará con base a un pronóstico la cantidad de leche a utilizar por proceso productivo y de igual forma se estimará la cantidad de agua utilizada para los sistemas de limpieza.

La cantidad de aguas residuales depende de los procesos agroindustriales y capacidad instalada de la planta. En INPROLAC S.A. la cantidad de agua residual producida por productos elaborados es: para leche, queso y mantequilla como productos finales se utilizan 4 litros de agua por cada litro de leche. Por otra parte, según la Unión Europea (2006) los valores de agua residual producida corresponden a:

- Leche: 3.5 litros de agua/L de leche
- Quesos: 8 litros de agua/L de leche
- Mantequilla: 3 litros de agua/L de leche

3.3.1.2. Toma de muestras de efluentes lácteos

Se obtuvo dos muestras diarias (mañana y tarde), de la entrada y salida de los efluentes lácteos dentro del sistema Tohá. Registraron valores promedios de pH, color, turbidez y temperatura, las muestras fueron tomadas en recipientes en botellas de 250 mL. Cada muestra fue rotulada con fecha y hora en la que fue tomada (Figura 3).



Figura 3. Muestras de agua de efluentes lácteos antes y después del tratamiento con el sistema Tohá, empresa INPROLAC S.A.

3.3.1.3. Ensayos físicoquímicos

Los parámetros evaluados en el laboratorio de INPROLAC fueron: pH, temperatura, material flotante, turbidez y color. El laboratorio Environoval, evaluó los parámetros descritos en la tabla 4. Para esta evaluación se utilizó un pH-metro, termómetro y la escala de turbidez interna.

Tabla 4. *Métodos utilizados por laboratorio.*

Parámetros analizados	Unidad	Método
Aceites y grasas gravimétrico	mg/L	SM-5520-B
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	SM-5210-B
Demanda química de oxígeno	mg/L	SM-5220-B
Potencial hidrógeno	U pH	SM-4500H+B
Sólidos sedimentables	ml/l	SM-5540-D
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SM-2540-D
Caudal	L/s	Aforo volumétrico
Temperatura	°C	SM-2250-B
Nitrógeno amoniacal	mg/L	SM-4500-N

Fuente: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation y Water Environment Federation, 1912; Díaz *et al.*, 2018.

3.3.1.4. Medición de caudal

A través de los aspersores instalados en la planta se logró determinar el volumen de descarga por aspersor esta medición se realizó en intervalos de 20 minutos de riego y 10 minutos de descanso, durante 4 semanas. El caudal de los efluentes se obtuvo mediante la multiplicación de los 48 aspersores. Se determinó que, del volumen diario generado, el 83% del total es destinado a la planta de tratamiento de aguas residuales y el 17% restante es agua limpia proveniente de la evaporación y fugas.

3.3.2. Fase II: identificación de la viabilidad técnica de la producción de humus a base de efluentes de la industria láctea

En la segunda fase se realizó un diagnóstico del sistema Toha y el estudio de impacto ambiental y social. Para este análisis se realizaron las actividades descritas a continuación.

3.3.2.1. Sistema Tohá

El funcionamiento del sistema Tohá está distribuido varias etapas, sin embargo, es menos complejo en comparación con otros sistemas. Las etapas que comprende este sistema son (Gemat Sistema Toha, 2017):

- *Retención de sólidos.* Los sólidos son retenidos en una malla metálica.
- *Separación de grasa.* La grasa flotante es removida durante 3 veces por semana
- *Bombeo.* De agua residual
- *Filtros de tubería.* Están ubicadas al inicio de las líneas de aspersión, su objetivo es filtrar el agua bombeada antes de ingresar al filtro biológico.
- *Volteo.* Sirve para aflojar la capa superior (aprox. 40-50cm de profundidad) del filtro biológico, evita estancamiento de agua residual e impermeabilización.
- *Aspersión.* El caudal de los aspersores es controlado por la llave de paso, y su finalidad es obtener una dispersión homogénea.
- *Control automático.* Regula los intervalos de bombeo de agua residual.
- *Cosecha de abono.* Este procedimiento se realiza de 3 a 4 años, se retira el abono de la capa superior que tiene de 30 a 40 cm de espesor. El material se recolecta sin lombrices, se coloca y se repone la misma cantidad de material nuevo.

3.3.2.4. Estudio de impacto ambiental y social

INPROLAC S.A. al ser una empresa establecida y de gran renombre en el Ecuador tiene dentro de su sistema de gestión certificaciones de Calidad e inocuidad tales como Buenas Prácticas de Manufactura (BPM's) y Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP). También dispone de una licencia ambiental la cual resume entre otras cosas el cumplimiento a la Resolución Nro. 06-2018-LCA-DPAPCH del Ministerio del Ambiente y al Código Orgánico del Ambiente (2017) el cual abarca en:

Art. 162. Todo proyecto obra o actividad, así como toda ampliación o modificación de los mismos que puedan causar riesgo o impacto ambiental, deberán cumplir con las disposiciones y principios que rigen al Sistema único de Manejo Ambiental, en concordancia con lo establecido en el presente código (p. 49).

3.3.3. Fase III: evaluación de la factibilidad económica de una planta procesadora de humus a base de efluentes de la industria láctea

En esta fase se analizó el estudio económico – financiero de la industria. Se calculó el VAN y el TIR. El procedimiento se describe a continuación.

3.3.3.1. Estudio económico - financiero

Este estudio económico-financiero nace de los requerimientos de la inversión inicial, capital de trabajo, costos ambientales, costos operativos. La información será detallada a través del flujo de caja, proyectado a 5 años.

Para determinar la rentabilidad del proyecto se utilizaron los indicadores financieros del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Valor Actual Neto (VAN): corresponde al valor actualizado de todos los flujos netos; cuando el valor del VAN es igual o superior a cero (0) el proyecto es rentable.

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FN_j}{(1+i)^j}$$

Donde:

I_0 : Valor de inversión inicial

n : Número de periodos

j : Costo de capital utilizado

FN_j : Flujo de caja en cada periodo

Tasa Interna de retorno (TIR): Se evalúo el proyecto en función de la única tasa de rendimiento por periodo, con la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, si el TIR es igual o mayor a la tasa de descuento el proyecto debe ser aceptado, de lo contrario debe ser rechazado.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{FN}{(1+i)^n} = 0$$

Donde:

n : Número de periodos

T : Valor inicial de inversión

FN : flujo de caja en periodo n

La TMAR (tasa mínima aceptable de rendimiento) es la rentabilidad mínima que un inversionista espera obtener de una inversión, teniendo en cuenta los riesgos de la inversión y el costo de oportunidad de ejecutarla en lugar de otras inversiones.

$$TMAR = i + f + if$$

Se define a la TMAR

como:

Donde:

f = inflación

i = premio al riesgo

3.3.4. Fase IV: planteamiento de estrategias para la producción sostenible y sustentable de humus

Finalmente, en esta fase se diseñaron estrategias que permitan la producción sostenible y sustentable de humus a partir de la información recopilada en el diagnóstico de las fases anteriores. El diseño de las estrategias se realiza de acuerdo con el procedimiento descrito a continuación.

3.3.4.1. Estrategias para una producción sostenible

Mediante el uso de la herramienta FODA y el cruce de sus variables FO-FA-DO-DA (Tabla 5), se establecerán las mejores estrategias para lograr una sostenibilidad del proyecto especialmente desde la parte operativa hasta la obtención del humus, mismo que se puedan replicar en la industria en general.

Tabla 5. Esquema de la matriz FODA y cruce de variables.

	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	Estrategia FO Utilizar las fuerzas para aprovechar las oportunidades.	Estrategia DO Aprovechar las oportunidades para superar las debilidades.
Amenazas	Estrategia FA Utilizar las fuerzas para evitar las amenazas.	Estrategia DA Reducir debilidades y evitar amenazas.

Fuente: Gualavisí (2018).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Diagnóstico del estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del ambiente (cuanto, cuando, como, cantidades, contenidos).

Los resultados del diagnóstico se presentan de acuerdo con la cuantificación del volumen de las aguas residuales de los afluentes y el análisis fisicoquímico del agua; esto de acuerdo con el uso de este recurso hídrico en los procesos industriales lácteos. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

4.1.1. Uso del agua en los procesos industriales lácteos y generación de aguas residuales

La industria Láctea INPROLAC semanalmente tiene como consumo de leche aproximado de 264,597.00 litros, estos son utilizados en sus seis procesos agroindustriales; este volumen de producción genera aproximadamente 1,064,396.00 litros/semana de aguas residuales (Tabla 6).

Tabla 6. *Volumen semanal de leche y aguas residuales.*

Producto	Cant. Leche (l)/semanal	Cant. Agua residual generada (l)/semanal
Leche Condensada	21,356.00	86,065.45
Mantequillas	2,815.00	11,260.00
Manjar	53,188.00	213,912.51
Quesos	107,107.00	429,142.83
Leche UHT	16,977.00	68,452.42
Yogurt	63,154.00	255,562.79
Total	264,597.00	1,064,396.00

Existe una variación de cantidad de aguas residuales por proceso producido, durante la producción de quesos se genera un 40,02%, lo que le convierte en el mayor generador de aguas residuales; seguido de la producción de yogurt con un 24,01% de aguas residuales. Uno de los procesos con menor generación de aguas residuales es la mantequilla con un 1,06%, esto debido a que semanalmente no hay una producción constante (Figura 4).

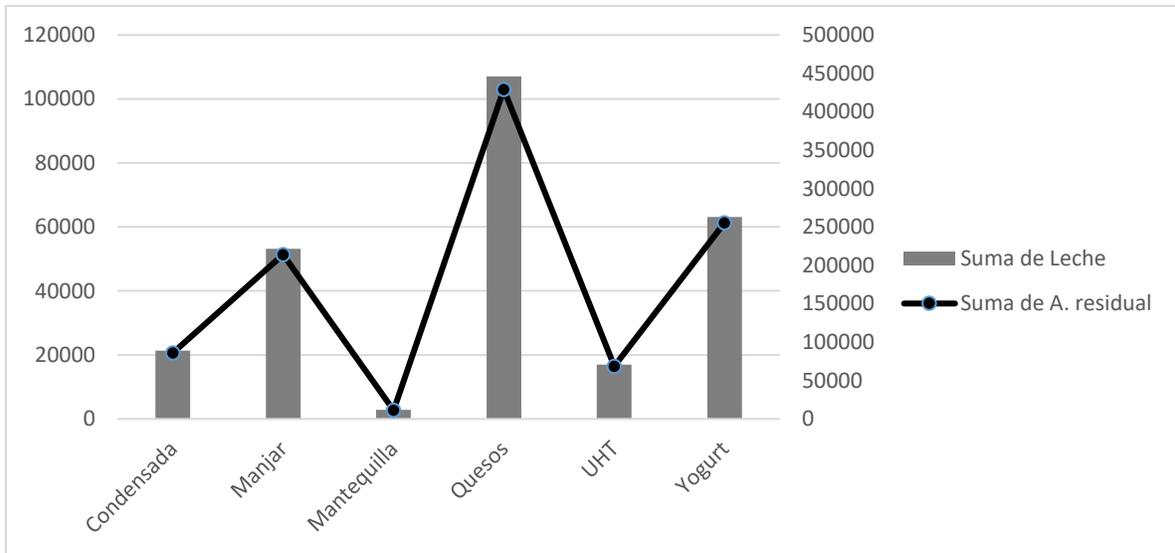


Figura 4. Volumen de aguas residuales por la línea de producción. Basado en registros de producción del año 2020 de la industria INPROLAC S. A.

En la figura 5 se puede observar los picos más altos de aguas residuales los días: lunes, martes, miércoles, jueves y domingo, debido a que en estos días se elabora queso y yogurt. El viernes se genera menor descarga de efluentes lácteos.

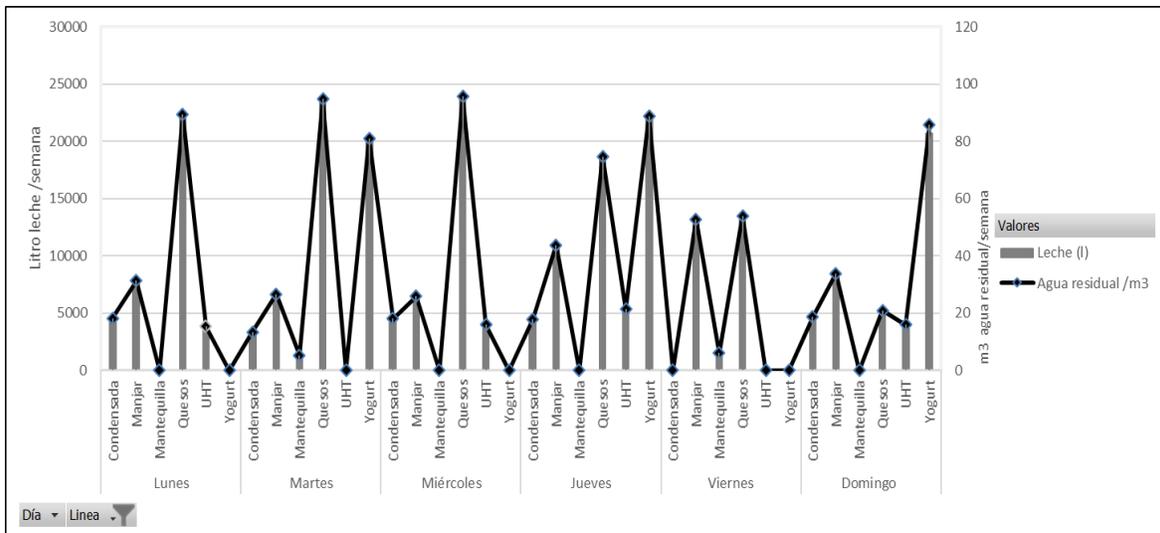


Figura 5. Volumen m³ aguas residuales/día por producto. Basado en registros de producción del año 2020 de la industria INPROLAC S. A.

Considerando que la capacidad instalada de la planta láctea INPROLAC S.A. es de 120.000 litros/día, actualmente es subutilizada, ya que únicamente se opera con el 37% de capacidad.

Si la planta trabajara en un 100%, esta generaría aproximadamente **3,283,339.76** litros de aguas residuales al día.

Por cada litro de leche procesado INPROLAC S.A. genera aproximadamente 4 litros de agua residual; este valor está dentro del rango de las investigaciones realizadas a nivel mundial para este tipo de industrias; según Porwal y Velhal (2015) la industria láctea por cada litro de leche procesada genera hasta 10 litros de efluentes residuales.

En comparación con otras empresas de la zona 1 del Ecuador como ALPINA, Rey Lácteos y Miraflores; INPROLAC S.A. es una de las empresas con menor generación de aguas residuales de acuerdo con valores de producción de leche. Esto de acuerdo con las encuestas realizadas a cada una de las industrias descritas en la tabla 7.

Tabla 7. *Diagnóstico del estado de los efluentes de la industria láctea y sus efectos en la contaminación del medio ambiente.*

Actores	Ubicación		Procesos principales	Volumen producción diaria	Volumen aguas residuales
	Provincia	Cantón		Litros	Litros/día
ALPINA	Carchi	Montufar	Elaboración de Quesos, Yogurt, Crema.	100,000.00	500,000.00
Rey Lácteos	Pichincha	Rumiñahui	Elaboración de Derivados UHT, Crema, Queso, Yogurt.	200,000.00	600,000.00
INPROLAC	Pichincha	Cayambe	Elaboración de Quesos, Yogurt, Mantequilla, Crema, Derivados UHT.	50,000.00	180,000.00
Miraflores	Pichincha	Cayambe	Elaboración de Quesos, Yogurt, Crema, Mantequilla.	20,000.00	49,140.00

Fuente: Basado en registros de producción y generación de aguas residuales de las empresas del año 2020.

Alpina es una empresa multinacional de la industria láctea ubicada en la provincia del Carchi cantón Montufar, de los valores descritos en la tabla 7 sobre uso del agua, ocupa más del 90% para la producción de queso y el resto a la producción de yogurt y otros derivados. Por su parte, Rey Lácteos es una industria nacional la cual está ubicada en la provincia de Pichincha cantón Rumiñahui y se dedica a la transformación del 100% de la leche en productos UHT (Ultra Pasteurización). Finalmente, Miraflores es una empresa nacional perteneciente al Consorcio ALIMEC, dedicada a la producción de derivados lácteos junto

con Mc Cormick, y Milano. Esta está ubicada en la provincia de Pichincha, cantón Cayambe, parroquia de Ayora, trabaja diariamente con el 90% de su producción para elaborar yogur y el 10% restante para producir queso mantequilla y cremas (Gestión Ambiental PTAR ALPINA, 2020; Gestión Ambiental PTAR Miraflores, 2020; Gestión Ambiental PTAR Rey Lácteos, 2020).

De esta forma se determinó que los valores de aguas residuales generados durante una jornada de producción son entre 3 a 5 veces el volumen de leche trabajado. Esto demuestra la importancia de tener en las instalaciones una PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales) para tratar el volumen de aguas residuales antes de depositar a los ríos o quebradas.

4.1.2. Análisis fisicoquímico del agua residual

De acuerdo con el análisis de calidad de aguas residuales del laboratorio Environnovalab (Anexo 4) se obtuvieron resultados donde algunos parámetros no estaban dentro de los límites máximos permisibles según las regulaciones que rigen en el Ecuador. Por lo tanto, a continuación, se detallan los valores recuperados para los parámetros fisicoquímicos analizados.

Ph. Durante la investigación se obtuvo un Ph del efluente promedio de 6.9, valor óptimo para una digestión anaerobia, este valor está dentro de los parámetros sugeridos por el Acuerdo Ministerial 097 del Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE). Se encontró un Ph de 10.76, esto pudo haberse dado por el uso excesivo de detergentes alcalinos, utilizados frecuentemente para eliminar grasas de superficies, este valor debe ser controlado debido a la afección directa que causa a la actividad microbiológica anaerobia (MAE, 2015).

Temperatura. Las temperaturas de los efluentes lácteos se encontraron en un rango de 21.4 – 25.9°C, se apreció un comportamiento uniforme. Estos rangos son favorables para el proceso de degradación.

DBO y DQO. Se evidencia que el tratamiento de lombrifiltros es muy eficiente en el proceso de degradación de los parámetros evaluados (Tabla 8); respecto a la reducción en el contenido de DBO de 4,876.00 mg/L a 250 mg/L, representa una eficiencia de 95.7%.

Respecto al contenido de DQO existe una reducción de 8,983.00 mg/L a 382 mg/L, con una eficiencia de 95.7%. Con respecto al contenido de sólidos totales se redujo de 3,480.00 mg/L a 1,175.00 mg/L, lo que representa una eficiencia del 66.2%.

Tabla 8. Comparativo de análisis de agua residual y los límites máximos permitidos, establecidos en la norma calidad ambiental y descarga de efluentes en Ecuador.

Parámetros a evaluar	Unid.	Resultados INPROLAC		Ac. 097-A (MAE)		
		Sin Tratamiento	Criterio	Con Tratamiento	Límite Máximo	Criterio
Sólidos suspendidos totales	mg/l	733.00	No Cumple	72.00	220.00	Cumple
Demanda química de oxígeno	mg/l	8,983.00	No Cumple	382.00	500.00	Cumple
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	4,876.00	No Cumple	211.00	250.00	Cumple
Ph	UpH	9.11	No Cumple	6.80	6 – 9	Cumple
Sólidos totales	mg/l	3,480.00	No Cumple	1,175.00	1,600.00	Cumple
Material flotante	Visible	Presencia	No Cumple	Ausencia	Ausencia	Cumple
Temperatura	°C	26	Cumple	27.6	<40	Cumple

Fuente: Acuerdo Ministerial 097 – MAE (2015).

Sólidos Totales y suspendidos. Con el tratamiento se obtuvo un promedio de sólidos totales de 1,175 mg/l, teniendo una reducción de 2,305 mg/l, esto representa un 33% de depuración. Mientras que la eficiencia en la degradación de sólidos suspendidos totales fue de un 98%, este resultado es similar a lo establecido por la Fundación Tohá.

Nitrógeno y fósforo total. El suero es considerado como la principal fuente de nutrientes, como el nitrógeno; se debe considerar que el aporte de nitrógeno en las aguas residuales puede ser también por la caseína de los lácteos y algunos desinfectantes como el amonio cuaternario. El nitrógeno proviene de las proteínas de la leche, y las podemos encontrar como nitrógeno orgánico (proteínas, urea, o ácidos nucleicos) o iones (Demirel *et al.*, 2005). En el caso del fósforo se pudo determinar que se debe a la utilización de detergentes fosforados usados para la limpieza diaria de la planta y equipos. El suero evacuado a la planta de tratamiento de aguas residuales es aproximadamente del 10 al 15%, el otro restante se asigna a los gestores ambientales (Tabla 9).

Tabla 9. Evaluación de fósforo y nitrógeno.

Parámetro	Unidad	Límite máx.	Resultado sin tratamiento	Resultado con tratamiento
Fósforo	mg/l	15	13.59	13.11
Nitrógeno	mg/l	60	95.5	16.15

Los valores recuperados del análisis del laboratorio se compararon con los resultados de registros de las industrias ALPINA, Miraflores, Rey Lácteos en 2020 (Gestión Ambiental PTAR ALPINA, 2020; Gestión Ambiental PTAR Miraflores, 2020; Gestión Ambiental PTAR Rey Lácteos, 2020). Los valores son muy variables en varios parámetros y esto se debe al proceso industrial que realiza la empresa y el tipo de PTAR que posee (Castro, 2019). Estos valores se describen en la tabla 10.

Tabla 10. Comparativo empresas aguas residuales finales.

Parámetros analizados	Método	Uni.	Límite max. Permissible	Miraflores	ALPINA	Rey Lácteos	INPROLAC
Aceites y grasas gravimétrico	PA-4300	mg/l	70,00	<20	-	<40	46,5
DBO	PA-4500	mg/l	250,00	41,56	2,6	23,33	88,75
DQO	PA-0100	mg/l	500,00	84,00	195	29,33	158,15
Ph	POS-2500	U Ph	6-9	7,94	8,4	7,8	6,54
Solidos sedimentables	PA-4600	ml/l	20,00	<0,5	<2	<1,1	<5
SST	PA-1600	mg/l	220,00	26,00	3,9	23,66	<70
Caudal	POS-2800	l/s	-	1,17	5,83	3,7	1,8
Temperatura	PA-4700	°C	<40	24,43	25,6	20,96	25,445
Nitrogeno amoniacal	PA-3000	mg/l	-	0,35	-	-	44,025
Tensoactivos	PA-1200	mg/l	2,00	0,80	-	<0,1	0,19

La tabla 10 muestra en su comparativo entre 4 industrias lácteas los valores límites máximos permitidos por la legislación ecuatoriana de componentes que deben tener obligatoriamente las aguas residuales antes de ser desechadas a la naturaleza. Claramente se puede observar que el sistema Toha utilizado en INPROLAC S.A. cumple con estas especificaciones al igual que las otras industrias señaladas las cuales tienen sistemas de tratamiento distintos. La diferencia entre los procesos realizados por las industrias esta determinada principalmente por la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales de las industrias, el manejo adecuado de los lodos generados y los rendimientos económicos.

4.2. Viabilidad técnica de la producción de humus a base de efluentes de la industria láctea

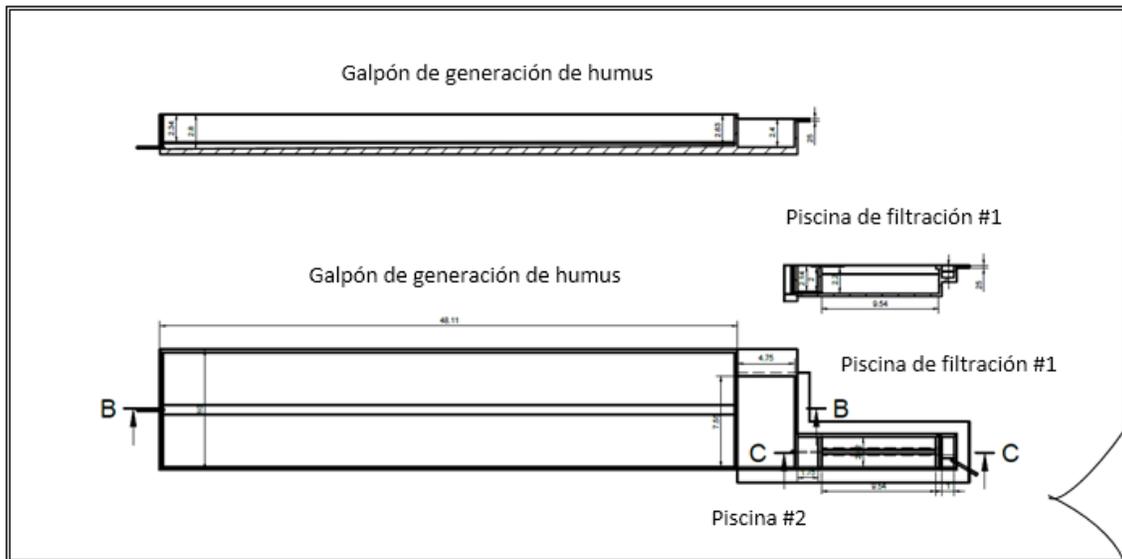
En el 2019, INPROLAC S.A. invirtió en la instalación de una planta de tratamiento de agua residual, mediante el proceso de biofiltros (Tohá). Este proyecto le permitió contribuir con el ambiente y a su vez generó ahorro económico en esta área.

4.2.1. Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

INPROLAC S. A. destina el 80% de la leche a la producción de quesos y yogur y la cantidad restante a la elaboración de postres como manjar de leche. Las aguas residuales son tratadas en más del 80% y la cantidad restante se destina a la alimentación animal a través de gestores calificados. La PTAR de la industria posee un área instalada es de 570.97 m², tiene una capacidad máxima de procesamiento de 300 m³, una capacidad máxima de generación de humus de 210 Tm. La PTAR consta básicamente de 4 piscinas en las cuales se realiza la recepción y tratamiento físico de las aguas residuales separando los sólidos de la misma. Posteriormente pasa a un galpón en el cual se encuentra el biofiltro con una capa de materia orgánica que posteriormente se transforma en humus (Figura 6).

Este sistema instalado en INPROLAC S. A. es un sistema nuevo en el país para el sector alimenticio, especialmente lácteo. Se diferencia del resto de industrias porque no utiliza ningún tipo de químico para su tratamiento, sino únicamente sistemas físicos y biológicos. Las ventajas de estos sistemas es que a través de la utilización de lombrices se puede generar humus para utilizarlo posteriormente en actividades agrícolas.

Otras empresas del norte del país, por ejemplo, ALPINA, Rey Lácteos transforman el 100% de las aguas residuales que genera en aguas desechables a través de una PTAR que utiliza químicos y procesos microbiológicos. Por otra parte, Miraflores trata las aguas residuales con procesos físicos antes de ser desechadas a los cursos de agua.



Esquema de aspersión

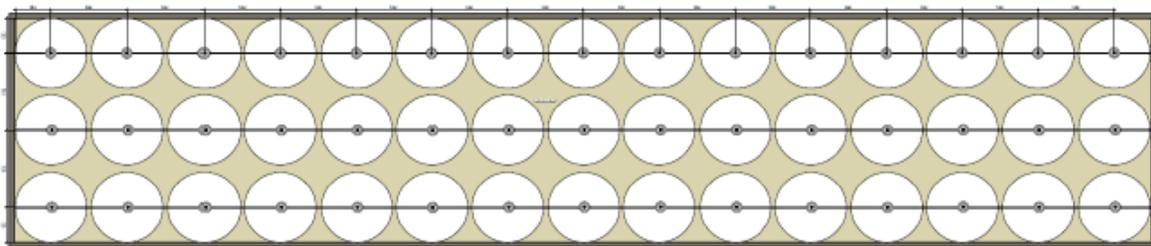
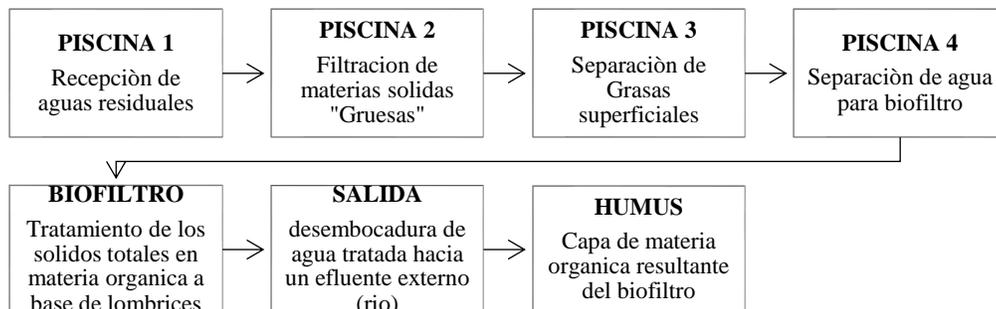


Figura 6. Diseño de la PTAR instalada en la industria INPROLAC S. A.

Funcionamiento del sistema Tohá y producción de humus. El sistema de biofiltros Tohá, está formado por sustratos filtrantes de filtro biológico (rocoso base 95 m³ y rocoso filtrante grado 1, 48 m³), seguido del sustrato celulósico (tamaño 1 de 95 m³ y tamaño 5 de 476 m³). Compuesto de 28 respiradores verticales perforados de cuatro pulgadas y una altura de 1.70 m; materia orgánica con lombrices, consta de dosificadores para agua residual de tres líneas de aspersión con tubería de una pulgada y 16 aspersores nebulizadores por línea, con un total de 48 aspersores (Figura 6; Anexo 6).



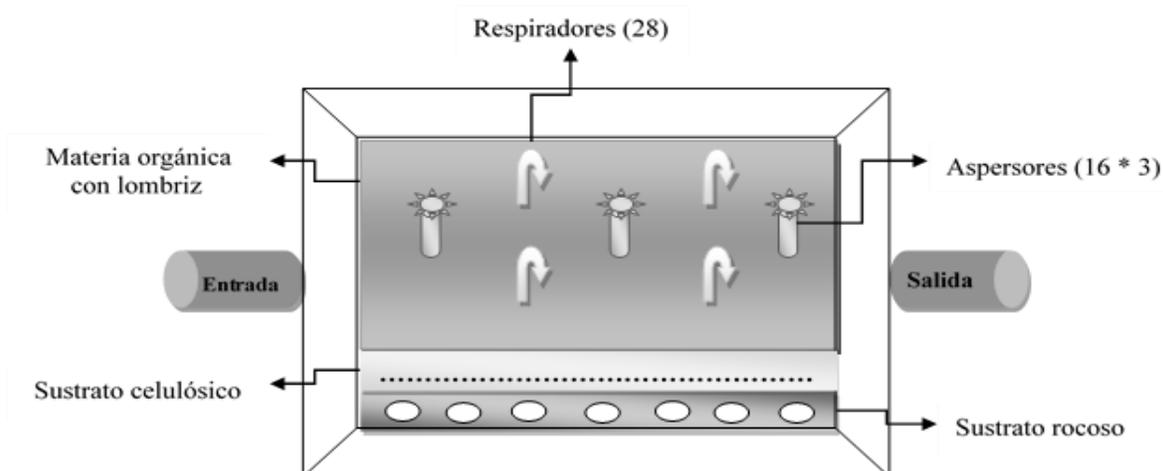


Figura 7. Esquema sistema Tohá, INPROLAC. S.A.

La capacidad actual de generación de humus es de 173 Tm, versus la capacidad máxima instalada para generación de humus de 210 Tm significa un rendimiento actual de 82% teniendo aun espacio de crecimiento en concordancia con la planta. En cuanto la eficiencia del humus como fertilizante se ha obtenido resultados óptimos los cuales permiten que se pueda utilizar este fertilizante como abono en general. Por el giro de negocio de INPROLAC S.A. este abono se destinará principalmente para forrajes y pastos para el ganado vacuno de sus proveedores.

4.2.2. Costo de inversión para instalar el sistema Tohá

Se detalla los valores incurridos para la instalación de equipos, bombas, análisis, diseño, infraestructura y seguimiento, con un total de inversión de \$119.000 en la tabla 11.

Tabla 11. Detalle y costos de inversión.

Obra	Descripción	Cantidad	P. Unitario (\$)	Total (\$)
	Sustrato base para aireación y filtración.	-	-	-
	Biofilm de origen celulósico tamaño 1.	95.20	22.69	2,160.09
	Biofilm de origen celulósico tamaño 5.	476.00	20.63	9,819.88
Estrato filtrante	Malla de separación.	476.00	4.26	2,027.76
	Respiraderos.	30.00	17.26	517.80
	Estrato de bacterias para inoculación.	70.00	12.38	866.60
	Sustrato filtrante de materia orgánica con lombrices.	29.00	41.25	1,196.25
	Sustrato filtrante grado 1	47.60	20.63	981.99
Equipos y dosificación	Kit tubería y accesorios	1.00	6,658.03	6,658.03
	Timer digital siemens	1.00	323.13	323.13

	Bomba de agua 10 HP sumergible, solida 2"	1.00	10,175.00	10,175.00
	Medidor de agua 2"	1.00	343.75	343.75
	Aspersores	70.00	3.16	221.20
	Automatización y tablero de control	1.00	3,870.63	3,870.63
	Puesta en marcha	1.00	1,500.00	1,500.00
Análisis,	Evaluación del sistema	1.00	800.00	800.00
Diseño y	Diseño y memorial de cálculo	1.00	3,982.04	3,982.04
seguimiento	Instalación, transporte, monitoreo, visitas	1.00	13,394.51	13,394.51
Galpón	Infraestructura	1.00	60,061.34	60,061.34
Otros	Cosedora de sacos	1.00	100.00	100.00
Inversión Total (\$)				119,000.0

Implementar este sistema es económico frente a los costos actuales y reales de otros sistemas. La principal inversión se realiza en equipos e infraestructura los cuales son justificados durante su vida útil y con los resultados obtenidos.

4.3. Factibilidad económica de una planta procesadora de humus a base de efluentes de la industria láctea.

Este sistema beneficia a la industria no solo desde la parte técnica sino también desde la parte económica ya que su inversión es relativamente baja frente a inversiones con otro sistema de tratamiento. Además del tratamiento a bajo costo ayuda a cubrir uno de los problemas más grandes de la industria en general que es el poder devolver a la naturaleza un agua que no afecte al ecosistema en general.

4.3.1. Costos de producción

El sistema estará a cargo de un supervisor, responsable del funcionamiento de la planta de tratamiento de agua, también habrá dos personas operativas, encargados del mantenimiento y cuidado. La planta de tratamiento trabaja los 365 día del año, el costo total de operación al año es de \$28.562.50 (Tabla 12).

Esto también incluye un lote de lombrices traídas de EEUU, para asegurar el arranque del proyecto y su buen desempeño.

También costos variables básicamente para el armado del "Humus" para su destino final.

Tabla 12. Registro de costos (\$/1 año).

Actividad	Unidad	Cantidad	P. Unitario (\$)	Total (\$)
------------------	---------------	-----------------	-------------------------	-------------------

Costos fijos				
Mano de obra	Persona	2.00	5,040.00	10,080.00
Supervisor	Persona	1.00	9,600.00	9,600.00
Mantenimiento de maquinaria y equipo	Mensual	12.00	100.00	1,200.00
Lombrices	Cajas	29.50	41.25	1,216.88
Total Costos Fijos				20,880.00
Costos Variables				
Aserrín	m3	211.00	20.00	4,220.00
Sacos de polietileno	unidad	7,000.00	0.21	1,470.00
Hilo	Rollos	50.00	1.45	72.50
Energía Kw/hr	mes	12.00	160.00	1,920.00
Total Costos Variables				7,682.50
Costos Totales (\$)				28,562.50

4.3.2. Ingresos

La degradación de los efluentes lácteos es aproximadamente de 1 año por el alto contenido de carga y solidos de las aguas residuales a tratar, en este periodo se cosechará el humus de lombriz, este será comercializado a los agricultores de la zona de Cayambe y a los proveedores de la materia prima principal que es la leche de INPROLAC S.A. La cantidad generada será de 175.000 kg, y se procederá a vender 7.000 sacos de 25kg cada uno, el precio promedio de venta será de \$10 por saco, lo que representa un total de venta de \$70.000 (Tabla 13).

Tabla 13. Ingresos.

Descripción	Unidades (kg)	Saco (kg)	Cantidad	P. Unitario (\$)	Ingreso (\$)
Humus	175,000.00	25	7,000.00	10.00	70,000.00
Total ingresos/año (\$)					70,000.00

Para este estudio se ha realizado un cálculo de VAN, TIR, y TMAR.

En la tabla 14 se detalla los cálculos realizados de VAN, TIR y TMAR del proyecto:

Tabla 14. Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA						
Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	-119000					
Capital de trabajo	-4069,18					
Ingresos de efectivo		70000,00	73500,00	77175,00	81033,75	85085,44
Costos totales		-28562,50	-29990,63	-31490,16	-33064,66	-34717,90
UNAI		41437,50	43509,38	45684,84	47969,09	50367,54
Impuestos (12%)	12%	-4972,50	-5221,13	-5482,18	-5756,29	-6044,10
UNDI		36465,00	38288,25	40202,66	42212,80	44323,44

Depreciación y amortización		-	-	-	-	-
Capital de trabajo						4069,18
Ingreso neto efectivo anual	123069,2	36465,00	38288,25	40202,66	42212,80	48392,62
Ingreso neto efectivo acumulado	123069,2	-86604,18	-48315,93	-8113,27	34099,53	82492,14
VAN anual	123069,2	32558,04	30523,16	28615,46	26826,99	27459,27
VAN	22914					
TIR	19%					
TMAR	5,2%					
INFLACIÓN	0,18%					
PREMIO AL RIESGO	5%					

Durante los 5 años del proyecto, se estima una VAN de \$22914 una TIR del 19% calculado a partir del valor de la inversión y del Ingreso neto anual. Además, un TMAR de 5.2%, lo que hace que el proyecto sea factible ya que el TIR es mayor al TMAR. Estos resultados positivos coinciden con el estudio realizado por Cruz y Rivero (2020), quienes desarrollaron un prototipo de filtro biológico con base en el Sistema Tohá para evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales industriales lácteas y comparar económicamente con un tratamiento convencional. La evaluación económica reportó que el biofiltro es más económico (S/. 1,645,805) que un tratamiento convencional (S/. 11,265,880). Además, se determinó un valor neto de S/. 14,791,176.2 con una tasa interna de retorno de 75%, con un valor estimado de recuperación de dos años.

4.3. Planteamiento de estrategias para la producción sostenible y sustentable de humus.

Para plantear las estrategias se realizó un análisis FODA y un FO-FA-DA-DO, tomando como puntos de partida las fortalezas y oportunidades que brinda este sistema de tratamiento de aguas y buscando al mismo tiempo anticiparse a las amenazas y debilidades que pudieran presentarse con el tiempo.

Análisis FODA realizado al proceso de tratamiento de aguas residuales de una empresa láctea ubicada en el cantón Cayambe				
	F		D	
	Fortalezas		Debilidad	
Internas	1	Fácil control y manejo del método de trabajo	1	Las lombrices no soportan cambios de ambientes y pH para su proliferación

		Externas	2	Costos de operación bajos	2	Las lombrices son importadas de EEUU, por lo que traer un nuevo lote puede ser complicado. Esto debido a que por ser el inicio de un proyecto de gran escala y por recomendación del proveedor externo se tiene que asegurar las cepas.
O	Oportunidades		Estrategias FO		Estrategias DO	
	A	Se puede tratar las aguas residuales de todos los procesos productivos de planta	1- 2- A	Aprovechar el fácil manejo de la Planta de tratamiento de aguas, más los costos bajos de operación se podría tratar el 100% de las aguas residuales de toda la planta	1- 2- B	Como acción preventiva ante la posible pérdida de lombrices por cualquier eventualidad o desviación suscitada y evitar el desabastecimiento de estas se debería realizar un tratamiento aparte de crecimiento únicamente
B	No solo se trata el agua, sino que se obtiene humus como resultado					
A	Amenazas		Estrategias FA		Estrategias DA	
	E	En caso de no haber control riguroso y permanente se puede tener consecuencias graves especialmente la pérdida de las lombrices.	1- E	Considerando el fácil manejo de esta metodología es necesario realizar procedimientos e instructivos claros para hacer sostenible el sistema	1- 2- E- F	Desarrollar resistencia mediante pruebas a pequeños lotes de lombrices someténdolas a cambios paulatinos de pH considerando la inestabilidad de los afluentes de una industria láctea en este caso
F	Las aguas residuales de las industrias lácteas son muy inestables en términos de pH y Acidez.					

Una vez realizado el análisis FO-FA-DO-DA se identifican las siguientes estrategias que podrían ayudar al sistema haciéndolo sostenible y sustentable para la industria láctea en general mismas que resumo a continuación:

a. Estrategia 1. Mayor eficiencia del sistema

Aprovechar el fácil manejo de la planta de tratamiento de aguas, y los costos bajos de operación para tratar el 100% de las aguas residuales de toda la planta. Además, la carga de sólidos existentes en los efluentes lácteos permiten tener un buen desempeño de dicho sistema.

Acciones:

- Canalizar todos los efluentes de las aguas residuales de planta a un solo punto de acumulación para la toma respectiva de datos.
- Procurar mantener un nivel de sólidos para el tratamiento de las aguas tanto en las piscinas de tratamiento como en el biofiltro.

b. Estrategia 2.- Aseguramiento del lote de lombrices

Como acción preventiva ante la posible pérdida de lombrices por cualquier eventualidad o desviación suscitada y evitar el desabastecimiento de estas se debería realizar un tratamiento aparte de crecimiento únicamente. Camas especializadas y con sustrato y alimentación adecuada es una opción para hacer sostenible su proliferación.

Acciones:

- Adecuación de camas únicamente para proliferación de lombrices.
- Dotar de alimentación adecuada y rica en nutrientes para su crecimiento. Podría utilizarse restos de materia orgánica tales como residuos de cocina.

c. Estrategia 3.- Fortalecimiento de la operación

Aprovechar el fácil manejo de esta metodología es necesario realizar procedimientos e instructivos claros para hacer sostenible el sistema. La parte operativa es esencial para fortalecer la operación.

Acciones:

- Elaborar instructivos y procedimientos adecuados para el registro diario de actividades y toma de datos de la PTAR.
- Realizar capacitación constante interna y externa sobre el funcionamiento de todo el sistema.

d. Estrategia 4.- Sostenibilidad del proceso

Desarrollar resistencia mediante pruebas a pequeños lotes de lombrices sometiéndolas a cambios paulatinos de pH considerando la inestabilidad de los afluentes de una industria láctea en este caso. Esta resistencia podría ayudar en la diversificación de los productos de la industria que no siempre guardan las mismas especificaciones dentro de la producción.

Acciones:

- Adecuar camas específicas de pruebas en las cuales se pueda manejar cierto tipo de sustrato y de aguas residuales de áreas específicas las cuales difieran en cuanto nutrientes y variables como pH.
- En cada cambio del biofiltro utilizar un inóculo de estas lombrices nuevas para poder mejorar el desempeño de las mismas a cada lote.
- Incluir dentro de los procesos de I&D&I de Planta a la PTAR como parte principal del proceso.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En el Ecuador los controles de los efluentes industriales generados por las industrias alimenticias son deficientes, por ende, actualmente los cauces de agua están siendo afectados, ya que no existe un control riguroso por parte de las entidades regulatorias.
- Con el estudio se determina que toda industria láctea debe tener una planta de tratamiento de agua residual, teniendo en cuenta que la industrialización de yogurt y queso son los principales generados de efluentes lácteos con mayor cantidad de suero, grasas, DBO y DQO.
- La aplicación del sistema Tohá demuestra ser muy efectivo en el proceso de degradación de los efluentes, esto hace que exista un control adecuado y nos permite obtener agua óptima para la desembocadura en ríos, vertientes, y/o para el uso de riego, lo que hace ser amigable con el ambiente.
- INPROLAC S.A. genera aproximadamente 4 litros de agua residual por litro de leche procesada. Esto como resultado semanal de 1,064,396.00 litros de agua residual por 264,597.00 litros de leche utilizada semanalmente. Estos son valores bajos frente a teóricos existentes.
- La inversión inicial total del proyecto fue de \$119,000. Este valor cubrió el costo de la instalación, montaje del galpón y estudios de laboratorio. Esta inversión es de igual manera baja frente a los resultados obtenidos no solo en términos del agua obtenida sino también al obtener un humus para diversos usos.
- Con los valores obtenidos de TIR 19%; VAN 22914, y TEMAR 5.2%, demuestran que el proyecto es económicamente viable. Y que en el transcurso de 5 años se puede recuperar la inversión y mantener aun un sistema vigente y aprovechable.
- El proyecto de igual manera muestra que la metodología Toha es completamente aplicable y susceptible a mejoras tales como adaptación y optimización tanto de los

efluentes generados, así como de las lombrices haciendo de todo esto un sistema sostenible y sustentable en el tiempo. Por la experiencia adquirida el uso de un lote de lombrices importadas es muy favorable para poder asegurar el buen arranque, trabajo y proliferación de estas.

5.2. Recomendaciones

- La industria láctea debe identificar los puntos más críticos de consumo de agua por proceso, esto con el objetivo de disminuir el consumo de agua y por ende disminuir la cantidad de efluentes lácteos.
- INPROLAC S.A. debe realizar la neutralización de los efluentes lácteos antes de que estos desemboquen en la planta de tratamiento, con el fin de que el agua residual sea más digerible para las lombrices.
- Dar a conocer los beneficios del sistema de tratamiento de efluentes industriales, a las pequeñas, medianas y grandes industrias lácteas del país, con la finalidad de incentivar a la implementación de plantas de tratamiento de agua residuales. Esto permitirá que el país sea más culto y favorezca el beneficio al ambiente, evitando el uso de químicos o la evacuación directa a los vertederos.

BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo ministerial 097-A, Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador. Registro Oficial N° 387. Quito. Ecuador.

RESOLUCIÓN Nro. 06-2018-LCA-DPAPCH. Quito, Ecuador.

AGROFLOR. (2016). Manual de Lombricultura. Villarrica, Chile. Disponible en: [http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual% 20de%20Lombricultura.pdf](http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf)

Agrolanzarote. (2013 9 junio). *Manual práctico para la lombricultura*. <http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/01Actualidad/documentos/manual-lombricultura.pdf>

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation. (1912). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 2). American Public Health Association.

ARCSA-042-2015. (2015). *Norma Técnica sustitutiva de Buenas Practicas de Manufactura para alimentos procesados*. Ecuador.

Armesto, D. F. T., García, L. A. G., Correa, D. A., & Bello, J. A. M. (2016). Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Producción+ Limpia*, 11(1). 171 – 184.

Balanica, CD, Muntenita, CRISTIAN, Zeca, DE y Stoica, MARICICA (2020). Análisis estadístico de las características fisicoquímicas de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas de Rumanía. *Rev. Chim* , 71 (10), 100-107.

Cameron, K., Di, H.J. y McLaren, R.G. (1999). Comparison of nitrogen leaching losses from different forms and rates of organic wastes, fertilizers and animal urine applied to Templeton soils and lysimeters. In: Best soil management practices for production. Occasional report No.12. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North. pp. 241-249.

Castro Castellanos, E. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema Tohá (lombrifiltro) para el tratamiento de las aguas*

residuales en el municipio de Tinjacá-Boyacá (Tesis de pregrado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad De Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ingeniería Ambiental).

Codex Alimentario. (2003). Codex alimentarius. *Guidelines on Nutrition Labeling (CAC/GL 2-1985 (rev 1-1993)*. Available at: ([http://www. codexalimentarius.net/download/standards/34/cxg_002e. pdf](http://www.codexalimentarius.net/download/standards/34/cxg_002e.pdf)).

Código Orgánico del Ambiente. (2017). Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril de 2017. Quito, Ecuador.

Código Orgánico del Ambiente. (2018). Artículo 173 del Código Orgánico del Ambiente Nro. MAE-SUIA-RA-DPAPCH-2018-20591, con fecha 06 de marzo del 2018. Quito, Ecuador.

Compagnoni, L., & Putzolu, G. (2018). *Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus*. Parkstone International.

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Quito, Ecuador.

Cruz Huaracha, C. L. y Rivero Callohuanca, A. G. (2020). Disminución de costos en el tratamiento de aguas residuales industriales lácteas utilizando un prototipo de lombrifiltro (Tesis de grado). Universidad Tecnológica del Perú. Arequipa, Perú.

Del Pino, S. J. L., & Calderón, S. M. (2017). *UF1666-Depuración de aguas residuales*. Editorial Elearning, SL.

Demirel, B., Yenigun, O. y Onay, T. T. (2005). Anaerobic treatment of dairly wastewaters: A review. *Process Biochemistry* 40:2583-2595.

Díaz, J. M., Acero, P., Morantes, M., & Hernández, L. F. (2018). Diseño de membrana para retención de carga orgánica e inorgánica en aguas residuales. *Revista INNMODALAB*, 3, 103-115.

Dirección Nacional de Estudios de Mercado. (2021). *Estudio de mercado N° SCPM-IGT-INAC-002-2019 «Sector lácteo» Versión pública*. Superintendencia de Control del

Poder de Mercado. <https://www.scribbr.es/detector-de-plagio/generador-apa/new/report/>

Europea, U. (2006). Guía buenas prácticas mediambientales en el sector lácteo. *Compostela: Unión Europea*.

Foster, E. (1965). *Microbiología de la Leche* Trad. Ramón Palazón. Editorial Herrero. México. pp. 454 – 473.

Gallego Castro, L. A., Mahecha Ledesma, L., & Angulo Arizala, J. (2017). Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas holstein con *Tithonia diversifolia*. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 357-370.

Gallegos Valqui, D. G. (2019). Evaluación del Lombrifiltro como Tratamiento Primario del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Proyecto Manchay Verde (Tesis de grado). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Villa El Salvador, Perú.

Gemat Sistema Toha. (2017). *Sistema Sustentable y Eficiente de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de: <https://www.eisenia.com.br/wp-content/uploads/2017/10/apresentacao-gemat.pdf>

Gestión Ambiental PTAR ALPINA. (2020). Registros diarios de operación San Gabriel – Montúfar. Hoja de cálculo Excel.

Gestión Ambiental PTAR Miraflores. (2020). Registros sobre aguas residuales – Miraflores Ayora. Hoja de cálculo Excel.

Gestión Ambiental PTAR Rey Lácteos. (2020). Registros diarios de aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento – Sangolquí. Hoja de cálculo Excel.

Gobierno autónomo descentralizado intercultural y plurinacional municipal de Cayambe. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Cayambe 2020-2030.

Grupo Aqua Limpia. (2010). Depuración de aguas residuales de la industria de Lácteos. Obtenido de <http://www.aqualimpia.com/Lacteos.htm>

- Gualavisí Guzmán, G. A. (2018). Plan estratégico de marketing para la microempresa de lácteos “Fernandita” cantón Cayambe provincia de Pichincha (Tesis de grado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Hem, J. D. (1985). *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural wáter* (Vol. 2254). Department of the Interior, US Geological Survery.
- Hernández Acosta, E., Quiñones Aguilar, E. E., Cristóbal Acevedo, D., & Rubiños Panta, J. E. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo, Hidalgo, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(1), 89-100.
- Hernández García, H., Buitrón Méndez, G., M Lopez-Vazquez, C., & J Cervantes Carrillo, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. IWA publishing.
- Hernández Sampieri, R., Fernadez Collado, C., y Baptista Lucio, P. (Ed.). (2014). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill Education.
- Herrera Pérez, J. R., & Muñoz Chafila, J. G. (2017). Reutilización de aguas residuales provenientes de comunidades rurales en actividades agrícolas (Tesis de grado). Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador.
- Hsien, C., Low, J. S. C., Chung, S. Y., & Tan, D. Z. L. (2019). Quality-based water and wastewater classification for waste-to-resource matching. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104477.
- Huilcarema Enríquez, K. X., & Quizhpi Jadan, E. M. (2016). Evaluación de alternativas y propuesta de un sistema de tratamiento para reducir la demanda Química de Oxígeno (DQO) presente en las aguas de formación provenientes de efluentes de industrias de procesamiento de gas natural (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Ecuador.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2004). NTC 5167: Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Colombia. p. 43.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2017). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). 2017. Disponible: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccionagropecuaria-continua-bbd/>
- Jácome Yánez, J. A. (2014). Validación de métodos analíticos para la determinación de la demanda química de oxígeno (rango bajo, rango medio, rango alto), sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos en matrices de agua clara y residual en el Centro de Investigaciones y Control Ambiental CICAM (Tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ecuador.
- Kumar, T., Rajpal, A., Bhargava, R., & Prasad, K. S. H. (2014). Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material. *Ecological Engineering*, 62, 77-82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.028>
- Kushwaha JP, Srivastana C, Mall ID. (2011). An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 51:442-452 p.
- Lacrampe. Gustavo. (2009). Apuntes. *Aguas servidas*. Universidad católica de la Santísima Concepción Chile.
- Levantesi, C. (2009). Alphaproteo de bacteria filamentos en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales. *Applied Microbiology*, 27,716/727 p.
- Licto Iza, M. (2017). Evaluación de un proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria láctea (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Lucas, S. M., & García, R. S. (2018). El agua en la industria alimentaria. *Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica*, 33(2), 157-171.
- Manrique Delgado, E. P., & Piñeros Castañeda, J. (2016). Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia Foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio Tesis de grado).

Fundación Universidad de América.

- Menéndez Gutiérrez, C., & Dueñas Moreno, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 39(3), 97-107.
- Metcalf y Eddy. (2008). Ingeniería de aguas residuales redes de alcantarillado y bombeo. Editorial McGraw – Hill. Madrid.
- Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2014). Subsecretaría de Ganadería. Producción y destino de la leche vacuna en Ecuador. Quito, Ecuador.
- Miranda, J. P. R., Ubaque, C. A. G., & Pinzón, J. P. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 19(46), 149-164.
- Moposita, P. D. P., & Vistin, D. A. (2019). Determinación de factores de riesgo a nivel visual en los obreros del Municipio del Cantón Montalvo por desechos orgánicos e inorgánicos periodo mayo-septiembre del 2019 (Tesis de grado). Babahoyo: UTB-FCS. Ecuador.
- Moreno, R. A. (2003). La vermicomposta como alternativa orgánica para fortalecer la agricultura en las regiones áridas y semiáridas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – UAAAN. Coahuila, México. p. 18.
- Norma Técnica Ecuatoria INEN. (2015). *Sistema integral de gestión de la calidad, ambiente, seguridad y salud en el trabajo alimentos y bebidas requisitos*. Quito, Ecuador.
- OECD and Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas*. 278 p. <https://doi.org/10.1787/a0848ac0-es>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Oroxón Fuentes, J. L. (2017). *Diseño de oxigenador de agua programable para estanques* (Tesis doctoral). Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Orozco, F.H.; Cegarra, J.; Trujillo, L.M.; Roig, A. (1996). Vermicomposting of coffee pulp using earthworm *Eisenia foetida*: Effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils*. 22: 162-166.
- Ortega, E.A. & Malavolta, E. (2012). Los más recientes micronutrientes vegetales. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, IAH 7*: 16-25p. Argentina.
- Paco, G., Loza-Murguía, M., Mamani, F., & Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 24-39.
- Parra Huertas, R. A. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción+ limpia*, 10(2), 142-159.
- Pisutpaisal, N., & Sirisukpoca, U. (2014). Development of rapid chemical oxygen demand analysis using ozone as oxidizing agent. *Energy Procedia*, 50, 711-718.
- Pons, M., Spanjers, H., Baetens, D., Nowak, O., Gillot, S., Nouwen, J. y Schuttinga, N. (2014). Wastewater characteristics in Europe-A survey. *European Water Management Online - EWA*. Europa. pp. 1-10.
- Porwal, H. J., Mane, A.V., y Vehal, S.G. (2015). Biodegradation of dairly effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge. *Water resources and industry*, 9,1-15.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2018). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Disponible: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Ramalho, R. S. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté S. A. 716 p.
- Reyes Borja, Walter Oswaldo, & Medina Litardo, Reina Concepción (2021). Sustentabilidad de dos sistemas de producción de arroz, uno en condiciones de salinidad en la zona

de Yaguachi y otro en condiciones normales en el sistema de riego y drenaje Babahoyo, Ecuador. *Ecología Aplicada*, 20(1),65-81.

Rodríguez, C. (2015). *Demanda química de oxígeno por refluo cerrado y volumetría*. (N.º 05). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/>

Samal, K., Dash, R. R., & Bhunia, P. (2017). Performance assessment of a Canna indica assisted vermifilter for synthetic dairy wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 363-374.

Santamaría, E. J., Álvarez, F., Díaz, E. S., & Zamora, M. (2015). Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. *Agroindustrial Science*, 5(1), 13-26.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida. Quito, Ecuador.

Shete, B. S., & Shinkar, N. P. (2013). Comparative study of various treatments for dairy industry wastewater. *IOSR J Eng*, 3, 42-47.

Sigler, A., & Bauder, J. (2017). Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales. *Obtenido de Well Educated Educación en el Agua de Pozo: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS*, 20, 2012-11.

Singh, R., Bhunia, P., & Dash, R. R. (2017). A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. *ScienceDirect*, 197, 656-672

Soto, M. y Tohá, J. (1998). Ecological Wastewater Treatment. In: Congreso Internacional: WT98-Advanced Wastewater treatment. Recycling and Reuse Milano, Italia 14:16, Sept. pp. 1091-1094.

Strydom, J.P., Mostert, J.F., Britz, T.J. (1993). Effluent production and disposal in the South African dairy industry—a postal survey. *Water SA*. 19 (3). South África. 253–258 p.

Subler, S; Edwards, C.A; Metzger, J. (1998). Comparing vermicompost and compost. *Biocycle*. 39: 63-66. Citado en: Comparison of Municipal Solid Waste Compost,

- Vermicompost and Leaf Mold on Growth and Development of Cineraria (*Pericallis × hybrida* ‘Star Wars’). *Journal of Applied Biological Sciences*. 2011. Iran.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA). (2017). Registro Oficial Edición Especial 2 de 31 de marzo de 2003. Última modificación 29 de marzo de 2017. Quito, Ecuador.
- Tobiasová E., Baranciková G., Gomoryova E., Debska B., Banach-szott M. (2018). Humus Sustances and soil aggregates in the soils with different texture. 13:44-50
- Tomar, P., & Suthar, S. (2011). Urban wastewater treatment using vermi-biofiltration system. *Desalination*, 282, 95-103.
- Torres, A. (2018). *Análisis de aguas residuales*. Laboratorio del Medio Ambiente, Diputación Provincial de Granada. http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf
- Trapote, A. (2013). *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Valencia, E. (2010). La industria de la leche y la contaminación del agua. Puebla. Disponible: <http://www.elementos.buap.mx/num73/htm/27.htm>
- Vera, I. G. C. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. *Dominio de las Ciencias*, 3(1), 536-560.
- Vera, D. Z., & Iglesias, E. L. (2018). La industria de lácteos de Riobamba–Ecuador: dinámicas en la economía local. *Economía y Negocios*, 9(1).
- Vilanova, R., Santín, I., & Pedret, C. (2017). Control y operación de estaciones depuradoras de aguas residuales: modelado y simulación. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 14(3), 217-233.

Anexo 2. Presupuesto del proyecto.

Referencia	Actividad	Cant.	Valor Unitario (\$)	Valor total (\$)
Recurso humano	Tesista (mes)	8	500.00	4,000.00
Material Administrativo	Computador	1	400.00	400.00
	Papelería	1	50.00	50.00
	Impresiones	1	100.00	100.00
	Internet	1	50.00	50.00
	Empastados	3	20.00	60.00
Material técnico	Material (muestra)	16	1.00	16.00
	Análisis internos	4	25.00	100.00
	Análisis Externos	4	250.00	1,000.00
Costo total			\$1,396.00	\$5,776.00

Anexo 3. Planta de industrial de lácteos INPROLAC S.A.



Anexo 4. Análisis de laboratorio.

	INFORME DE RESULTADOS No. 2020-03	
---	--	---

Cliente:	INPROLAC
Contacto:	Ing. Jorge Erazo
Teléfono:	2360735
Dirección:	Víctor Cartagena N6 24 de Mayo, Cayambe
Fecha emisión de informe:	29/01/2020
Muestra tomada por:	Environovalab
Procedimiento de Toma de muestras:	Instructivo Toma de muestras IT-5.8-01
Fecha y hora de recepción de muestras:	10/01/2020 8:38
Período de análisis:	10/01/2020-28/01/2020

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
CÓDIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-03	AGUA DESCARGA	09/01/2020	9:25 a 16:25	Salida de la planta, PTAR	0817440 0005310	Agua residual amarillenta, turbia y de mal olor Muestra compuesta por 8 alícuotas, 1 alícuota c/h

PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	RESULTADOS			
		UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITE ^a	INCERTIDUMBRE
ACEITES Y GRASAS	PE-08 SM 5520 B, Ed. 23 2017	mg/l	37	70	9.07 mg/l
CIANURO TOTAL ⁵¹	PA-54.00 SM 4500 CN- C y E, Ed. 23, 2017	mg/l	<0.010	1.0	0.002 mg/l
CLORO ACTIVO*	PE-22 SM 4500 Cl- G, Ed. 23, 2017	mg/l	<0.05	0.5	No aplica
FENÓLES ⁵	PTA. 10-1-1 SM 5530 (B+C), Ed. 22, 2012	mg/l	<0.05	0.2	0.01 mg/l
CROMO HEXAVALENTE	PE-07 SM 3500 Cr C, Ed. 23 2017	mg/l	<0.10	0.5	0.01 mg/l
DBO ₅ ⁵	PTA. 04-1-1 SM 5210 B, Ed. 22, 2012	mg/l	36.5	250	6.57 mg/l
DQO ⁵	PTA. 03-1-1 SM 5220 B, Ed. 22, 2012	mg/l	58.3	500	8.75 mg/l
FOSFORO TOTAL ⁵¹	PA 48.00 SM 4500-P B y C, Ed. 23, 2017	mg/l	18.26	15.0	0.26 mg/l
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL ⁵¹	PA 72.00 SM 4500-N org C, Ed. 23, 2017	mg/l	55.25	60	0.45 mg/l
pH	PE-01 SM 4500H+ B, Ed. 23, 2017	upH	6.44	6-9	0.17 upH
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	PE-03 SM 5540 D, Ed. 23, 2017	ml/l	<5.0	20	2.7 ml/l
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PE-05 SM 2540 D, Ed. 23 2017	mg/l	<70.0	220	9.6 mg/l
SÓLIDOS TOTALES	PE-06 SM 2540 B, Ed. 23 2017	mg/l	1175	1600	73.8 mg/l
SULFATOS ⁵¹	PA 17.00 EPA 375.4 SO ₄ ²⁻ , 1978	mg/l	<5.0	400	1.07 mg/l
SULFUROS ⁵¹	PA 58.00 SM 4500-S ²⁻ A y D, Ed. 23, 2017	mg/l	3.73	1.0	0.02 mg/l
TEMPERATURA*	PE-11 SM 2550 B, Ed. 23, 2017	°C	27.6	<40	No aplica
TENSOACTIVOS ⁵	PTA. 11-1-1 SM 5540 C, Ed. 22, 2012	mg/l	0.23	2.0	0.04 mg/l
CAUDAL DESCARGA*	AFORO VOLUMÉTRICO	l/s	0.98	No aplica	No aplica
MATERIAL FLOTANTE*	ORGANOLECTICO	presencia/ ausencia	ausencia	No aplica	No aplica

Anexo 5. Límites máximos permisibles para efluentes de PTAR.

Parámetros por evaluar	Unidad	Límite Máximo	Criterio
SS	mg/L	220.00	Cumple
DQO	mg/L	500.00	Cumple
DBO	mg/L	250.00	Cumple
pH	UpH	6 - 9	Cumple
ST	mg/L	1,600.00	Cumple
Material flotante	Visible	Ausencia	Cumple
Temperatura	°C	<40	Cumple

Anexo 7. Licencia Ambiental para la empresa INPROLAC S.A.



Ministerio
del Ambiente

MINISTERIO DEL AMBIENTE

RESOLUCIÓN Nro. 06-2018-LCA-DPAPCH

LICENCIA AMBIENTAL PARA EL PROYECTO "DULAC'S INPROLAC S.A.", UBICADO EN EL CANTÓN CAYAMBE, PROVINCIA DE PICHINCHA.

El Ministerio del Ambiente en su calidad de Autoridad Ambiental Nacional en cumplimiento de sus responsabilidades establecidas en la Constitución de la República y el Código Orgánico del Ambiente, de precautelar el interés público en lo referente a la preservación del ambiente, la prevención de la contaminación ambiental y la garantía del desarrollo sustentable, confiere la presente Licencia Ambiental a la empresa INPROLAC S.A., para construcción, operación, mantenimiento, cierre y abandono del proyecto: "DULAC'S - INPROLAC S.A", ubicado en la provincia Pichincha, cantón Cayambe, para que en sujeción del Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental aprobado, proceda con la ejecución del proyecto, en todas sus fases.

En virtud de lo expuesto, la empresa INPROLAC S.A., a través de su Representante Legal, responsable del proyecto: "DULAC'S - INPROLAC S.A", ubicado en la provincia Pichincha, cantón Cayambe, se obliga a lo siguiente:

1. Cumplir estrictamente lo señalado en el Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental aprobado para el proyecto "DULAC'S - INPROLAC S.A", ubicado en la provincia Pichincha, cantón Cayambe.
2. Mantener un programa continuo de monitoreo y seguimiento ambiental de las medidas establecidas en el Plan de Manejo Ambiental, cuyos resultados deberán ser entregados al Ministerio del Ambiente de manera semestral. Respecto a la ejecución de los monitoreos ambientales, se deberá dar cumplimiento al Art. 255 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, emitido mediante Acuerdo Ministerial No. 061 de 07 de abril de 2015, publicado en la Edición Especial No. 316 del Registro Oficial de 04 de mayo de 2015, o la normativa que lo reemplace.
3. Dar cumplimiento estricto a las disposiciones establecidas en el capítulo VI del Acuerdo Ministerial No. 061, Registro Oficial No. 316 del 04 de mayo de 2015, o el que lo reemplace.
4. Utilizar en la ejecución del proyecto, procesos y actividades, tecnologías y métodos que atenúen, y en la medida de lo posible prevengan los impactos negativos al ambiente.

12

Anexo 8. Registro fotográfico del trabajo de campo.



Piscinas de tratamiento físico para separación de sólidos de la PTAR.



Aspersores de aguas residuales y aireadores del biofiltro.



Capa de materia orgánica en tratamiento con lombrices.