

**APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES EN EMPRESA LÁCTEA, MUNICIPIO DE COGUA.**

LADY NAYIBE RINCÓN CARREÑO

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2019.**

**APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES EN EMPRESA LÁCTEA, MUNICIPIO DE COGUA.**

LADY NAYIBE RINCÓN CARREÑO

**Monografía para optar por el título de Especialista en
Gestión Ambiental**

**Orientador(a):
GABRIELA ARRIETA LOYO
Dra. Ingeniera Ambiental**

**FUNDACIÓN UNIVERASIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2019.**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director de la Especialización

Firma del calificador

Bogotá D.C., abril de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suárez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Emerson Mahecha Roa

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme la fortaleza para lograr culminar esta etapa de mi vida y a toda mi familia especialmente a mis padres quienes fueron el apoyo y motivación principal para que me esforzara cada día a ser una mejor profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a principalmente a la empresa que fue un gran apoyo para la ejecución de este trabajo académico, igualmente agradezco a cada uno de los docentes que durante la especialización me motivaron, guiaron y acompañaron para cumplir este logro de mi vida.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	23
1. PROBLEMÁTICA	24
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 ESTUDIO DE CASO	28
2.2 PROCESOS Y PRODUCTOS EMPRESA LÁCTEA	29
2.3 MATERIAS PRIMAS EN LOS PROCESOS	36
2.4 MARCO CONCEPTUAL	38
2.4.1 Lodo residual generado en PTAR.	38
2.4.2 Clasificación de los lodos	40
2.4.3 Biosólido	41
2.5 MÉTODOS Y/O SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES	41
2.5.1 Espesamiento del lodo	41
2.5.2 Deshidratación del lodo	42
2.5.3 Estabilización de lodos	43
2.5.4 Métodos de aprovechamiento de lodos residuales industriales	43
2.5.5 Métodos de tratamiento de lodos residuales	45
2.5.6 Métodos de disposición final de lodos residuales	46
2.6 MARCO NORMATIVO	46
3. METODOLOGÍA	50
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	53
4.1 ESPECIFICACIONES ALTERNATIVA SELECCIONADA	66
4.1.1 Elaboración de ladrillos cerámicos	66
4.2 CASOS DE ESTUDIO	67
5. CONCLUSIONES	72
6. RECOMENDACIONES	73
7. APORTES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Procesamiento de los productos lácteos.	20
Figura 2. Ubicación geográfica empresa láctea.	28
Figura 3. Diagrama proceso leche UHT.	30
Figura 4. Diagrama proceso queso campesino.	31
Figura 5. Diagrama proceso queso doble crema.	32
Figura 6. Diagrama proceso yogurt.	33
Figura 7. Diagrama proceso cuajada.	34
Figura 8. Diagrama proceso gelatina.	35
Figura 9. Diagrama proceso refresco/jugo.	35
Figura 10. Diagrama proceso bebida láctea.	36
Figura 11. Planta de tratamiento de aguas residuales empresa láctea municipio de Cogua.	56
Figura 12. Reactor aerobio.	59
Figura 13. Tanque lodos fisicoquímicos.	60
Figura 14. Tanque lodos biológicos.	61
Figura 15. Sistema deshidratación de lodos residuales.	61
Figura 16. Equipo espesador de lodos.	62
Figura 17. Equipo filtro prensa.	62

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Producción mundial de leche de vaca en 2017.	16
Gráfica 2. Expansión productiva de leche en el mundo	16
Gráfica 3. Principales países productores de leche en América Latina y el Caribe.	17
Gráfica 4. Distribución ciudades de Colombia de comercialización de productos lácteos.	18
Gráfica 5. Porcentajes de productos derivados de leche (mayo 2018).	19
Gráfica 6. Alternativas de aprovechamiento.	65

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación de regiones productoras de leche.	19
Tabla 2. Participación departamental en volumen de comercialización de quesos, leche en polvo, leche UHT y leche pasteurizada	21
Tabla 3. Composición de algunos productos lácteos.	25
Tabla 4. Recursos utilizados del medio ambiente para los procesos productivos.	37
Tabla 5. Componentes del biogás en función del material utilizado.	45
Tabla 6. Normatividad legal vigente manejo de lodos o biosólidos.	46
Tabla 7. Concentraciones máximas de contaminantes.	47
Tabla 8. Criterios con límites máximos permisibles de los biosólidos con su categoría correspondiente.	47
Tabla 9. Valores límites máximos permisibles industria láctea (Resolución 631 de 2015).	48
Tabla 10. Producción de biosólido y frecuencia de análisis	49
Tabla 11. Conceptos y valoración de matriz Pugh.	51
Tabla 12. Nivel de importancia de los criterios.	51
Tabla 13. Matriz de Pugh con las alternativas.	52
Tabla 14. Residuos, vertimientos y emisiones generados por cada proceso hacia el medio ambiente, en empresa láctea del municipio de Cogua.	53
Tabla 15. Resultados análisis del agua residual a la salida de la PTAR.	55
Tabla 16. Características pozo de bombeo inicial.	56
Tabla 17. Características equipo de cribado.	57
Tabla 18. Características homogenizador.	57
Tabla 19. Características neutralización.	58
Tabla 20. Características CAF.	58
Tabla 21. Características de decantadores secundarios.	59
Tabla 22. Características etapa de lodos.	60
Tabla 23. Comparación con el Decreto 4741 de 2005.	63

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Formato encuesta informal en empresa láctea.	81
Anexo B. Evidencias fotográficas de proceso y efluente final de la PTAR.	82
Anexo C. Soportes de los informes de caracterización agua residual y de lodo de la PTAR.	83

RESUMEN

El tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico y/o industrial tiene como resultado final el agua tratada y el lodo residual, este último es un biosólido con características de peligrosidad dependiendo de los componentes presentes en las aguas a tratar; por tanto, éste debe tener un adecuado manejo, tratamiento y disposición final, para disminuir los riesgos o impactos negativos a la salud y el ambiente.

Actualmente se pueden encontrar diferentes usos de aprovechamiento de los biosólidos de acuerdo a características físicas, químicas, microbiológicas y de peligrosidad que estos tengan y así poderlos clasificar de tipo A o B para sus diferentes usos basado en la normatividad nacional legal vigente (Decreto 1287 de 2014).

Este trabajo académico presenta un estudio de caso, el cual tiene como propósito buscar una alternativa económica y ambientalmente viable para una empresa láctea, que genera 9.5 toneladas al mes de biosólido, causando un costo adicional a la organización para su disposición final. Para el desarrollo de este trabajo se estableció en primer lugar visitas técnicas a la empresa para conocer el proceso productivo y el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR) y así analizar las características fisicoquímicas y biológicas del agua tratada y los componentes del biosólido para su óptimo aprovechamiento.

Posteriormente se evaluaron tres alternativas de uso y/o aprovechamiento para los lodos residuales; para la selección de la alternativa se realizó por medio de la matriz de Pugh teniendo en cuenta tres variables de calificación para obtener como la mejor alternativa la elaboración de materiales de construcción con un puntaje de 4. Este método de aprovechamiento se ha venido estudiando en los últimos años, en donde varios proyectos académicos y de investigación han demostrado los diferentes beneficios económicos, ambientales y de salud que genera la implementación en el sector ladrillero la elaboración y fabricación de ladrillos ecológicos (mezcla lodo-arcilla).

Palabras clave: Tratamiento de aguas, lodo residual, aprovechamiento y materiales de construcción.

ABSTRACT

The treatment of domestic and/or industrial wastewater has as ultimately results the treated water and sewage sludge, the latter is a biosolid with hazardous characteristics depending on the components present in the water to be treated; therefore, it must have a suitable handling, treatment and final disposal to reduce risks or the negative impacts to human health and the environmental.

Currently different uses of biosolids can be found according to physical, chemical, microbiological and hazard characteristics that it has and thus can be classify them as type A or B for their different uses based on the national legal regulations (decree 1287 of 2014).

This academic work presents a case study, which aims to search an economical and environmentally viable alternative to a dairy company, that generates 9,5 tons per month of biosolid, causing an increased cost to the organization for its final disposal. For the development of this work was established firstly technical visits to the company to know the productive process and the industrial wastewater treatment system (WWTP) and thus analyze the physico-chemical and biological characteristics of the water treated and the components for their optimal uses.

Afterwards, three alternatives of use for sewage sludge were evaluated; for the selection of the alternative was made by Pugh matrix keeping in mind three qualification variables to obtain as the best alternative the elaboration of construction materials with a score of 4. This method of use has been studying in recent years, where several academic and research projects have shown different economic, environmental and health benefits that generates the implementation in the brick industry the manufacture of ecological bricks (mixture sewage sludge-clay).

Keywords: Wastewater treatment, sewage sludge, use and construction materials.

INTRODUCCIÓN

El insumo principal para las industrias lácteas es la leche, la cual según el artículo 3 del Decreto 616 del 28 de febrero de 2006 es *“El producto de la secreción mamaria normal de animales bovinos, bufalinos y caprinos lecheros sanos, obtenida mediante uno o más ordeños completos, sin ningún tipo de adición, destinada al consumo en forma de leche líquida o a elaboración posterior”*.

Según la FAO¹, la producción mundial de leche es generada en su mayoría por ganado vacuno (83%), búfalos (13%), cabras (2%), ovejas (1%) y camellos (0,4%), la presencia e importancia de cada animal depende de la zona o región del mundo donde se encuentre ubicada, además varía según la demanda del mercado, tradiciones alimentarias y características socioeconómicas en los hogares.

Para la FAO² uno de los principales productos en el sector agropecuario a nivel mundial es la leche, ya que, su producción corresponde al 27% del valor agregado global del ganado y al 10% de la agricultura mundial; este es un producto altamente consumido en el mundo posicionándose entre los cinco principales productos agropecuarios y sus derivados representan un 14% del comercio mundial. Para el año 2025, se estima que la producción de leche aumente a 177 millones de toneladas, teniendo en cuenta un crecimiento anual del 1,8% en comparación a los años 2013-2015 como lo menciona la FAO.

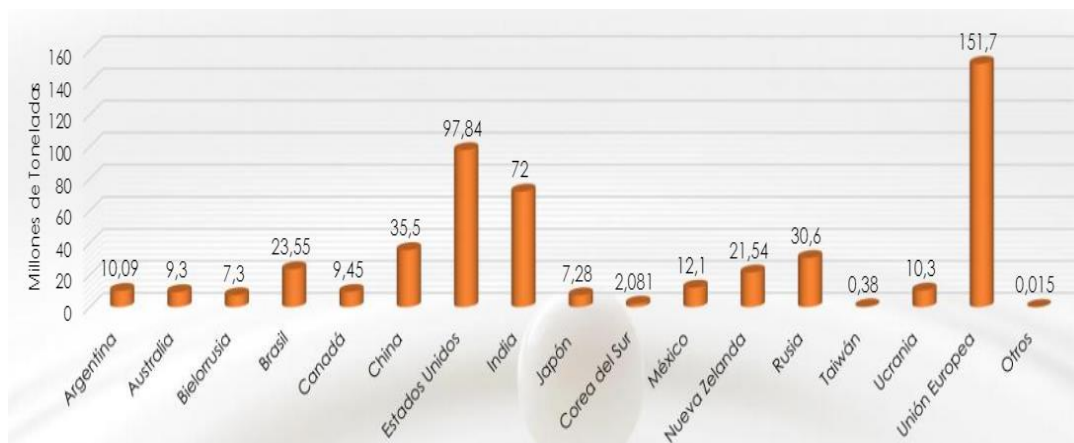
La Asociación Colombiana de Procesadores de Leche³ manifiesta que para el año 2017 se obtuvieron 501 millones de toneladas de leche de vaca en el mundo, el 80% de esta producción se presentó en seis regiones productoras como la Unión Europea, Estados Unidos, India, China, Rusia y Nueva Zelanda; la Unión Europea ocupó el primer lugar con una producción de 151,7 millones de toneladas, seguida por Estados Unidos con 97,84 millones de toneladas producidas (Gráfica 1).

¹FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO-. Animales lecheros. [Sitio web]. Portal lácteo. [Consultado 25, octubre, 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/productiondairy-animals/es/>

² FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS -FAO-. El sector lechero mundial: Datos. [Sitio web]. Bogotá D.C. Publicaciones. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.dairydeclaration.org/portals/153/FAO-Global-Facts-SPANISH-F.PDF?v=1>

³ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PROCESADORES DE LECHE -ASOLECHE. Documento de análisis económico sectorial. [Sitio web]. Bogotá D.C. Análisis económico sectorial. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Disponible en: <https://asoleche.org/>

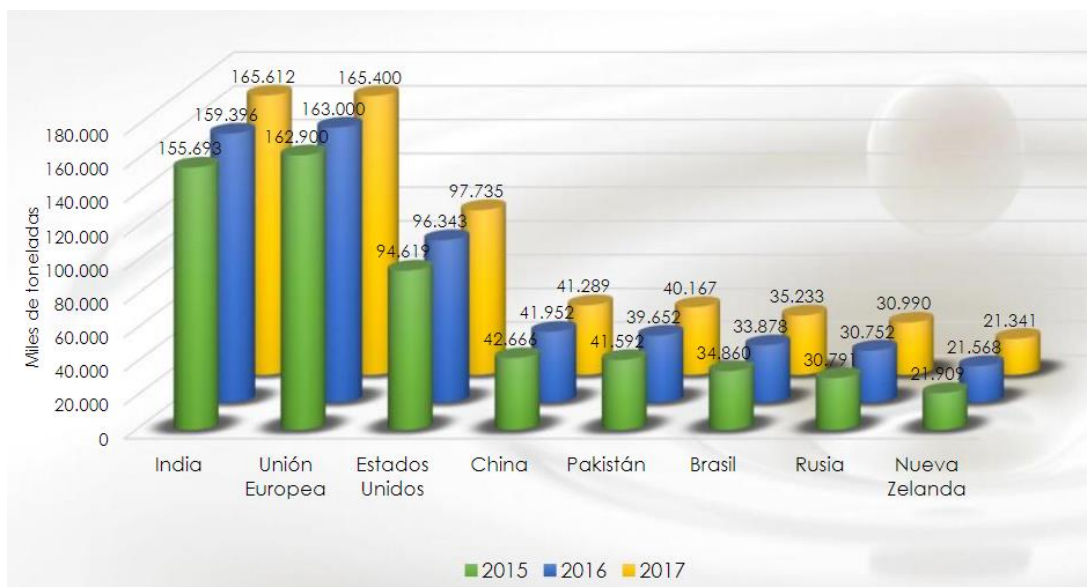
Gráfica 1. Producción mundial de leche de vaca en 2017.



Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PROCESADORES DE LECHE -ASOLECHE. Documento de análisis económico sectorial. [Sitio web]. Bogotá D.C. Análisis económico sectorial. [Consultado 25, octubre, 2018]. Disponible en: <https://asoleche.org/>

Según la FAO, en el 2017 incrementó la producción mundial de leche con 1,4% mayor que el 2016; este crecimiento se genera por la expansión productiva en Asia, América y Europa; lo contrario sucedió en África y Oceanía (Gráfica 2).

Gráfica 2. Expansión productiva de leche en el mundo



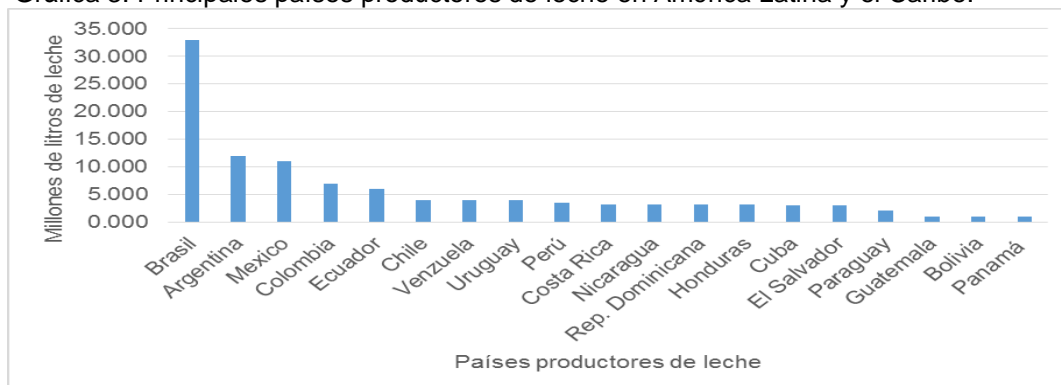
Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PROCESADORES DE LECHE -ASOLECHE. Documento de análisis económico sectorial. [Sitio web]. Bogotá D.C. Análisis económico sectorial. [Consultado 25, octubre, 2018]. Disponible en: <https://asoleche.org/>

La Federación Panamericana de Lechería⁴ menciona que en América Latina, el consumo de productos lácteos es menor comparado con países europeos y Estados Unidos; debido a que el consumo de productos lácteos se realiza de manera artesanal o no industrializado a diferencia de los países desarrollados. El principal productor y consumidor de productos lácteos en América Latina es Brasil, debido a su crecimiento poblacional teniendo que satisfacer las necesidades de su población; además este país utiliza la leche en la elaboración de productos como dulces, snacks, postres y café; en otros países como Argentina, Chile, Colombia y México este producto se emplea especialmente en la fabricación de yogures y quesos.

Según el Observatorio de Cadena Láctea Argentina (OCLA)⁵, para el 2017, el aumento en la producción de leche en países como Brasil creció un 3,6%, Chile 9,6% y Uruguay 8,3%; este incremento en la producción de leche ha sido generado por buenas condiciones climáticas, bajos costos en insumos y baja inflación.

A continuación, la gráfica 3 presenta la posición que tiene Colombia con respecto a otros países Latinoamericanos en producción de leche:

Gráfica 3. Principales países productores de leche en América Latina y el Caribe.



Fuente: FEDERACIÓN PANAMERICANA DE LECHERÍA –FEPALE- y FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS -FAO-. Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en 2011. [Sitio web]. Chile. 2012. P. 16. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Dairy/Documents/Paper_Lecher%C3%ADa_AmLatina_2011.pdf

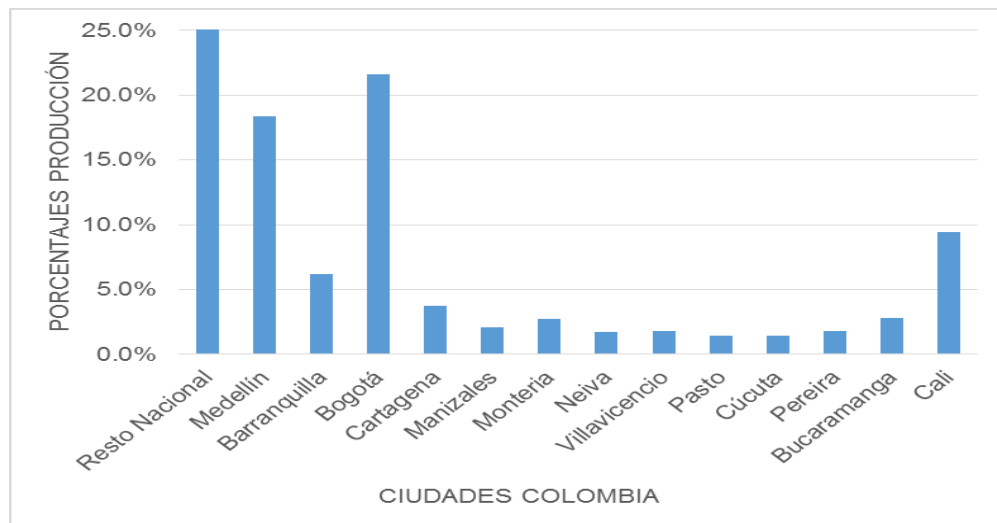
⁴ FEDERACIÓN PANAMERICANA DE LECHERÍA -FEPALE-. Panorama del sector lácteo en América Latina. [Sitio web]. Uruguay. Infoleche. 18 enero 2018. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Disponible en: <http://fepale.org/infoleche/2018/01/18/panorama-del-sector-lacteo-en-america-latina/>

⁵ OBSERVATORIO DE LA CADENA LÁCTEA ARGENTINA –OCLA-. El despertar de la industria láctea en América Latina. [Sitio web]. Argentina. Actualidad. [Consultado 27, octubre, 2018]. Disponible en: <http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/10990980-el-despertar-de-la-industria-lactea-en-america-latina>

De acuerdo a Palacios⁶, en Colombia, se ha producido un volumen de 299.832.920 litros de leche entre junio de 2016 al mismo mes del 2018 manteniéndose entre los principales productores de leche en América Latina. En los últimos años se ha incrementado el consumo de leche y sus derivados, dado que es un producto vital en la canasta familiar (producto de primera necesidad) por sus propiedades alimenticias (fuente como proteína. En el país, el mayor consumo se encuentra en Bogotá, seguida de Medellín, Cali y Barranquilla con porcentajes de 21,6%, 18,4%, 9,4% y 6,2% respectivamente (Gráfica 4). El Ministerio de Agricultura clasifica el consumo de leche dependiendo del nivel socioeconómico:

- Estrato bajo: El consumo es principalmente de leche cruda (hervida en casa).
- Estrato medio: Su consumo es basado en leche industrial entera y quesos.
- Estrato alto: Consume productos lácteos dependiendo de la marca sin importar el valor económico y los tipos de leches preferidas son las leches enriquecidas y fortificadas.

Gráfica 4. Distribución ciudades de Colombia de comercialización de productos lácteos.

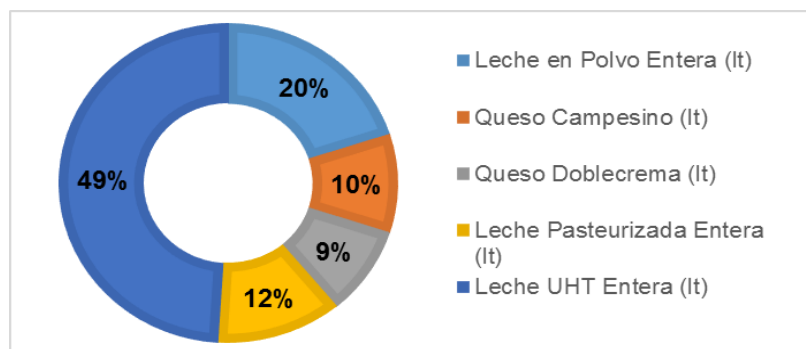


Fuente: PALACIOS VILLARRAGA, Ivonne Alejandra. Análisis de la demanda de lácteos en Colombia (2007-2013). Trabajo de grado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2014. P. 9.

En la gráfica 5, se muestran los principales productos derivados de la leche en plantas procesadoras a mayo de 2018 a nivel nacional:

⁶ PALACIOS VILLARRAGA, Ivonne Alejandra. Análisis de la demanda de lácteos en Colombia (2007-2013). Trabajo de grado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2014. P. 9.

Gráfica 5. Porcentajes de productos derivados de leche (mayo 2018).



Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PROCESADORES DE LECHE - ASOLECHE. Documento de análisis económico sectorial. [Sitio web]. Bogotá D.C. Análisis económico sectorial. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Disponible en: <https://asoleche.org/>

Dentro del país, se encuentran dos clasificaciones por regiones en la producción de leche como se observa en la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de regiones productoras de leche.

REGIÓN 1	REGIÓN 2
Antioquia	Arauca
Boyacá	Atlántico
Caldas	Bolívar
Cauca	Caquetá
Cundinamarca	Casanare
Nariño	Cesar
Quindío	Córdoba
Risaralda	Guaviare
Valle del Cauca	Huila
	La Guajira
	Magdalena
	Meta
	Norte de Santander
	Santander
	Sucre
	Tolima

Fuente: PALACIOS VILLARRAGA, Ivonne Alejandra. Análisis de la demanda de lácteos en Colombia (2007-2013). Trabajo de grado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2014. P. 12.

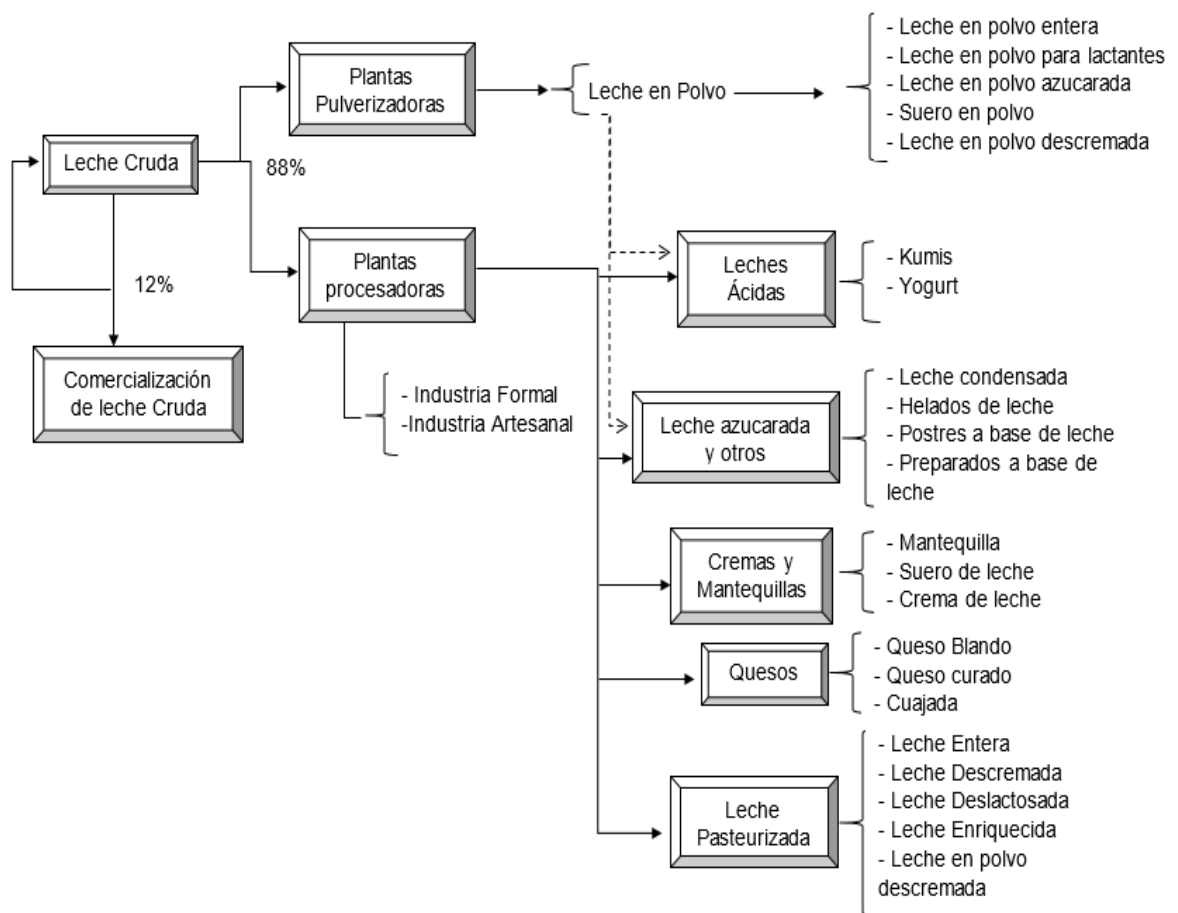
ASOLECHE⁷ menciona que el crecimiento se ha generado principalmente en los departamentos de la región 1, en donde se recolectaron 938,3 millones de litros en

⁷ ASOLECHE. Op. Cit.,

el primer cuatrimestre del 2018, creando un incremento del 2,7% mayor con respecto al año anterior (2017), a diferencia de la región 2 que ha presentado una disminución del 2,9% menos que en el 2017. A nivel departamental, Boyacá sigue liderando con el mayor porcentaje de acopio de leche, seguido de Antioquia, Cundinamarca, Atlántico, Cesar, Huila y Meta. En Cundinamarca, se han producido 74.199.617 litros de leche hasta junio del 2018, lo cual lo posiciona como el segundo mayor productor de leche a nivel departamental.

En seguida se muestra la figura 1, donde se describe el procesamiento de la leche y la producción de sus derivados de las diferentes líneas de procesamiento:

Figura 1. Procesamiento de los productos lácteos.



Fuente: SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO -SIC-. Estudios de mercadeo: Análisis del mercado de la leche y derivados lácteos en Colombia (2008-2012). [Sitio web]. Bogotá D.C. Documentos. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudio_Sectorial_Leche1.pdf

Como se ilustra en la figura 1, las industrias lácteas se componen por plantas pulverizadoras y procesadores; las primeras se encargan de transformar la leche cruda para la generación de leche en polvo y las otras plantas se encargan de realizar la leche pasteurizada, quesos y mantequillas.

A continuación, en la tabla 2 se puede observar la comercialización de diferentes productos con respecto al volumen generado en los departamentos entre los años 2008-2014, algunos departamentos del país no cuentan con datos:

Tabla 2. Participación departamental en volumen de comercialización de quesos, leche en polvo, leche UHT y leche pasteurizada

Dpto.	COMERCIALIZACIÓN PROMEDIO (2008-2014)							
	Quesos	%	Leche polvo	%	Leche UHT	%	Leche pasteurizada	%
Boyacá	307,341	8,17	-	-	101,99	0,21	84,652	0,25
Cundinamarca	441,731	11,74	1.174.484	29,06	30.004.280	60,84	11.047.157	32,21
Antioquia	1.504.732	40,00	1.279.933	31,67	2.278.283	4,62	14.746.916	43,00
Caldas	115,512	3,07	-	-	181,928	0,37	1.172.053	3,42
Risaralda	23,177	0,62	-	-	2.274.894	4,61	52,36	0,15
Atlántico	4,128	0,11	461,038	11,41	2.652.534	5,38	379,826	1,11
Bolívar	25,067	0,67	38,097	0,94	291,621	0,59	188,756	0,55
Caquetá	477,576	12,70	-	-	-	-	6,89	0,02
Cesar	184,804	4,91	59,799	1,48	1.151.737	2,34	201,381	0,59
Córdoba	59,81	1,59	947,238	23,43	11,308	0,02	1.550.935	4,52
Magdalena	12,376	0,33	-	-	34,439	0,07	34,053	0,10
Norte de Santander	7,468	0,20	-	-	988,589	2,00	39,773	0,12
Santander	89,451	2,38	70,042	1,73	4.679.531	9,49	416,938	1,22
Sucre	82,529	2,19	-	-	-	-	18,927	0,06
Arauca	20,482	0,54	-	-	-	-	15,225	0,04
Casanare	7,961	0,21	-	-	-	-	-	-
Meta	69,552	1,85	-	-	-	-	-	-
Huila	66,767	1,78	-	-	484,772	0,98	123,995	0,36
Nariño	149,883	3,98	-	-	-	-	589,717	1,72
Tolima	81,684	2,17	-	-	-	-	-	-
Valle del Cauca	29,372	0,78	11,386	0,28	1.809.142	3,67	227,129	0,66
TOTAL	3.761.403	99,99	4.042.017	100,00	47.036.792	95,19	34.208.903	90,10

Fuente: PALACIOS VILLARRAGA, Ivonne Alejandra. Análisis de la demanda de lácteos en Colombia (2007-2013). Trabajo de grado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2014. P. 18, 19,20.

De acuerdo a González⁸ cada uno de los procesos de elaboración de productos derivados de la leche, resultan grandes cantidades de residuos líquidos con concentraciones elevadas de Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y residuos sólidos (papel, plástico, lodos, entre otros). Las plantas procesadoras, deben contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR-I) donde se logre tratar parámetros de DBO, DQO, aceites, grasas, sólidos suspendidos y neutralización de pH; este sistema tendrá un proceso de pretratamiento que puede ser físico o fisicoquímico según las concentraciones de los elementos a tratar, seguido de un tratamiento biológico para la reducción de la materia orgánica presente en el agua y finalmente, un sistema de tratamiento o recolección de los lodos residuales para ser aprovechados. Para Palacios⁹, estas aguas provienen de la limpieza de máquinas, instrumentos tecnológicos y de las salas de tratamiento de la leche, lo que contiene restantes de productos lácteos y productos químicos como ácidos, detergentes, desinfectantes, entre otros.

Por lo anteriormente mencionado y considerando que la empresa estudiada genera costos adicionales en la disposición final de estos lodos, este trabajo buscó alternativas para el aprovechamiento de estos “residuos” como materia prima para nuevos procesos o generación de un ingreso extra a la organización. Es por esto que, los trabajos de investigación en gestión ambiental, están encaminados a la protección de los recursos naturales, buscando soluciones adecuadas a los impactos negativos generados por las actividades humanas en el ambiente.

Avendaño manifiesta que una mala disposición y el escaso aprovechamiento de los residuos que se generan en los procesos productivos en empresas que contribuyen a la contaminación ambiental de recursos naturales (suelo, agua y aire) han ayudado a generar la necesidad de buscar alternativas ambientales para implementar un sistema de producción más limpia y aprovechar los residuos generados¹⁰ requiriendo acciones tendientes hacia la sostenibilidad.

⁸ GONZÁLEZ CÁCERES, Marcelino de Jesús. Aspectos medio ambientales asociados a los procesos de la industria láctea. [Mundo Pecuario]. Trujillo. Octubre. vol. 1. no. 1. 2012. p. 16-32. [Consultado 4 septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://produccionbovina.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/37-industria.pdf

⁹ PALACIOS VARGAS, Diana Jazmina. Diseño de un plan de administración ambiental para la planta de procesamientos lácteos de la unidad educativa temporal agropecuario "Luis A. Martínez". Tesis Ingeniera Zootecnista. Ecuador: Escuela Superior politécnica de Chimborazo. 2015. 180 p.

¹⁰ AVENDAÑO, Francy Yadira y MARTINEZ, Jhon Alexander. Recuperación de lodos de las lagunas de oxidación provenientes del proceso de extracción de aceite de palma, para usar como abono en cultivos de palma africana. Trabajo de grado Ingeniera Ambiental Bucaramanga: Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD-. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Departamento Ingeniería Ambiental. 2015. 63 p.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Seleccionar la alternativa más viable ambiental y económicamente para el aprovechamiento de los lodos residuales generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales PTAR-I en empresa láctea en el municipio de Cogua, Cundinamarca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los procesos de generación de aguas residuales en la industria láctea.
- Describir el funcionamiento y eficiencia de la PTAR.
- Determinar las características físicas y químicas de los lodos
- Analizar diferentes alternativas ambientales y económicas para tratamiento de lodos residuales provenientes de la PTAR del proceso lácteo.

1. PROBLEMÁTICA

Para Morgan Sagastume¹¹, todo proceso productivo o actividad económica generan diferentes tipos de aguas residuales, las cuales deben ser tratadas por medio de sistemas de tratamiento de aguas. Estos métodos son instrumentos tecnológicos importantes para ayudar con la preservación y conservación del ambiente, también para disminuir la contaminación de los cuerpos de agua receptores y para el saneamiento básico en la población (disminución enfermedades gastrointestinales).

Restrepo¹² dice que el sector productivo con mayor impacto sobre el medio natural, es la industria alimentaria, por los procesos operacionales, además el agua residual generada debe tener una consideración importante, ya que durante cada proceso productivo (medio de limpieza, operación, transporte o materia prima) se utiliza altas cantidades de agua, además la característica de estas aguas contienen altos porcentajes de carga contaminante (10 a 100 veces mayor carga contaminante que las aguas residuales urbanas/municipales). Santamaría¹³ manifiesta que la industria láctea es un ejemplo donde se generan grandes volúmenes de residuos sólidos y líquidos con componentes como grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno amoniacal causando contaminación en los cuerpos de agua cuando no se le da un tratamiento previo a su descarga final.

Sin embargo, Limón¹⁴ dice que uno de los problemas causados por estos sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, es la generación de un residuo sólido denominado lodo residual o biosólido, el cual requiere de un mayor tratamiento; su generación se basa en los siguientes parámetros: eficiencia del tratamiento primario, relación entre Sólidos Suspendidos Totales (SST) y la

¹¹ MORGAN SAGASTUME, Juan Manuel; REVAH MOISEEV, Sergio y NOYOLA ROBLES, Adalberto. Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos. En: Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. México. [Consultado 18, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicon/R-0032.pdf>

¹² RESTREPO GALLEGO, Mauricio. Producción más Limpia en la industria alimentaria. [Producción + Limpia]. Enero-junio. vol. 1. no. 1. 2006. p. 88-101. [Consultado 5, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n1/PL_V1_N1_87_PL_INDUSTRIA_ALIMENTARIA.pdf

¹³ SANTAMARÍA FREIRE, Edwin; ÁLVAREZ CALVACHE, Fernando; SANTAMARÍA DÍAZ, Edwin; ZAMORA CARRILLO, Marco. Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. En: Agroindustrial Science. [Redalyc]. Ambato. Abril. 2015. [Consultado 5, noviembre, 2018].

¹⁴ LIMÓN, Juan Gualberto. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Tesis de especialización Ingeniería Química. Jalisco: Facultad Ingeniería. 2013. 45 p.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento; antes del aprovechamiento o disposición final de lodos, éstos deben estabilizarse para reducir la generación y proliferación de vectores, olores, riesgos a la salud y disminución del volumen.

Las aguas residuales de la industria láctea se generan principalmente por las siguientes actividades:

- Lavado y limpieza de productos sobrantes (transporte, cantinas y tuberías)
- Operaciones deficientes de los equipos.
- Pérdidas durante el proceso de inicio y pausa de los equipos de pasteurización.
- Descarte de subproductos como suero y otros productos rechazados.
- Limpieza de baños y cafeterías de la planta (empresa)

Para la Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía¹⁵, la composición de los efluentes líquidos de productos lácteos es variable, ya que dependen del tipo de procesos y el producto fabricado en la empresa. A continuación, en la tabla 3 se observa una aproximación de la composición de algunos derivados de la leche por cada 100 gramos producidos y de la composición de las aguas residuales de la industria láctea:

Tabla 3. Composición de algunos productos lácteos.

PRODUCTO	GRASA (g)	PROTEINAS (g)	LACTOSA (g)	SALES (g)	DBO5 (ppm)
<i>Leche desnatada</i>	0.2	3.1	4.7	0.8	64260
<i>Leche semidesnatada</i>	1.6	3.0	4.6	0.7	75040
<i>Leche entera</i>	3.5	3.0	4.5	0.7	91300
<i>Queso</i>	25.0	24.0	1.0	3.0	476200
<i>Suero</i>	0.3	0.8	4.9	0.6	43790
<i>Nata</i>	36.0	2.0	2.5	0.4	357250
<i>Mantequilla</i>	85.0	0.5	0.7	0.1	766200
<i>Suero mantequilla</i>	0.3	3.0	4.6	0.8	63470
<i>Yogurt</i>	3.0	3.5	4.0	0.7	88750
<i>Leche en polvo</i>	27.0	26.0	38.0	6.0	755100
<i>Leches infantiles</i>	25	15	55	3	734500

Fuente: ACADEMIA DE CIENCIAS VETERINARIAS DE ANDALUCÍA. Jornadas sobre contaminación ambiental por la ganadería e industrias agroalimentarias. Granada. Diciembre. Vol. 8. no. 1. 1995. P.11. ISSN. 1.130 -2534. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/08-1995.pdf>

¹⁵ ACADEMIA DE CIENCIAS VETERINARIAS DE ANDALUCÍA. Jornadas sobre contaminación ambiental por la ganadería e industrias agroalimentarias. Granada. Diciembre. Vol. 8. no. 1. 1995. P.11. ISSN. 1.130 -2534. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/08-1995.pdf>

La Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la empresa láctea de estudio, tiene una eficiencia del 98%, es decir, que tiene un excelente funcionamiento permitiendo cumplir con la normatividad ambiental vigente, pero realmente la generación de lodos residuales ha sido vista como un problema, lo cual deben pagar a un gestor quién es el encargo de realizar la disposición final de estos, como abono orgánico. Con la problemática anteriormente mencionada, en los últimos años se ha venido buscando que la industria láctea reduzca el consumo de agua, materias primas y otra clase de productos necesarios internamente para los procesos productivos; además, este sector ha optado por medidas de minimización de sus impactos, por medio de implementación de tecnología, reducción en el consumo de recursos naturales, pero buscando tener una mayor competitividad frente a otros sectores.

La empresa láctea estudiada, se encuentra en un proceso de crecimiento y buscando lograr certificarse, además se ha venido preocupando cada vez más por minimizar la cantidad de residuos sólidos y líquidos que se generan en la ejecución de sus procesos productivos. La principal problemática ambiental identificada en la empresa, es que tiene una generación de lodos de 9.5 toneladas cada 20 días aproximadamente, a los cuales no saben darle un adecuado manejo por lo cual, su disposición final está encargada por un gestor quien es el responsable de su manejo (uso acondicionador de suelo); sin embargo, la empresa debe pagar a este gestor entre 900 mil y 1 millón de pesos por viaje realizado, este costo puede aumentar y generar mayores pérdidas económicas, cuando en el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTAR-I) se daña algún equipo o cuando los mismos lodos no se pueden deshidratar correctamente, lo cual incrementan de dos a tres viajes más en su manejo, tratamiento y disposición final.

En la industria láctea es importante contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales eficiente y diseñado para remover altas cantidades de los parámetros como DBO, DQO, aceites y grasas, sólidos suspendidos, y para mejorar las condiciones de pH del efluente; para el tratamiento de estas aguas residuales se recomienda primero una separación de sólidos en suspensión, grasas y aceites, luego un tratamiento biológico. Los sistemas de tratamiento de aguas deben garantizar el cumplimiento de los límites establecidos por la normatividad, es por esto, que con la resolución 631 de 2015 las empresas que se dedican a la elaboración de productos lácteos deben cumplir con los límites permisibles para generar el vertimiento, en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) el límite es de 250 mg/L, en Demanda Química de Oxígeno (DQO) es de 450 mg/L, Sólidos Suspendidos Totales (SST) es de 150 mg/L, Grasas y Aceites es de 20 mg/L; en estos tratamientos de aguas resulta el lodo residual que en muchas empresas o instituciones es considerado como un residuo y no como un subproducto aprovechable generando beneficios a la empresa, organización y/o institución.

Los lodos residuales de la industria láctea están principalmente compuestos por partículas de suciedad, gérmenes, bacterias, nutrientes, sustancias de tipo proteico, residuos de origen vegetal, animal y materia orgánica. Este subproducto del tratamiento de aguas residuales se puede reutilizar para que sea aprovechado de alguna u otra forma por la empresa generando un valor agregado a la organización, además de reducir los costos de tratamiento o disposición final (pago a terceros), pudiéndose aprovechar o utilizar como mejorador de las condiciones nutricionales de los suelos, producción de biogás o alimento para animales, entre otros.

Este proyecto es importante porque seleccionando la alternativa más adecuada (ambiental y económicamente) a una empresa láctea ayudará a reducir pérdidas y mejorar el desempeño ambiental.

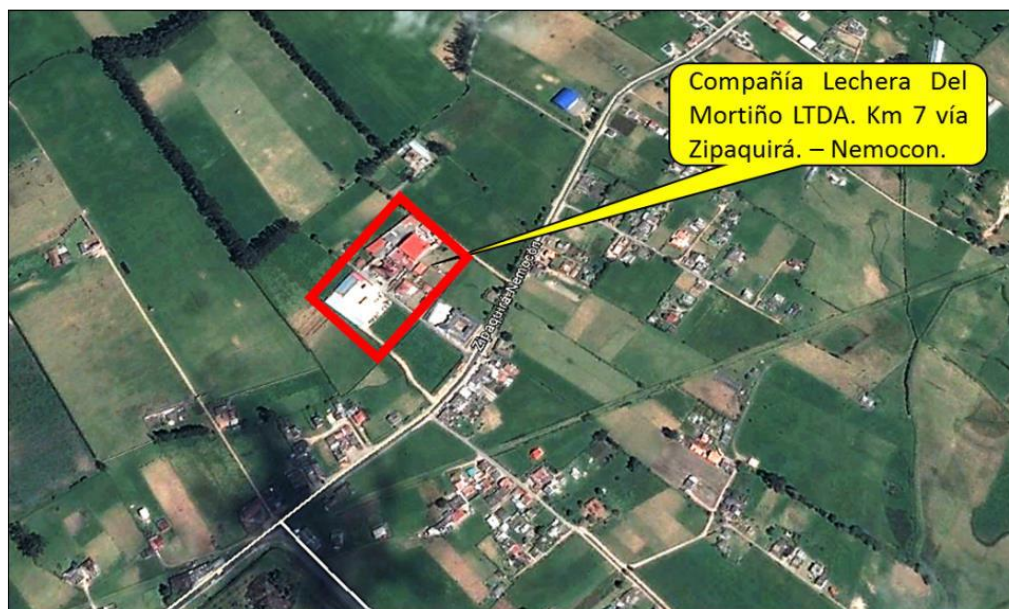
2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico del trabajo de investigación se estructuró en dos partes, la primera en la descripción del estudio de caso y segundo en el marco conceptual también teniendo en cuenta la normatividad legal vigente.

2.1 ESTUDIO DE CASO

El trabajo de investigación se enfoca en una empresa láctea ubicada en el municipio de Cogua, el cual limita por el Norte con Tausa, por el Oriente con Nemocón, por el Occidente con Pacho y por el Sur con Zipaquirá; su economía se basa en la agricultura, la ganadería y a pequeña escala la industria de ladrilleras y empresas lácteas, como lo indica la Alcaldía de Cogua¹⁶.

Figura 2. Ubicación geográfica empresa láctea.



Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cogua. 2016. P. 1. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

Esta empresa láctea¹⁷ se dedica a la elaboración de productos como la fabricación no artesanal de alimentos derivados de lácteos, elaboración de leche condensada, leche en polvo y plantas pasteurizadoras. La planta de producción es de

¹⁶ ALCALDÍA MUNICIPAL DE COGUA. Nuestro municipio. [Sitio web]. Cogua. [Consultado 25, octubre, 2018]. Disponible en: <http://www.cogua-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

¹⁷ Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cogua. 2016. P. 2. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

construcción de tipo convencional, donde se desarrollan procesos productivos distribuidos en dos macro procesos como los derivados y el UHT. El primer macro proceso llamado UHT en donde a la leche cruda se le realiza un tratamiento para la obtención final de leche pasteurizada, el cual se lleva a cabo por el método de pasteurización que consiste en el calentamiento de leche cruda a altas temperaturas y luego de un rápido enfriamiento, esta leche es envasada en diferentes empaques, de acuerdo a los diferentes tipos de productos que se obtiene de este proceso como por ejemplo la leche larga vida.

El segundo macro proceso es llamado derivados, en donde se procesa la leche cruda sometiéndola a altas temperaturas y agregándole aditivos para finalmente poder inocular e incubar el producto, de este proceso se obtiene los diferentes tipos de quesos y el yogurt¹⁸.

2.2 PROCESOS Y PRODUCTOS EMPRESA LÁCTEA

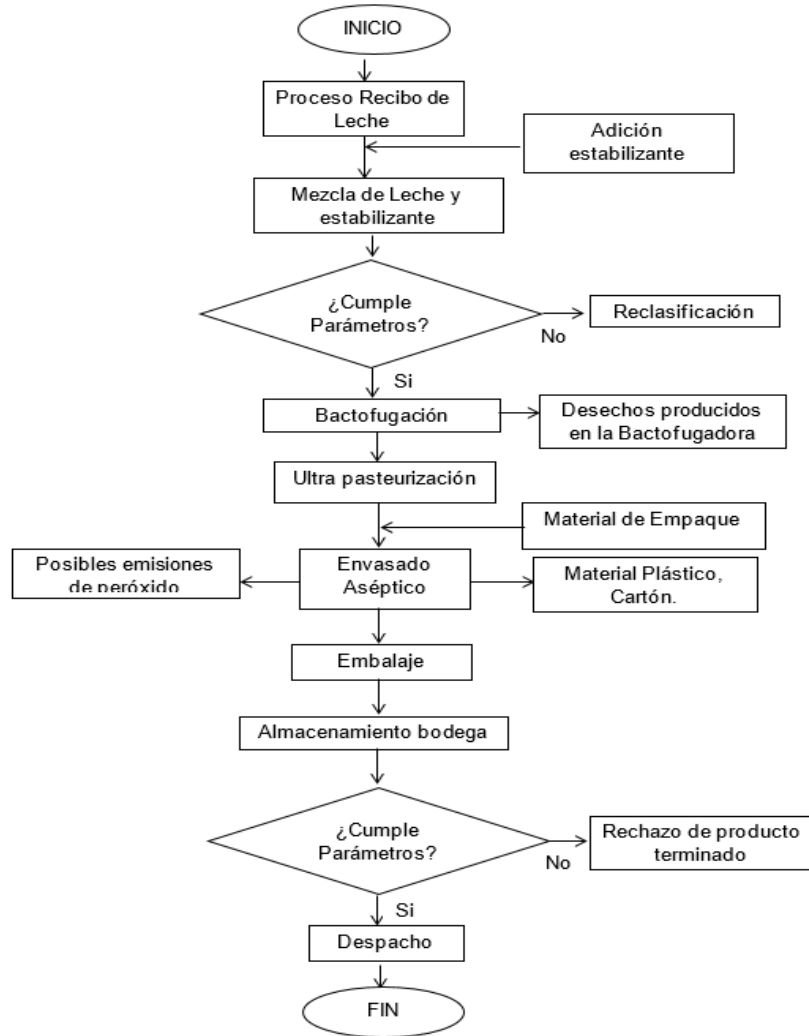
2.2.1 Fabricación de leche UHT. Después de recibir la leche, esta debe ser almacenada en los silos. En este lugar de almacenamiento debe ser estabilizada la leche, luego se verifica los parámetros de calidad establecidos y si cumple es enviada a la bactofugadora para retirar las impurezas a nivel microbiológico. Luego de este proceso se realiza la ultra pasteurización a una temperatura de 136°C a 138°C durante 4 segundos; finalmente el producto se empaqueta en un material flexible que es esterilizado con peróxido.

De este proceso se obtiene los siguientes productos y en las siguientes presentaciones:

- Leche Entera UHT (1100 ml, 1000 ml, 900 ml, 450 ml y 200 ml)
- Leche Entera Deslactosada UHT (1100 ml y 900 ml)
- Leche Entera 15 días UHT (900 ml)

¹⁸ Ibid. p. 3.

Figura 3. Diagrama proceso leche UHT.

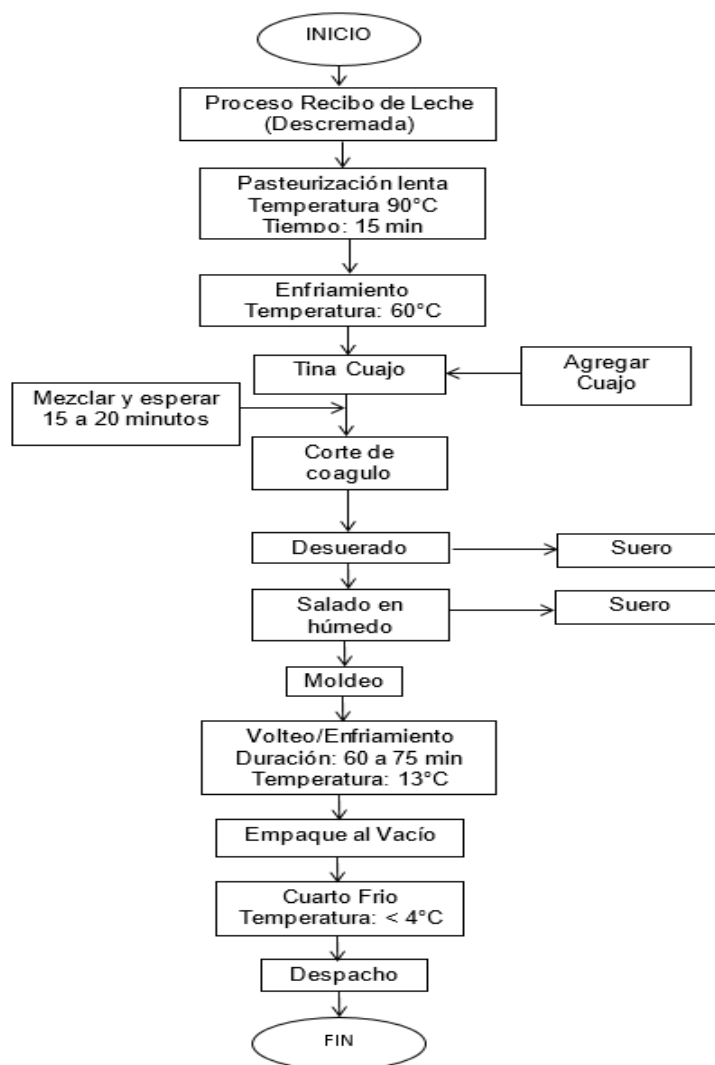


Fuente: Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 7. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.2.2 Fabricación de queso campesino. Comienza realizando un descremado en el proceso de recibo de leche, luego una pasteurización lenta a 90°C durante 15 minutos, posteriormente hay un enfriamiento hasta que la leche llegue a una temperatura de 60°C, donde debe ser depositada en un recipiente con cuajo que ha sido disuelto en 2 litros de agua purificada mezclándose durante 15 minutos; durante esta etapa se retira parte del suero y la otra parte se deja para disolver la sal en el proceso de salado en húmedo. En la última etapa de moldeo se debe lograr disminuir la temperatura del queso a 13°C para poder ser empaquetado y almacenado.

La presentación de producto es de 3.100g.

Figura 4. Diagrama proceso queso campesino.

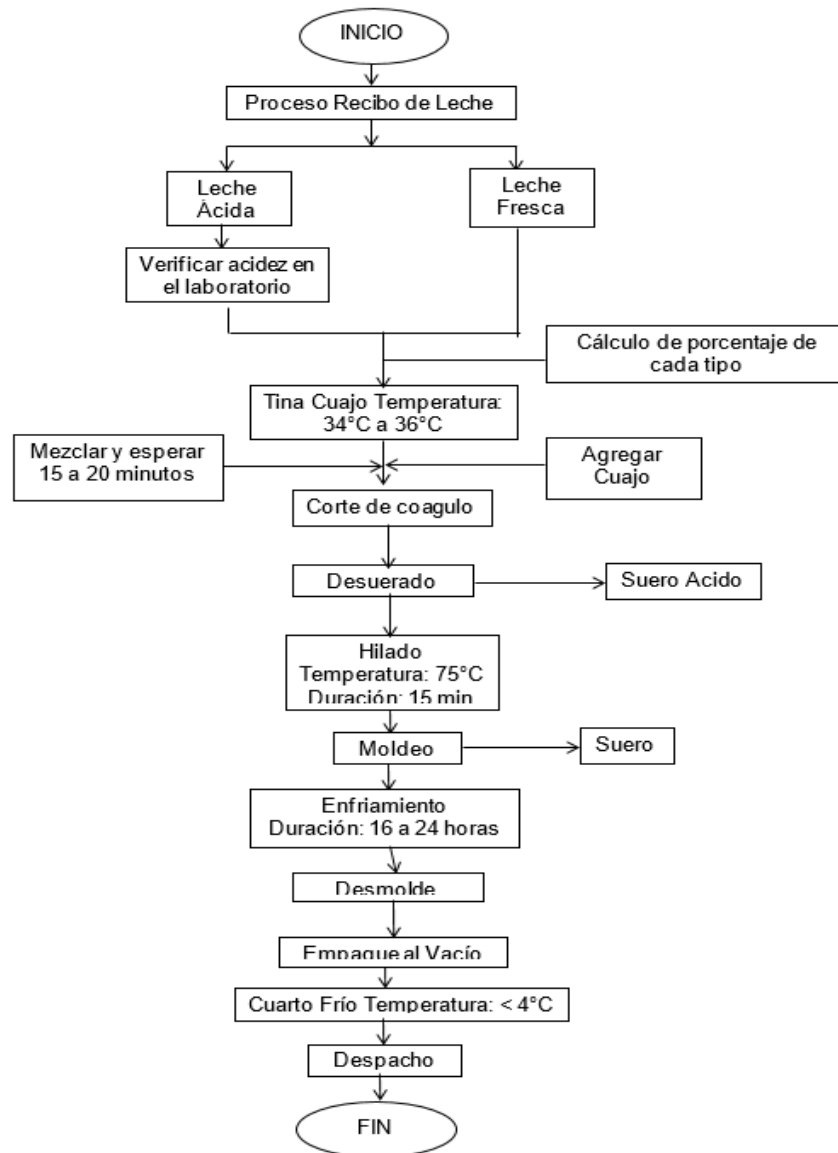


Fuente: Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 9. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.2.3 Fabricación de queso doble crema. Comienza con la recepción de leche ácida, la cual debe ser verificada en el laboratorio en donde se calculan los porcentajes de leche fresca y ácida para obtener el pH óptimo en la elaboración de este tipo de queso para posterior realizar la mezcla de estas dos leches en una tina de cuajo a una temperatura de 34°C y 36°C durante 20 minutos. Para el moldeo se debe extraer el suero restante y dejando enfriar el queso entre 16 y 24 horas para poder ser empacado y distribuido.

Su presentación del producto es de 3.000g, 400g y 120g.

Figura 5. Diagrama proceso queso doble crema.

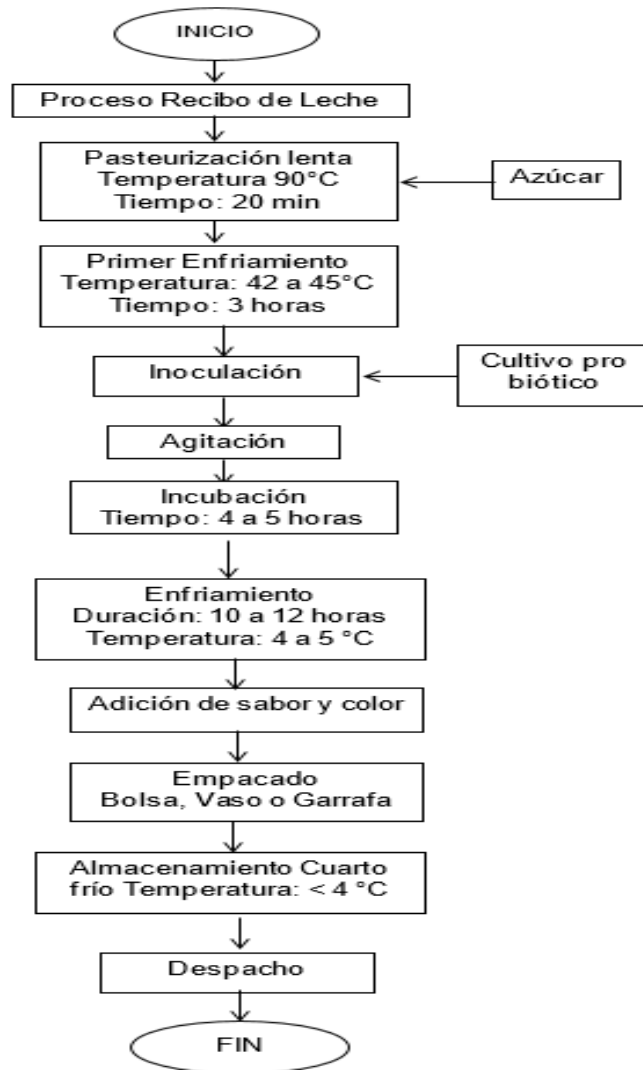


Fuente: Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno].
Cogua. 2016. P. 10. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.2.4 Fabricación de Yogurt. En este proceso después del recibido de la leche se le adiciona azúcar y luego se le realiza un proceso de pasteurización lenta por 20 minutos a una temperatura de 90°C. Luego se lleva un enfriamiento por 3 horas en donde la leche debe llegar a temperaturas de 42°C para realizar la inoculación con un cultivo pro biótico (bacterias del yogurt), se hace agitación dejando este producto en incubación durante 5 horas y finalmente se adiciona el color y sabor para su empaçado.

Los productos son yogurt de fresa, mora, melocotón y guanábana en presentaciones de botella de 1750 g, bolsa de 200 ml y en vaso de 150 g solo sabores de mora, fresa y melocotón.

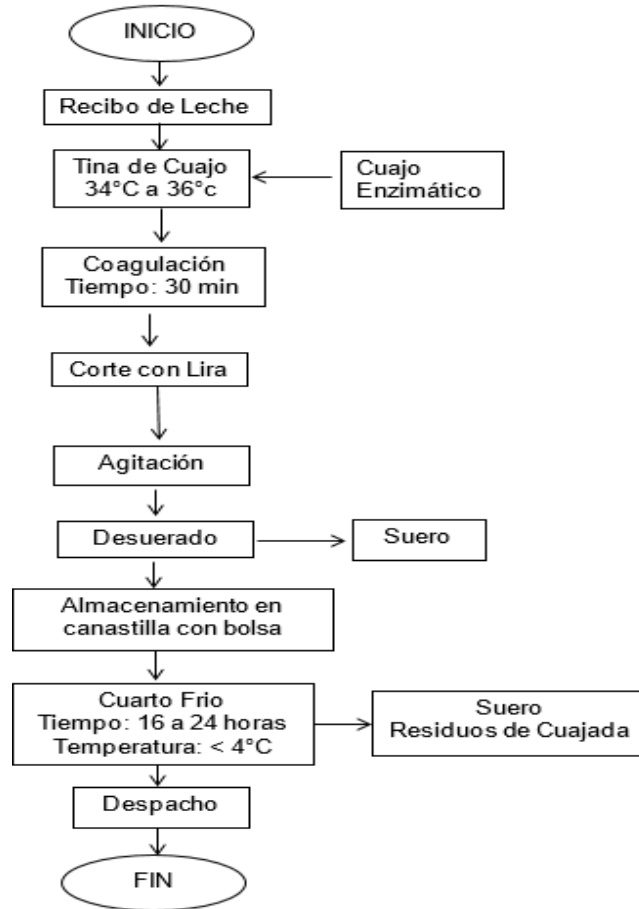
Figura 6. Diagrama proceso yogurt.



Fuente: Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 12. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.2.5 Fabricación de cuajada. Se deposita la leche en una tina de cuajo a 34°C y se agrega el cuajo enzimático para ser agitado, dejando coagular durante 30 minutos.

Figura 7. Diagrama proceso cuajada.

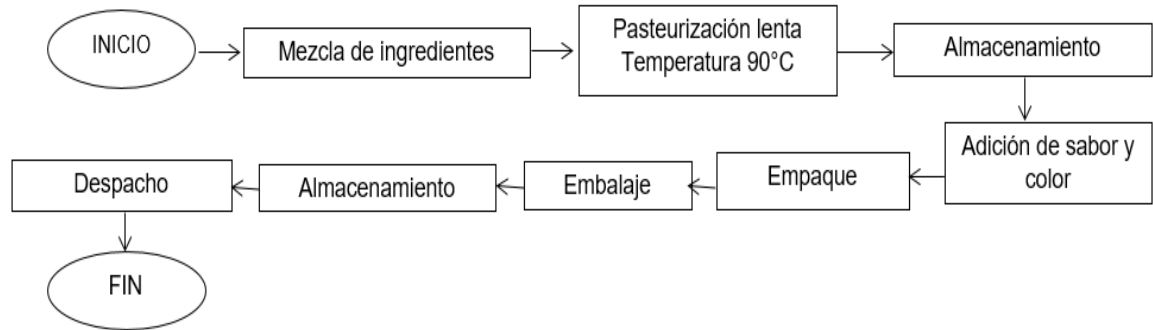


Fuente: Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 14. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.2.6 Fabricación de gelatina. Inicia con la mezcla de agua potable, azúcar, gelatina, citrato, sorbato, benzoato para hacer la base de este producto y poderla pasteurizar a 90°C; después se hace un almacenamiento temporal mientras se realiza la sonorización en donde se agrega la esencia y el color a la base realizada.

Se producen gelatinas de frutos del bosque, limón y Naranja en presentación de 150 g.

Figura 8. Diagrama proceso gelatina.

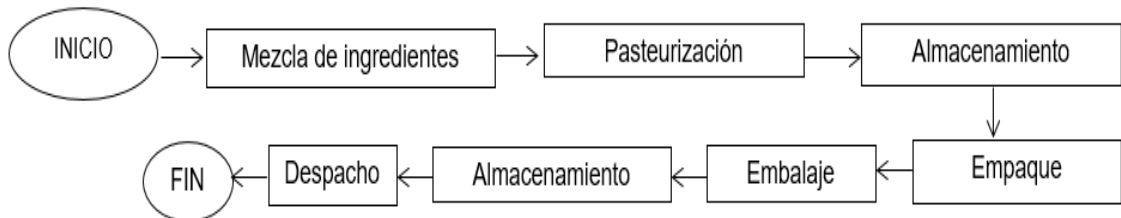


Fuente: Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 15. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.2.7 Fabricación de refresco. En la elaboración de jugos o refrescos se realiza una mezcla de agua potable, azúcar, emulsión, citrato, sorbato, benzoato y goma xanta; con esta mezcla se pasteuriza y luego se realiza un almacenamiento temporal.

Los productos de refrescos son de sabor mora, lulo, maracuyá, limón y mandarina en presentación de 200 ml.

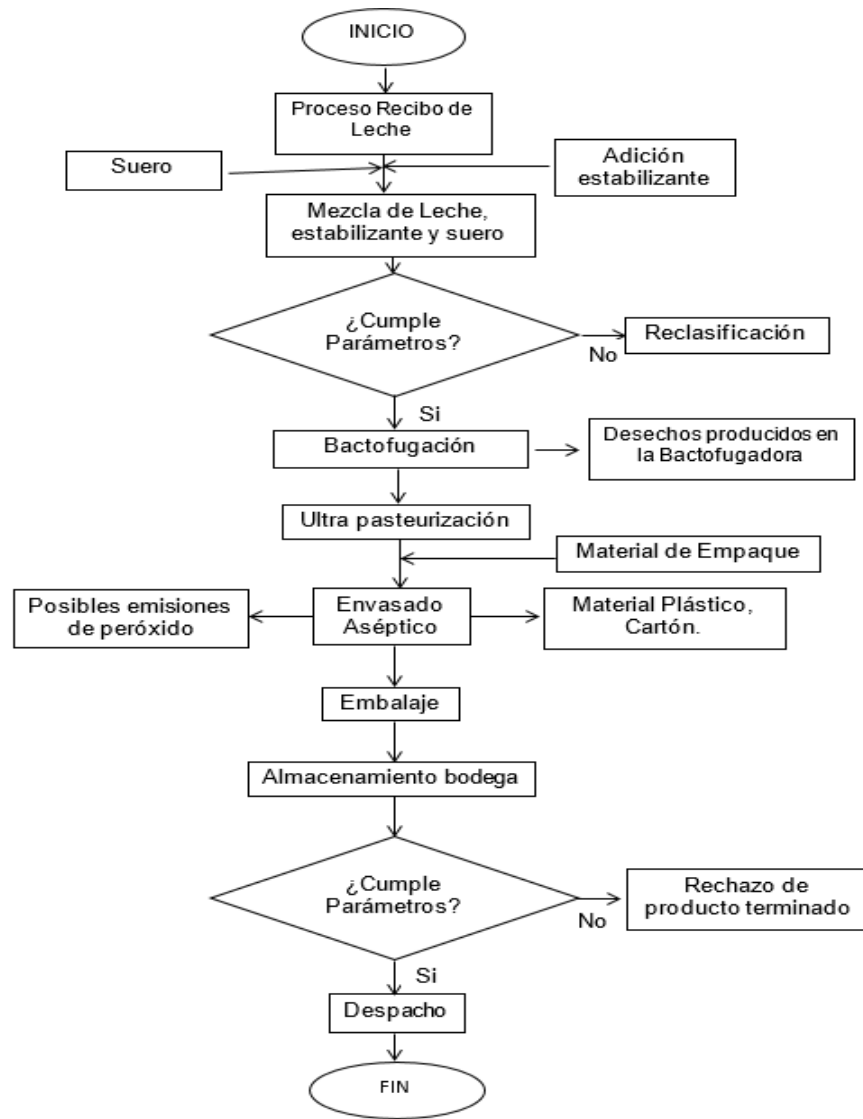
Figura 9. Diagrama proceso refresco/jugo.



Fuente: Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 16. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.2.8 Fabricación de bebida láctea. Este proceso comienza después del almacenamiento del suero producido en el proceso de elaboración de queso campesino y cuajada haciendo una estabilización a este suero, luego se realiza una mezcla de tripolifosfato y maltodextrina para luego ser llevada a bacteriostasis. Después, esta bebida se somete a ultra pasteurización a una temperatura entre 136°C y 138°C durante 4 segundos.

Figura 10. Diagrama proceso bebida láctea.



Fuente: Empresa Láctea. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 18. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.3 MATERIAS PRIMAS EN LOS PROCESOS

En este apartado se mencionan las diferentes fuentes de captación de agua para los diferentes procesos que se llevan a cabo en la empresa, también se muestra en la tabla 4 los recursos utilizados del ambiente para el desarrollo de las actividades operacionales:

La empresa se abastece por medio de tres fuentes de agua potable:

- Hay captación de una derivación del Río Neusa de donde se adquieren aproximadamente 10 metros cúbicos diarios, luego se procede a realizar la potabilización de esta agua por medio de la planta de tratamiento de agua potable de la empresa para finalmente depositarla en el tanque subterráneo.
- La segunda fuente de agua potable, proviene de la finca agua clara que es llevado en camiones a las instalaciones de la empresa; de este lugar se obtienen 140 metros cúbicos diarios que son depositados en el tanque subterráneo junto con la saliente de la PTAP.
- La tercera fuente se adquiere a través del acueducto del municipio de Cogua, obteniendo 9 metros cúbicos diarios (260 metros cúbicos mensuales), esta agua es almacenada en dos puntos en el tanque subterráneo donde está la demás agua almacenada.

Tabla 4. Recursos utilizados del medio ambiente para los procesos productivos.

Proceso	Recursos naturales renovables y no renovables utilizados en el proceso productivo
<i>Recibo de la Leche</i>	Agua
	Energía Eléctrica
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
	Insumos Derivados de Recursos Naturales No Renovables
<i>UHT</i>	Agua
	Energía Eléctrica
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
	Insumos Derivados de Recursos Naturales No Renovables
<i>Queso Campesino</i>	Energía Eléctrica
	Agua
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
<i>Queso doble crema</i>	Energía Eléctrica
	Agua
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
<i>Yogurt</i>	Energía Eléctrica
	Agua
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
<i>Cuajada</i>	Energía Eléctrica
	Agua
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
<i>Gelatina</i>	Energía Eléctrica
	Agua
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
<i>Refresco/ Jugo</i>	Energía Eléctrica
	Agua
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables

Tabla 4 (continuación)

Proceso	Recursos naturales renovables y no renovables utilizados en el proceso productivo
<i>Bebida Láctea</i>	Agua
	Energía Eléctrica
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
	Insumos Derivados de Recursos Naturales No Renovables
<i>Empaque</i>	Energía Eléctrica
<i>Empaque Laboratorio</i>	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables (Plástico y Cartón)
<i>Empaque Laboratorio</i>	Insumos Derivados de Recursos Naturales No Renovables
<i>Laboratorio</i>	Agua
	Energía Eléctrica
<i>Logística y distribución</i>	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables
	Sustancias químicas
	Agua
<i>Mantenimiento e Industria</i>	Insumos Derivados de Recursos Naturales No Renovables
	Energía Eléctrica.
<i>Mantenimiento e Industria</i>	Agua
	Insumos Derivados de Recursos Naturales Renovables (Plástico y Cartón)
<i>Mantenimiento e Industria</i>	Insumos Derivados de Recursos Naturales No Renovables (Combustible, Gas, Carbón)
	Sustancias químicas
	Agua
	Energía Eléctrica
<i>Aseo y Desinfección</i>	Insumos Derivados de Recursos Naturales No Renovables

Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cogua. 2016. P. 24. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2.4 MARCO CONCEPTUAL

2.4.1 Lodo residual generado en PTAR.

La EPA¹⁹ define que el lodo residual es el residuo generado en los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, los cuales pueden ser

¹⁹ UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY -EPA-. Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction on Sewage Sludge. Documentos. [Consultado 18, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-625-r-92-013.pdf>

utilizados en tierras agrícolas como zonas verdes, cultivos, áreas de construcción, tierras minadas, bosques, parques, cementerios, jardines de hogar, pero siempre se deben realizar un tratamiento previo para su uso, ya que dependiendo de su procedencia puede contener organismos patógenos o perjudiciales para la salud de la población.

Los lodos generados a la salida de las unidades de tratamiento de aguas residuales, tienen un porcentaje de humedad del 99% lo que genera un incremento en los costos de manejo y transporte, es por esto, que deben ser sometidos a un tratamiento de deshidratación para reducir la mayor cantidad de humedad posible y así darle su disposición final.

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales se generan dos clases de lodos y sus características dependen del origen del lodo y del tipo de tratamiento realizado.

- Procedencia u origen del lodo: Limón²⁰ menciona que dentro de los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales (primario, secundario y terciario) hay producción de lodos, lo cual deben ser tratados adecuadamente. Los lodos primarios son generados en la sedimentación primaria donde se remueven los sólidos sedimentales; los lodos secundarios son producidos en los tratamientos biológicos por la descomposición de residuos en biomasa, la cantidad producida de este tipo de lodo se da por las siguientes características: eficiencia del tratamiento, criterios de diseño del sistema, entre otros.

- Características: Colomer y Gallardo²¹ explican que debido a los procesos físicos y químicos en el tratamiento del agua, los lodos acumulan metales y elementos orgánicos; los contaminantes principales que se pueden encontrar, son descritos a continuación:

1. Metales: Los lodos residuales contienen metales que se depositan en el suelo creando riesgos tóxicos para las plantas, animales y el ser humano; entre los metales presentes en este residuo son arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, selenio, zinc.

²⁰ LIMÓN. Op. Cit., p 10.

²¹ COLOMER MENDOZA, F. J; GALLARDO IZQUIERO, A; ROBLES MARTÍNEZ, F; BOVEA, Ma. D; HERREA PRATS, L. Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales. [Redalyc]. Enero. vol.14. no. 3. p. 177-190. ISSN. 1665-529-X. [Consultado 5, septiembre, 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/467/46715742006/>

2. Nutrientes: Dolgen²² manifiesta que en los lodos se encuentra un alto contenido de nutrientes ya que, por tener materia biodegradable, nitrógeno (N), fósforo (P) y micronutrientes como Boro (B), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) generando un importante mejorador agrícola y de los suelos.

3. Patógenos: Son microorganismos que pueden causar enfermedades, los cuatro principales organismos patógenos que afectan la salud de la población son las bacterias, virus y parásitos, que por lo general se encuentran en las aguas residuales domésticas e industriales. La cantidad de patógenos presentes en los lodos residuales depende de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio o empresa. La EPA²³ menciona que los principales patógenos presentes en aguas residuales domésticas e industriales son *Salmonella Sp.*, *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli*, *Hepatitis A virus*, *Rotavirus*, *Enterovirus*, *Reovirus*, *Caliciviruses*, *Giardia lamblia*, *Balantidium coli*, *Cryptosporidium*, *Ascaris lumbricoides*, *Taenia saginata*, *Hymenolepis nana*, entre otros.

2.4.2 Clasificación de los lodos

Para Donado²⁴, la clasificación se da en tres categorías:

- Aprovechables: Son provenientes del tratamiento aerobio y anaerobio de las PTAR los cuales se pueden reutilizar directa o indirectamente en reciclaje, compostaje y generación de energía; después de haber sido estabilizados se utilizan como abonos y/o restauradores de suelos.
- No aprovechables: Tienen propiedades aptas para algún tipo de aprovechamiento, debido a su baja carga orgánica y/o poder calorífico se pueden disponer en rellenos sanitarios; este tipo de lodo se encuentra en las rejillas gruesas y finas de los sistemas de tratamiento.
- Peligrosos: Son los que tienen presencia de sustancias que causan daño a la salud humana y algún tipo de afectación en el ambiente natural, por lo cual, deben ser dispuestos en lugares específicos con medidas de seguridad.

²² DOLGEN, Deniz; ALPASLAN, Necdet y DELEN, Nafiz. Use of an agro-industry treatment plant sludge on iceberg lettuce growth. [ELSEVIER]. Julio. vol. 23. 2004. p. 117-125. [Consultado 12, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://eurekamag.com/pdf/004/004377390.pdf>

²³ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Op. cit., p. 8.

²⁴ DONADO H, Roger. Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los llanos en el departamento del Meta. Tesis de Magíster en Gestión Ambiental. Bogotá. D.C: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. 2013. p. 86.

2.4.3 Biosólido

La EPA explica que el biosólido es el producto final de la estabilización de los materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales municipales o industriales con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten ser aprovechados o darles un tratamiento adecuado para su disposición final.

2.5 MÉTODOS Y/O SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

Oropeza²⁵ sostiene que en países como Estados Unidos y Europa se realiza el tratamiento a los lodos por medio de los siguientes métodos:

- Tratamiento químico: Para este proceso, primero se debe tener una interacción de bacterias generando una suspensión temporal de la fermentación ácida. Es un proceso de bajo costo.
- Incineración: Colomer²⁶ explica que no es un método de eliminación, pero su mayor ventaja es la disminución del volumen y peso en 90% y 70% respectivamente. Además, el poder calorífico cuando es el idóneo se puede tratar como un combustible teniendo en cuenta aspectos como la temperatura y la instalación de un sistema de captación de gases para evitar la liberación de dioxinas, furanos, NOx, N2O, HF, entre otros.

2.5.1 Espesamiento del lodo.

Gómez²⁷ menciona que dentro del tratamiento de aguas se utiliza el método de espesamiento donde se permite lograr una homogenización de los lodos procedentes de los decantadores y procesos primarios y secundarios de la PTAR, este proceso es utilizado para reducir el volumen de lodos y así poderles dar un tratamiento posterior; existen dos tipos de espesamiento de lodos como se mencionan a continuación:

2.5.1.1 Espesamiento por gravedad. Los espesadores por gravedad son sedimentadores con una barredora de lodos generando un lodo más concentrado.

²⁵ OROPEZA GARCÍA, Norma. Lodos residuales: estabilización y manejo. [Caos Conciencia]. Chetumal, Quintana Roo. vol. 1. 2006. p. 51-58. [Consultado 8, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf

²⁶ COLOMER, Op. cit., p. 178.

²⁷ GÓMEZ, María Francisca y DE ARENAS, Rico. Estudio de contaminantes orgánicos en el aprovechamiento de lodos de depuradora de aguas residuales urbanas. Tesis doctoral Ingeniería Química. Alicante: Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química. 2008. 373 p.

2.5.1.2 Espesamiento por flotación. Este método es para los lodos gelatinosos como los del proceso de lodos activados y al de filtros percoladores. En el espesamiento por flotación se realiza por medio de aire disuelto, generando la separación entre los sólidos y el líquido, mediante la inyección de aire (burbujas finas).

2.5.2 Deshidratación del lodo.

Oropeza²⁸ dice que es un método físico el cual consiste en reducir la mayor cantidad de agua contenida en los lodos, ya que estos contienen aproximadamente un 80% de humedad y así lograr el aumento del contenido de sólidos, con su tratamiento se busca una estabilización de la materia orgánica disuelta; con la disminución de agua de los lodos se reducen los costos de tratamiento.

La deshidratación es útil porque hace más eficiente el transporte de lodos, facilidad en la manipulación de estos y se logra un mínimo de sólidos para relleno de terreno.

Existen diferentes formas de realizar la deshidratación de los lodos como se mencionarán a continuación:

2.5.2.1 Lechos de secado. Morales²⁹ manifiesta que se utilizan para la deshidratación de lodos y se realiza en zonas de poca profundidad en donde se colocan los lodos para que por el método de infiltración o evaporación se retire la humedad de los lodos y posteriormente puedan ser utilizados como abono u otras alternativas. Su ventaja es el bajo costo, poca necesidad de mantenimiento y tiene un porcentaje alto de contenido en sólidos.

2.5.2.2 Deshidratación mecánica centrifuga. Su funcionamiento es similar a la decantación, pero generando un aumento a la velocidad de las partículas sólidas. El procedimiento se realiza en un equipo centrifuga con una velocidad entre 1500 y 5000 RPM generando la deshidratación de los lodos que se recoge por rastrillaje de las paredes y el agua se elimina por la parte central del equipo.

2.5.2.3 Deshidratación Mecánica por Filtros Banda. Es un equipo que se encarga por medio de una correa doble retirar la humedad de los lodos, este

²⁸ OROPEZA. Op. cit., p. 64.

²⁹ MORALES, Ingrid Juliana. Aprovechamiento de lodos primarios provenientes del tratamiento de aguas residuales en una industria láctea por medio de la producción de concentrados para animales del sector porcícola y ganadero vacuno. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental. 2009. 175 p.

método tiene tres etapas: el primero es acondicionamiento químico, secado por gravedad hasta una consistencia no fluida y la compactación del lodo.

2.5.3 Estabilización de lodos.

A continuación, se hace una descripción de los métodos de estabilización de los lodos.

2.5.3.1 Estabilización biológica.

- **Digestión aerobia:** Al sistema se le debe proporcionar oxígeno para generar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta que se llegue al punto de auto oxidación para lograr la reducción celular.
- **Digestión anaerobia:** Campos³⁰ explica que es un proceso biológico fermentativo en donde la materia orgánica se descompone por medio de la acción de microorganismos que la transforman en mezcla de gases (dióxido de carbono y metano). El contenido energético se presenta debido a que la energía que es consumida por los microorganismos para su crecimiento es menor que en los sistemas de digestión aerobia, por ende, hay mayor disponibilidad de energía.

2.5.3.2 Estabilización no biológica.

Morales³¹ menciona que para la estabilización de los lodos también se utiliza la floculación que es un tratamiento fisicoquímico, pero igualmente se pueden tener en cuenta métodos como los térmicos o filtración a presión; entre los métodos de estabilización no biológica se encuentra la pasteurización de lodos, tratamiento con cal y acondicionamiento térmico:

2.5.4 Métodos de aprovechamiento de lodos residuales industriales.

- **Compostaje:** Por medio de bacterias aerobias se realiza la degradación de la materia orgánica, en el sistema donde se realiza esta descomposición se deben tener en cuenta parámetros como temperatura y humedad para mantener la existencia de las bacterias.

³⁰ CAMPOS, Elena. *et al.* Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás. En: ResearchGate. Noviembre. 2001. [Consultado 14, septiembre, 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/251855102_APROVECHAMIENTO_ENERGETICO_DE_LODOS_RESIDUALES_Y_PURINES_PRODUCION_DE_BIOGAS

³¹ MORALES. Op. cit., p. 39.

Escola³² asegura que este proceso de compostaje se realiza en dos fases, la primera es la descomposición que se lleva a cabo en tres etapas: la primera etapa se denomina mesofílica en donde diferentes familias de microorganismos empiezan la descomposición de los compuestos degradables causando un incremento de la temperatura y una disminución del pH debido a la generación de ácidos orgánicos. La segunda etapa es la termofílica en la que la temperatura aumenta a unos 40°C por medio de microorganismos termofílicos y en la tercera etapa comienza una disminución de la temperatura en donde hay una invasión de hongos termofílicos en el material a compostar.

La segunda fase del compostaje se denomina maduración, en donde depende del material anteriormente tratado, pero la duración y las condiciones dependen del destino final. Esta fase requiere pocas semanas y unos meses para mantener una disminución del calor y mantener alcalino el pH.

El compostaje tiene ventajas como la transformación de material orgánico en descomposición a un compuesto estable, también logra la destrucción de patógenos por las altas temperaturas, reducción del material húmedo, y remoción de sólidos totales volátiles.

- Aplicación de lodos sobre terreno o acondicionador de suelo: A la salida de las PTAR se obtienen también lodos líquidos, los cuales poseen altas cantidades de nutrientes y agua por lo que al ser depositados sobre un terreno no hay necesidad de realizar el riego posterior a la aplicación del lodo. El porcentaje de agua de estos lodos líquidos es del 95% lo que genera beneficios al suelo, además se presentan los procesos de infiltración, evaporación, y evapotranspiración de las plantas.

Sin embargo, Morales³³ declara que la infiltración se presenta dependiendo de la textura del suelo, cuando es permeable hay una excelente infiltración de agua con arrastre de sales disueltas, pero cuando el suelo es impermeable se presentan problemas de fermentación anaerobia generando gases y olores.

La evaporación se basa en las condiciones climáticas del lugar, por lo contrario, la evapotranspiración se da en el consumo de agua por las plantas; la aplicación de los lodos líquidos sobre el terreno o cultivo permite devolver cierta cantidad del agua absorbida por las plantas del suelo.

³² ESCOLA SUPERIOR D' AGRICULTURA DE BARCELONA UPC. Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas. [Sitio web]. Barcelona. Artículos. [Consultado 13, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articulos_ESAB/Compostaje%20lodos.pdf

³³ MORALES. Op. cit., p. 43.

- **Biogás:** Es una mezcla de metano y dióxido de carbono y otros gases como el ácido sulfhídrico (H₂S), hidrógeno gaseoso (H₂), amoníaco (NH₃), entre otros. La composición del biogás está determinada por el material digerido; a continuación, se puede observar la tabla 5 con los valores de biogás dependiendo del sustrato utilizado:

Tabla 5. Componentes del biogás en función del material utilizado.

Componente	Residuos agrícolas	Lodos de depuradora	Residuos industriales	Gas de vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0.5-100 ppm
Amoníaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
Nitrógeno	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm

Fuente: CAMPOS, Elena; BONMATÍ, August; TEIRA, M. R y FLOTATS, Xavier. Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás. En: ResearchGate. Noviembre. 2001. [Consultado 14, septiembre, 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/251855102_APROVECHAMIENTO_ENERGETICO_DE_LODOS_RESIDUALES_Y_PURINES_PRODUCION_DE_BIOGAS

- **Carbón activado:** Tejada³⁴ explica que se obtiene únicamente de los lodos que tengan un alto contenido de carbono para la purificación de aguas y aire.
- **Restauración de espacios:** Funciona para la restauración y acondicionamiento de espacios afectados por la actividad extractiva.
- **Materiales de construcción:** Por medio de la inertización de este sólido en las matrices cerámicas permite la obtención de materiales aptos para la construcción como por ejemplo en la elaboración de ladrillos cumpliendo con las propiedades mecánicas y estéticas que se requiere por la normatividad.

2.5.5 Métodos de tratamiento de lodos residuales.

- **Incineración de lodos:** Es un proceso muy utilizado cuando no se dispone de terreno suficiente para disponer los lodos, también cuando la normatividad ambiental vigente es muy restrictiva o cuando se busca la destrucción de

³⁴ TEJADA BENÍTEZ, Lesly Patricia, VILLABONA ORTIZ, Ángel y TEJADA TOVAR, Candelaria. Aprovechamiento de lodos de aguas residuales. En: Teknos Revista científica. [Dialnet]. Vol. 4. No. 1. 2008. P. 5-10. ISSN. 1900-7388. [Consultado 11, diciembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382655>

materiales tóxicos; los lodos que son sometidos a este método son lodos crudos deshidratados sin estabilizar.

- Estabilización alcalina (Tratamiento químico): Por su bajo costo y su alcalinidad, en este proceso se mezcla cal con el lodo para aumentar el pH y lograr una destrucción de los microorganismos patógenos y disminución de olores.

2.5.6 Métodos de disposición final de lodos residuales.

- Relleno sanitario – Mono rellenos: Donado³⁵ dice que el lodo deshidratado (seco) se coloca como material de cobertura en los rellenos sanitarios como sitio de disposición final en donde se debe adicionar cal para la reducción de olores y generación de vectores. En los mono rellenos (celdas para el manejo exclusivo de lodos residuales) se coloca el lodo sobre unas celdas agregándole un material de cobertura.

2.6 MARCO NORMATIVO

Para este trabajo, se tuvieron en cuenta diferentes instrumentos normativos colombianos vigentes, relacionados con el manejo, tratamiento y disposición final de lodos residuales o biosólidos. A continuación, se muestra la tabla 6 donde se muestra en orden cronológico las normas relacionadas con vertimientos, aguas residuales, parámetros físicos, microbiológicos, toxicidad y el contexto general sobre el manejo de este recurso.

Tabla 6. Normatividad legal vigente manejo de lodos o biosólidos.

NORMA	RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN
Decreto 4741 de 2005 (Anexo III tabla No. 3)	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
Decreto 1287 de 2014 (artículo 3) (compilada en el decreto 1077 de 2015 – capítulo 4)	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.
Resolución 631 de 2015 (Artículo 12)	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
RAS 0330 de 2017 (Artículo 207)	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

Nota: Elaboración propia con información de los respectivos decretos y resoluciones.

³⁵ DONADO. Op. cit., p. 39.

Con el decreto 4741 de 2005, se toma como referencia el anexo III donde se presentan las características de peligrosidad de los residuos o desechos peligrosos:

Tabla 7. Concentraciones máximas de contaminantes.

VARIABLES	UNIDADES	Decreto 4741 de 2005 (Tabla No. 3)
Arsénico	mg As/L	5,0
Bario	mg Ba/L	100,0
Cadmio	mg Cd/L	1,0
Cromo	mg Cu/L	5,0
Mercurio	mg Hg/L	0,2
Plata	mg Ag/L	5,0
Plomo	mg Pb/L	5,0
Selenio	mg Se/L	1,0

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 4741 (30, diciembre, 2005). Por la cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá D.C.: Ministerio, 2005. 30 p.

En el Decreto 1287 de 2014 se encuentra tres técnicas utilizadas para el manejo del lodo residual después de haber pasado por un proceso de estabilización y su uso en la agricultura, acondicionador del suelo o de abono. Los valores máximos permisibles para la categorización de los biosólidos para su uso, se establecen en categoría A y B como se puede ver en la siguiente tabla 8:

Tabla 8. Criterios con límites máximos permisibles de los biosólidos con su categoría correspondiente.

CRITERIO	VARIABLE	UNIDAD	CATEGORÍA BIOSÓLIDO (Valores máximos permisibles)	
			A	B
Químicos - Metales	Arsénico (As)	mg/ Kg de biosólido (base seca)	20	40
	Cadmio (Cd)		8	40
	Cobre (Cu)		1.000	1750
	Cromo (Cr)		1.000	1500
	Mercurio (Hg)		10	20
	Molibdeno (Mb)		18	75
	Níquel (Ni)		80	420
	Plomo (Pb)		300	400
	Selenio (Se)		36	100
Microbiológicos	Zinc (Zn)		2.000	2800
	Coliformes Fecales	Unidades Formador de Colonias UFC/g de biosólido (base seca)	< 1,00 E (+3)	< 2,00 E (+6)
	Huevos de Helmintos Viables	Huevos de Helmintos viables /4g de biosólido (base seca)		< 1,0

Tabla 8 (continuación)

CRITERIO	VARIABLE	UNIDAD	CATEGORÍA BIOSÓLIDO (Valores máximos permisibles)
	<i>Salmonella Sp.</i>	Unidades Formadoras de Colonias UFC/ en 25 g de biosólido (base seca)	Ausenci a < 10,0
	Virus Entéricos	Unidades Formadoras de Placas UFP / 4g de biosólido (base seca)	< 1,0

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014. 15 p.

Según este decreto, los biosólidos que no cumplan con las características anteriormente mencionadas, se podrán usar en operación de rellenos sanitarios como cobertura diaria, en la disposición conjunta con residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios y de forma independiente con gestores autorizados y en procesos de valorización energética.

Con la resolución 631 de 2015, se tienen los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, en la elaboración de productos alimenticios y lácteos como se observa en la tabla 9:

Tabla 9. Valores límites máximos permisibles industria láctea (Resolución 631 de 2015).

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR	
		Elaboración de productos alimenticios	Elaboración de productos lácteos
Generales			
<i>pH</i>	Unidades pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
<i>Demanda Química de oxígeno (DQO)</i>	mg/L O ₂	600,00	450,0
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	mg/L O ₂	400,00	250,0
<i>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</i>	mg/L	200,00	150,0
<i>Sólidos Sedimentales (SSED)</i>	mg/L	2,00	2,00
<i>Grasas y Aceites</i>	mg/L	20,00	20,0
Iones			
<i>Cloruros</i>	mg/L	250,00	500,0

Tabla 9 (continuación)

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR	
		Elaboración de productos alimenticios	Elaboración de productos lácteos
Generales			
<i>Sulfatos</i>	mg/L	250,00	500,0
<i>Cianuro Total</i>	mg/L	0,50	
Metales y Metaloides			
<i>Cadmio (Cd)</i>	mg/L	0,05	
<i>Cinc (Zn)</i>	mg/L	3,00	
<i>Cobre (Cu)</i>	mg/L	1,00	
<i>Cromo (Cr)</i>	mg/L	0,50	-
<i>Mercurio (Hg)</i>	mg/L	0,01	
<i>Níquel (Ni)</i>	mg/L	0,50	
<i>Plomo (Pb)</i>	mg/L	0,20	

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 (17, marzo, 2015). Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2015. 73 p.

Con base al RAS 0330 de 2017, se establecen los lineamientos para la caracterización de lodos y biosólidos del tratamiento de las aguas residuales teniendo en cuenta los siguientes aspectos: Lugar de muestra, instalación del muestreo, presencia de condiciones de riesgo, condiciones hidráulicas, naturaleza del lodo o biosólido que va a ser muestreado, dosificación del flujo volumétrico, tipo de análisis (patógenos, metales y nutrientes), periodo de muestreo (horario, semanal, mensual), métodos de preservación de la muestra, la caracterización de los parámetros (cadmio, cromo total, cobre, plomo, mercurio, níquel, zinc, molibdeno, arsénico, selenio, coliformes fecales, huevos de helmintos viables) y la frecuencia de muestreo está relacionada con cantidad de biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales, basado en la siguiente tabla 10:

Tabla 10. Producción de biosólido y frecuencia de análisis

Producción de biosólidos ton/año de biosólido (base seca)	Frecuencia mínima de análisis
< 300	Anual
300 – 1500	Semestral
>1500-15000	Trimestral
> 15000	Mensual

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330 (8, junio, 2017). Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2017. 182 p.

3. METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo de investigación se realizó a través de la metodología descriptiva, como menciona Hernández³⁶, ya que se realizó una revisión bibliográfica sobre el tema las diferentes alternativas en el aprovechamiento de los lodos residuales generados en las PTAR; este tipo de enfoque permite realizar una descripción de un evento, situación, comunidad, grupo, procesos y objetos, es decir, solo busca recopilar información de forma independiente sobre conceptos y la identificación de las relaciones que existan entre las variables.

El trabajo se estructura en 4 fases; iniciando por la selección de la zona de estudio, esto se desarrolló visitando diferentes lugares para conocer sus características y determinar el lugar más idóneo con la finalidad de este trabajo.

La segunda fase: Después de haber seleccionado el lugar de estudio, se realizaron dos visitas técnicas a la empresa láctea durante los meses de septiembre y octubre de 2018; la primera fue para dar a conocer a la empresa la idea o propuesta de realizar el trabajo de investigación con ellos y en la segunda se conocieron las instalaciones de la empresa específicamente la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, durante esta segunda visita se recolectó información por medio del profesional encargado del área de gestión ambiental quién también suministro los informes más recientes de los análisis de laboratorio del tanque caja de lodos, el diagnóstico ambiental de la empresa, el programa de residuos líquidos, el manual de operación de planta de tratamiento de agua residual industrial, el informe de análisis del agua residual industrial a la entrada y salida de la planta y finalmente el instructivo para la deshidratación de lodos, estos se pueden observar en el anexo C.

En la tercera fase, se revisaron detalladamente cada uno de los documentos de la empresa para analizarlos y obtener los resultados esperados para el desarrollo de este trabajo de investigación, también se buscó la normatividad nacional vigente aplicable en este proyecto y poder realizar una comparación entre los informes de la empresa y lo expuesto en las normas.

En la cuarta fase, se realiza la selección de la alternativa, para esto se escogió la matriz de Pugh o matriz de selección, la cual permite la comparación de las ideas o alternativas como posibles soluciones contra una serie de parámetros o criterios para el proceso; es decir, es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí.

³⁶ HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. Definición del alcance de la investigación que se realizará: exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Metodología de la investigación. 6a ed. México. MCGRAW-HILL. 2014. p. 92-93.

En la matriz se asigna un símbolo **(+)** o **(+1)** si la idea es mejor que el sistema actual el cual es la entrega a un gestor externo, un símbolo **(-)** o **(-1)** si la propuesta no es mejor que la actual y finalmente un **(=)** o **(0)** si la idea no es superior o no genera ningún cambio sobre el actual³⁷.

Para la selección de la mejor alternativa se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

1. Tiempo de implementación
2. Disminución de impactos ambientales
3. Costos de inversión
4. Área disponible

Por medio de la matriz de Pugh, se evaluó la alternativa más viable para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR-I de la empresa láctea. Para esto se procedió a elaborar la tabla 11 de conceptos donde se interpretan de la siguiente manera:

Tabla 11. Conceptos y valoración de matriz Pugh.

CONCEPTOS	VALORIZACIÓN
Favorable	Positivo (+1)
Medio favorable	Igual (0)
No favorable	Negativo (-1)

Elaboración propia basada en matriz Pugh

Luego se hace la calificación de los criterios seleccionados de acuerdo a la necesidad de la empresa, esta calificación está en un rango de 4 a 1 donde 4 es para el criterio más importante y 1 el menos relevante, como se puede ver en la tabla 12:

Tabla 12. Nivel de importancia de los criterios.

CRITERIO	NIVEL DE IMPORTANCIA
Tiempo de implementación	3
Disminución de impactos ambientales	4
Costo	2
Área disponible	1

Elaboración propia basada en la matriz Pugh.

³⁷ LEAL TRANGAY, Rodrigo Emilio. Aplicación de la metodología DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) de seis Sigma para la mejora del retorno sobre activos de la flota de renta de maquinaria pesada. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005. P. 103.

De la tabla 12 se observa que el criterio con mayor importancia para la selección de la alternativa, es la disminución de impactos ambientales debido a que es el principal problema que posee la empresa, además que reduciendo los impactos ambientales el desempeño ambiental de la organización aumentará; el siguiente criterio con importancia es el tiempo de implementación, el cual tiene relación con el criterio de costo, ya que, a mayor tiempo en la ejecución del proyecto, los costos aumentarían y con el trabajo se busca es la reducción de estos costos; finalmente el criterio de menor importancia es el área disponible debido a que para las tres posibles alternativas no se requiere de un gran área para poder ejecutarla.

Como se mencionó anteriormente, en la evaluación de la alternativa se coloca (-1) para alternativa no viable, (1) alternativa viable y (0) para alternativa que no genera cambio o importancia referente al sistema actual, que en este trabajo es la gestión del gestor externo.

Después de valorar los criterios, se realizó la matriz teniendo en cuenta los criterios evaluados en la anterior tabla 13 versus las alternativas propuestas para la elección de la más viable, posterior a esto se debe realizar la sumatoria de los valores positivos y negativos:

Tabla 13. Matriz de Pugh con las alternativas.

MATRIZ DE PUGH					
	Alternativas de aprovechamiento				
	Referencia	Biogás	Materiales de construcción	Vermicompost	
CRITERIOS	<i>Tiempo de implementación</i>	Gestor externo	-1	1	-1
	<i>Disminución de impactos ambientales</i>	Gestor externo	1	1	0
	<i>Costo</i>	Gestor externo	-1	1	0
	<i>Área disponible</i>	Gestor externo	-1	1	-1
	Suma positivos (+)		1	4	1
	Suma negativos (-)		3	0	2
	SUMA GENERAL		-2	4	-2

Elaboración propia basada en matriz de Pugh.

Con lo anteriormente mencionado se continúa con el capítulo de resultados y análisis.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados se desarrollarán en un mismo capítulo con sus respectivos análisis y discusión; entre estos se obtuvieron los siguientes:

Del diagnóstico ambiental de la empresa se encontró que tienen dos categorías de los vertimientos, la primera son los generados en el área de producción teniendo en cuenta el área de UHT, bandas, derivados, recibo de leche, lavado de cestillos y otros procesos donde hay posibles derrames de leche y suero; la segunda categoría proviene de baños y cocina.

Dentro de los diferentes procesos de producción que tiene la empresa, se encontró que cada proceso genera varias clases de residuos ya sean sólidos, líquidos o emisiones; este trabajo se enfoca solo en los líquidos. A continuación, se muestra la tabla 14 de cada proceso productivo con sus respectivos residuos para poder determinar cuál es que le mayor generador de aguas residuales.

Tabla 14. Residuos, vertimientos y emisiones generados por cada proceso hacia el medio ambiente, en empresa láctea del municipio de Cogua.

Proceso	Residuos, vertimientos y emisiones generados por el proceso productivo hacia el medio ambiente
<i>Recibo de la Leche</i>	Aguas Residuales
	Agua Lechosa
	Residuos Sólidos Ordinarios
<i>UHT</i>	Agua lechosa
	Agua residual
	Desechos Bactofugadora (Residuos Ordinarios)
	Material Plástico
	Cartón
	Emisiones de peróxido.
<i>Queso Campesino</i>	Agua lechosa
	Agua residual
	Suero Aprovechable
	Material Plástico.
<i>Queso doble crema</i>	Agua lechosa
	Agua residual
	Suero No Aprovechable
	Material Plástico.
<i>Yogurt</i>	Agua lechosa
	Agua residual
	Material Plástico
<i>Cuajada</i>	Agua lechosa
	Agua residual
	Material Plástico.
	Suero Aprovechable
<i>Gelatina</i>	Cartón
	Agua residual
	Material Plástico.

Tabla 14 (continuación)

Proceso	Residuos, vertimientos y emisiones generados por el proceso productivo hacia el medio ambiente
	Cartón
<i>Refresco/ Jugo</i>	Agua residual
	Material Plástico.
	Cartón.
<i>Bebida Láctea</i>	Agua lechosa
	Agua residual
	Desechos Bactofugadora (Residuos Ordinarios)
	Material Plástico
	Cartón
<i>Laboratorio</i>	Emisiones de peróxido.
	Aguas Residuales
	Residuos Sólidos Ordinarios
	Residuos Peligrosos
<i>Aseo y Desinfección</i>	Aguas Residuales
	Residuos Sólidos Ordinarios
	Residuos Peligrosos
	Ruido

Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 24. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

De lo anterior, se puede observar que el proceso que genera más vertimientos es la elaboración de queso doble crema teniendo tres tipos de residuos líquidos como el agua residual, agua lechosa y el suero no aprovechable; pero también se debe tener en cuenta que en el proceso de UHT presenta cantidades importantes de aguas residuales por el lavado, limpieza y desinfección de los equipos de este proceso.

El funcionamiento de la PTAR comienza con el proceso de cribado en donde se realiza la separación de los sólidos gruesos, luego pasa al homogeneizador para nivelar los caudales y el pH, debido a que estas aguas vienen principalmente del agua de producción y del lavado de los equipos, posterior a esto se comienza con el proceso fisicoquímico en el CAF (Cavitation air flotation) en donde los operarios dosifican el ácido para empezar a neutralizar el pH y así empezar a agregar el coagulante y floculante, durante este proceso hay una remoción del 65% de materia orgánica, simultáneamente se van realizando muestreos del agua para ir teniendo el color y aspecto deseado (ver anexo b).

Los lodos salientes de este proceso van por tuberías al tanque de almacenamiento de lodos fisicoquímicos y biológicos (resultantes del decantador), en ellos se almacenan 70% y 30% respectivamente; después por medio de bombas se envían los lodos al espesador de lodos (tanque de 4 m) para hacer una homogenización de estos, posterior a esto hacen un ensayo de jarra para agregar el polímero y así poder separar el sólido del líquido enseguida de esta separación, se lleva al filtro

prensa los lodos por medio de tubería para comenzar a hacer el llenado, mediante un equipo de medición van calculando la presión para saber cuándo se ha llenado el filtro y cerrar las válvulas, después de dos horas les inyectan aire a los lodos y finalmente este sólido sale con una textura como pasta para ser dispuesto en la tolva de recolección.

En seguida de que el agua ya está tratada, se transporta al reactor aerobio donde los microorganismos comienzan a degradar el 35% de la materia orgánica resultante del CAF y finalmente pasa el agua a los decantadores para terminar de realizar el tratamiento y por tuberías sale el efluente final hacia el alcantarillado veredal; esta PTAR cuenta con un año de funcionamiento desde su optimización y con una eficiencia del 98%, permitiendo que el vertimiento final cumpla con los parámetros establecidos en la resolución 631 de 2015. Es importante mencionar que la caracterización del vertimiento se realiza cada tres meses por una empresa que debe tomar la muestra y enviarlas a un laboratorio acreditado por el IDEAM. En el laboratorio se analizan las siguientes variables: DBO, DQO, tensoactivos aniónicos, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y adicional a esto, cada mes se realiza un muestreo in situ de: pH, dureza, alcalinidad total, hierros totales, cloruros, color apha, cloro libre, conductividad y turbidez.

Tabla 15. Resultados análisis del agua residual a la salida de la PTAR.

ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	Unidades pH	7,5-7,9
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L O ²	61,1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L O ²	13
Sólidos Sedimentales (SSED)	mg/L	< 0,1 - 0,5
Grasas y Aceites	mg/L	-
Alcalinidad total	mg/L CaCO ³	571
Dureza total	mg/L CaCO ³	231
Fósforo total	mg/L P	19,3
Nitritos	mg/L NO ² -N	2,47
Nitrógeno Amoniacal	mg/L N-NH ³	< 2,00
Nitrógeno total	mg/L N	9,96
Sulfatos	mg/L SO ⁴	< 15,0
Temperatura	°C	22,4 - 25,6

Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Informe análisis de agua salida de la PTAR. [Documento interno]. 2017. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

Esta PTAR está compuesta por seis etapas dividida en dos secciones, la primera es la línea de agua y la segunda línea de lodos como se describirá a continuación:

Figura 11. Planta de tratamiento de aguas residuales empresa láctea municipio de Cogua.



Fuente: empresa láctea municipio de Cogua.

✓ LÍNEA DE AGUA

1. Etapa Tratamiento Preliminar: en seguida se describirá cada parte del proceso preliminar.

- *Bombeo de agua cruda*

Tabla 16. Características pozo de bombeo inicial.

Caudal de diseño	3,5 LPS
Caudal operación	< 1,5 LPS
Tiempo de retención	10 segundos
Tipo de limpieza	Manual
Volumen total	3 m ³
Altura	1,5 m
Largo	2 m
Ancho	1 m
Cantidad de unidades instaladas	1
Año de construcción	2016

Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Programa de residuos líquidos. [Documento interno]. 2018. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

- *Cribado: retiro de sólidos gruesos*

Tabla 17. Características equipo de cribado.

	Caudal de diseño	3,5 LPS
	Caudal operación	< 3,5 LPS
	Clase de criba	Estática
	Diámetro de la malla	0,5 mm
	Tiempo de retención	5 min
	Tipo de limpieza	Manual
	Cantidad de unidades instaladas	1
	Material de construcción	Acero inoxidable
	Año de construcción	2016

Elaboración propia basada en información de la empresa, fotografía propia.

- *Homogenización: igualación de caudal y carga*

Tabla 18. Características homogenizador.

	Caudal de diseño	3,5 LPS
	Caudal operación	< 3,5 LPS
	Volumen total	400 m ³
	Área	4,76 m ²
	Diámetro	9,80 m
	Alto	5,5 m
	Tiempo de retención hidráulica	32 horas
	Material de construcción	Fibra de vidrio
	Año de construcción	2016

Elaboración propia basada en información de la empresa, fotografía propia.

- Neutralización: ajustes de pH.

Tabla 19. Características neutralización.


Caudal de diseño	3,5 LPS
Caudal operación	< 3,5 LPS
Sistema	Mezclador Estático con 5 pasos
Material de construcción	D 21
Sistema de neutralización	Inyección de Neutralizante
Año de construcción	2016-2017

Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Programa de residuos líquidos. [Documento interno]. 2018. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

2. Etapa tratamiento primario fisicoquímico:

- Coagulación
- Floculación
- CAF (Cavitation air flotation)

Tabla 20. Características CAF.

	Caudal de diseño	3,5 LPS
	Caudal operación	< 3,5 LPS
	Volumen total	9 m ³
	Área	6 m ²
	Largo	4 m
	Ancho	1,5 m
	Alto	1,5 m
	Tiempo de retención hidráulico	20 min
	Flujo de aire	Approx. 1cu ft/sec
	Potencia del aireador	4 Kw.h
	Material de construcción	Acero inoxidable
	Equipos adicionales	2 bombas dosificadoras de químicos
	Año de construcción	2016

Elaboración propia basada en información de la empresa, fotografía propia.

3. Tratamiento secundario biológico

- Reactor aerobio (sistema de lodos activados)

Figura 12. Reactor aerobio.



Elaboración propia.

- Decantadores secundarios

Tabla 21. Características de decantadores secundarios.



Caudal de diseño	3,5 LPS
Caudal operación	< 3,5 LPS
Volumen	80 m ³
Área	16 m ²
Alto	5 m
Diámetro	5,4 m
Cantidad	2 unidades
Tiempo de retención	3 horas
Velocidad ascensional	1,1 m/s
Material de construcción	Fibra de vidrio
Año de construcción	2016-2017

Elaboración propia basada en información de la empresa, fotografía propia.

✓ LÍNEA DE LODOS

Tabla 22. Características etapa de lodos.

Aspecto	valor	
Lodos fisicoquímicos	Los lodos se producen en el sistema de flotación son enviados al pozo de lodos húmedos.	
Lodos biológicos	Los lodos se producen en la fase biológica son enviados al pozo de lodos húmedos.	
Pozo de lodos húmedos	Largo	7,5 m
	Ancho	3,5 m
	Alto	1,5 m
	Volumen	52,5 m ³
	Tiempo de retención	3 a 5 horas
	Material de construcción	Mampostería
	Cantidad	1 unidad
Espesador de lodos	Volumen	4 m ³
	Forma	Tronco cónico
	Material de construcción	Fibra de vidrio
	Tiempo de retención	4 horas
	Cantidad	1 unidad
Equipos de deshidratación	1 filtro prensa	

Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Programa de residuos líquidos. [Documento interno]. Cagua. 2018. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

1. Purga de lodos fisicoquímicos
 - Tanque purga de lodos fisicoquímicos

Figura 13. Tanque lodos fisicoquímicos.



Elaboración propia.

2. Purga de lodos biológicos
 - Tanque purga de lodos biológicos

Figura 14. Tanque lodos biológicos.



Elaboración propia.

3. Deshidratación de lodos

Figura 15. Sistema deshidratación de lodos residuales.



Elaboración propia.

- Espesador de lodos

Figura 16. Equipo espesador de lodos.



Elaboración propia.

- Sistema de dosificación de químicos para deshidratación
- Filtro prensa

Figura 17. Equipo filtro prensa.



Elaboración propia.

Basado en el informe de la empresa, el 20 de febrero de 2018 se tomaron muestras puntuales de acuerdo con el instructivo para la toma de muestras de suelo, se realizó un muestreo simple en un tanque de almacenamiento de lodos en el cual, en dos de las secciones del tanque se hizo toma de muestra aleatoriamente con el fin de tener una homogenización de la muestra y por el método de cuarteo, determinar el volumen necesario para el análisis.

Primero se analizó el lodo proveniente del tratamiento CAF, donde el lodo cuenta con una textura pastosa con olor a materia orgánica en descomposición, coloración uniforme y se observa aproximadamente un 20% de líquido (agua) en el lodo.

En la siguiente tabla 23 se presenta la comparación del lodo del tanque caja de lodos de la empresa con el anexo III del decreto 4741 de 2005, por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral:

Tabla 23. Comparación con el Decreto 4741 de 2005.

Variable	Unidades	Resultados	Decreto 4741 de 2005 (Tabla No. 3)
Arsénico	mg/L As	< 0,0100	5,0
Bario	mg/L Ba	< 0,500	100,0
Cadmio	mg/L Cd	< 0,0200	1,0
Cromo	mg/L Cu	< 0,0200	5,0
Mercurio	mg/L Hg	< 0,00100	0,2
Plata	mg/L Ag	< 0,0200	5,0
Plomo	mg/L Pb	< 0,100	5,0
Selenio	mg/L Se	< 0,000500	1,0

Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Informe Caja de Lodos. [Documento interno]. Cagua. 2018. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

De lo anteriormente expuesto, se puede ver que todas las variables analizadas presentan valores que se encuentran dentro de los límites permisibles reglamentarios en la normatividad nacional vigente.

Al leer y analizar los informes entregados por el profesional encargado de la gestión ambiental en la empresa, se encontró que la caracterización de lodos realizada, fue principalmente para descartar la presencia de metales pesados, es por esto que, no se tiene un muestreo detallado de los lodos residuales de la PTAR.

De acuerdo a los diferentes métodos de aprovechamiento mencionados anteriormente y con los análisis de lodo residual elaborados por la empresa, se seleccionaron tres alternativas para identificar cual es la más viable económica y ambientalmente.

El manejo y disposición del lodo residual proveniente del proceso de tratamiento de aguas industriales genera una serie de problemas ambientales, económicos y tecnológicos en diferentes empresas, sin embargo, estos pueden causar beneficios dependiendo del tratamiento o disposición final de los mismos; las alternativas de aprovechamiento más utilizadas son para generación de biogás, restauradores de suelo o espacios y para elaboración de compostaje.

- Generación de energía (Biogás): La descomposición de los lodos residuales generan dióxido de carbono y metano, los cuales son considerados como los principales causantes del efecto invernadero (GEI); además otro impacto ambiental generado por el mal manejo de los lodos residuales es la reproducción de malos olores y, por ende, la proliferación de algunos vectores.

La composición de los gases salientes de la descomposición de los lodos, es llamado biogás el cual está compuesto entre 40% – 70% gas metano, 25% - 40% dióxido de carbono y en menor proporción otros gases como N, O, H, CO y Vapor de agua; con respecto al gas metano es 23 veces más poderoso para capturar el calor de la atmósfera. Sin embargo, su aprovechamiento permite reducir el impacto ambiental en menor tiempo, debido a que aproximadamente su vida atmosférica es de 12 años, lo cual su aprovechamiento en la generación de energía es la forma más efectiva para minimizar el calentamiento global a corto plazo, igualmente puede ser utilizado como fuente de energía renovable (biocombustible).

Rojas³⁸ explica que por medio de la digestión anaeróbica se realiza la estabilización de los lodos residuales, el cual en ausencia de oxígeno se genera biogás que puede ser utilizado como combustible para la producción de energía eléctrica; asimismo los sistemas de digestión anaeróbica por su efectividad pueden reducir el volumen y la carga orgánica que contiene los biosólidos. A pesar de tener un excelente uso, su desventaja es la inversión inicial, el mantenimiento del equipo, operación del equipo por medio de personal capacitado para cumplir con el objetivo del sistema de aprovechamiento del biogás producido.

- Materiales de construcción: García³⁹ expone que se ha venido buscando la posibilidad de reemplazar la arcilla utilizada en la producción de ladrillos por otros

³⁸ ROJAS REMIS, Rebeca y MENDOZA ESPINOSA, Leopoldo. Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. [Producción + Limpia]. México. Julio-diciembre. Vol. 7. No. 2. 2012. P 74-94. ISSN. 1909-0455. [Consultado 3, enero, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/267/127>

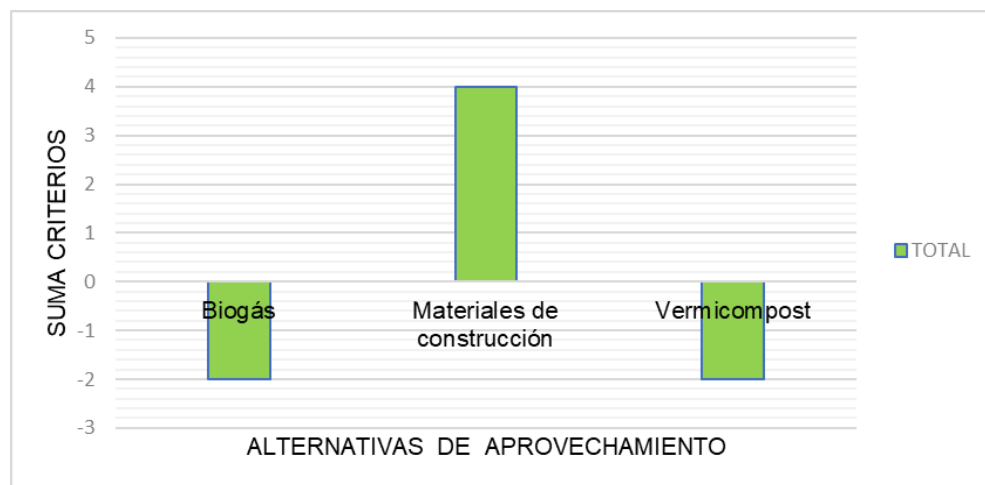
³⁹ GARCÍA UBAQUE, César; GARCÍA VACA, María Camila y VACA BOHÓRQUEZ, Martha Lucía. Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. En: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. [Redalyc]. Bogotá D.C. Octubre- diciembre. Vol. 17. No. 38. 2013. P. 68-81. [Consultado 3, enero, 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/2570/257028384006/>

materiales menos densos como el lodo proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) domésticas o industriales transformándose en una solución ambiental para este tipo de residuos. Es una alternativa viable en países en vía de desarrollo, ya que, la mayoría de países latinoamericanos no cuentan con la tecnología y métodos de tratamiento y/o disposición final de diferentes tipos de residuos sólidos generados y muchos menos los provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas municipales domesticas e industriales.

- Vermicompost: González⁴⁰ explica que la lombricultura es una técnica que busca transformar los materiales orgánicos por medio del tratamiento con lombrices para obtener humus. Este humus ayuda a mejorar condiciones del suelo como el drenaje, la restauración y sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo cual favorecen e incrementan la actividad biótica aumentando la resistencia de las plantas en contra de plagas, enfermedades y otros organismos patógenos como lo indica González.

Con base al desarrollo de la matriz de Pugh en la metodología, la comparación entre los diferentes criterios de las alternativas de aprovechamiento, se evidencia que la alternativa que tuvo la mayor calificación fue materiales de construcción, ya que obtuvo una puntuación de 4 con respecto a las otras dos alternativas, debido a sus diferentes ventajas que presenta en relación con costo, tiempo, disminución de impactos ambientales y área disponible.

Gráfica 6. Alternativas de aprovechamiento.



Elaboración propia.

⁴⁰ GONZÁLEZ ROMERO, María Nathalia. Proceso de transformación de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso Colombia altitudes mayores a 1800 M.S.N.M. Opción de Trabajo de Grado Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. 2015. 63 p.

De las tres alternativas que se eligieron, se evaluaron 4 criterios como se observó en la tabla 12; los respectivos resultados fueron los siguientes; Biogás con un puntaje de -2 debido a que su principal desventaja es el costo de inversión inicial, la siguiente son los Materiales de construcción con un valor de 4, ya que es un tema que se está comenzando a trabajar y genera impacto positivo en el ambiente, siendo una opción viable, y finalmente la alternativa Vermicompost tuvo un puntaje de -2, la cual no fue seleccionada debido a que tiene diferentes requerimientos para su ejecución.

A continuación, se realiza una descripción detallada de la alternativa seleccionada.

4.1 ESPECIFICACIONES ALTERNATIVA SELECCIONADA

Existen diferentes alternativas para la eliminación de los lodos residuales, pero una de las más viables es la elaboración de ladrillos a base de este residuo, dándole solución a esta problemática, ya que al ser un residuo orgánico es considerado altamente peligroso por su contenido de metales pesados.

Por medio del proceso de cocción los compuestos orgánicos del biosólido (celulosa, lignina, grasas, microorganismos patógenos, etc) son destruidos formando poros cerrados que causan la propiedad de aislamiento térmico también con el manejo de otras condiciones se asegura que los metales estarán retenidos y siendo parte fundamental de la estructura físico química del ladrillo, descartando la existencia de lixiviados, olores y contaminación por los metales.

Mogollón y Carrillo⁴¹ menciona las ventajas energéticas que posee la incorporación de lodos residuales en la elaboración de ladrillos.

- El poder calorífico de los lodos es aproximadamente de 3400 Kcal/Kg.
- Disminución en el consumo de agua, debido a la humedad que contienen los lodos residuales (70% agua).
- La proporción adecuada de lodos en la elaboración del ladrillo está en el rango del 10% al 20%.

4.1.1 Elaboración de ladrillos cerámicos

Dentro de las diferentes etapas para la elaboración de este producto, se deben tener en cuenta varios aspectos técnicos para lograr obtener un ladrillo cerámico con todos los parámetros de calidad, como absorción de agua y la resistencia mecánica.

⁴¹ MOGOLLON, Sergio Manuel y CARRILLO, Carlos Humberto. Evaluación técnica, económica y ambiental de lodos provenientes de la PTAR de la compañía internacional de alimentos agropecuarios (CIALTA S.A.S) como alternativa de aprovechamiento para producción de ladrillos cerámicos. Proyecto de Grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería. 2016. 130 p.

- **PROCESO:**

A continuación, se hace una descripción de los pasos a seguir para la elaboración del ladrillo cerámico:

1. Las arcillas se tamizan para disminuir el tamaño de los residuos orgánicos y poder dar una textura uniforme y homogénea al lodo y la arcilla.
2. Para obtener el material cerámico se debe realizar el secado de la arcilla durante 24 horas.
3. Se continúa con la mezcla entre el lodo y la arcilla, agregando los aditivos correspondientes, como por ejemplo los desengrasantes.
4. Posterior de la mezcla homogénea anterior, se humedece las pastas para poder hacer los moldes y dejar en reposo al ladrillo
5. Se deja secar el material moldeado para que pierda la mayor cantidad de humedad posible, esto se logra dejando el ladrillo al aire libre durante 7 días o por medio de equipos como los hornos secadores.
6. Finalmente, se lleva a cabo el proceso de cocción en donde el material cerámico adquiere las características químicas, físicas y de resistencia mecánica; también se procede al enfriamiento de los ladrillos evitando el rompimiento de estas piezas.

4.2 CASOS DE ESTUDIO

En este apartado, se mostrarán varios estudios realizados nacional e internacionalmente referente a la utilización de los biosólidos en la fabricación de materiales de construcción:

En el primer estudio de caso que se revisó “*Evaluación técnica, económica y ambiental de lodos provenientes de la PTAR de la compañía internacional de alimentos agropecuarios (CIALTA S.A.S) como alternativa de aprovechamiento para producción de ladrillos cerámicos*”, Mogollón⁴² menciona en su estudio que se puede observar que al realizar la caracterización del lodo, se encontró que es apto para la elaboración de productos de construcción en donde por medio de experimentos mezclaron diferentes porcentajes de lodo-arcilla (10%-90%, 20%-80%, 30%-70%, 40%-60% y 50%-50%) para conocer cual cumple con las propiedades mecánicas de compresión, flexión y absorción establecidas en la NTC 4017 (Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla).

Dentro de este proyecto se analizó el aspecto económico, utilizando el método del valor futuro, el cual proyecta los costos anuales (diez años) con la incorporación de biosólidos en la fabricación de ladrillos; también se realizó una comparación de costos entre los ladrillos hechos de 100% arcilla y ladrillos con 10% de lodo y 90% de arcilla.

⁴² Ibíd. P 45.

Dentro de los costos para la elaboración de ladrillos de arcilla únicamente se tuvieron en cuenta costos fijos (mano de obra) y costos variables (consumo de agua, consumo de energía y cantidad de arcilla); sin embargo, en la fabricación de ladrillos lodo-arcilla el costo fijo es la mano de obra y costos variables son cantidad de arcilla, consumo de agua y consumo de energía, lodo fisicoquímico de CIALTA S.A.S y transporte de lodo a la planta de producción de ladrillos COLCERAMA. Basado en el método valor futuro, proyectaron a 10 años los costos del proyecto teniendo en cuenta la inflación anual para los costos operativos (mano de obra, producto arcilla y lodo, transporte de carga, consumo de agua y energía) y posteriormente calcularon el punto de equilibrio.

En cuanto a la evaluación de costos, se compararon costos anuales de la fabricación de ladrillos 100% de arcilla y los de mezcla lodo-arcilla proyectado a diez años. La empresa COLCERAMA S.A.S tiene una producción de 540.000 ladrillos cerámicos al mes con un costo por unidad de \$800, teniendo un consumo de materia prima (arcilla) de 1836 ton/mes, esta arcilla para el 2016 tenía un valor por tonelada de \$30.000 y la mano de obra por un empleado en un valor de \$1.108.621. El total de gastos para elaborar los 5.400 ladrillos únicamente de arcilla es de \$1.184.938.321, mientras que para la fabricación de ladrillos de lodo-arcilla (10%-90% respectivamente), es de \$1.119.824.353 teniendo en cuenta que para los costos variables se sumaron las toneladas de arcilla necesitadas y el transporte de estos, estos datos anteriormente presentados son para un año de producción.

Para la proyección de 10 años la misma cantidad de ladrillos (5.400) elaborados de solo arcilla tiene un valor total de \$16.136.879.968, en cambio los ladrillos ecológicos (lodo-arcilla) su precio final es de \$15.298.456.875, generando una reducción de costos de producción de \$38.423.094 en 10 años y con un ahorro promedio anual de \$83.842.309. Los resultados más importantes que obtuvieron fue que para los costos fijos en las dos alternativas, se requieren producir y vender 356.426 ladrillos, mientras que en la elaboración de ladrillos lodo-arcilla se necesitan producir y vender 352.346 ladrillos para cubrir los gastos fijos, es decir, generaría mayores ingresos anuales en la empresa de ladrillos COLCERAMA S.A.S; es decir, es una excelente opción económica.

Dentro del aspecto ambiental, los impactos significativos evaluados por los autores mediante la metodología establecida por la Secretaria de Ambiente (SDA), hallaron que se originan desde la deshidratación y secados de los lodos por la generación de olores ofensivos, emisiones atmosféricas, contaminación del suelo y agua por implementación de técnicas inadecuadas de almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final.

El segundo estudio de caso revisado se denomina “*Alternativas de uso y disposición de biosólidos y su impacto en las tarifas de agua*”, Rámila y Rojas⁴³ analizaron los diferentes usos del biosólido; el primer uso analizado fue un proceso de secado térmico completo, el segundo fue el uso como fertilizante agrícola y forestal, el tercero para incineración para generación de energía y el último como materia prima para elaboración de ladrillos cerámicos, cada uno de las anteriores alternativas fueron analizadas técnica y económicamente para determinar cuál es la opción más viable y la mejor oportunidad de aprovechamiento.

Ambientalmente es una opción viable, debido a que posee diversos beneficios como por ejemplo con la elaboración de estos ladrillos ecológicos (lodo-arcilla) hay manejo de metales pesados por medio del proceso de cocción anulando también la posibilidad de generar lixiviación; los compuestos inorgánicos del lodo funcionan como refuerzo a la estructura mecánica del ladrillo, otra principal ventaja es el ahorro de energía durante el proceso ya que, este ladrillo posee materia combustible por el lodo, lo que genera un elevado poder calorífico, además se ahorra agua, debido a que los lodos pueden ser incluidos en el proceso de fabricación de ladrillos en su estado natural (húmedos), reduciendo el consumo de agua durante su producción. Sin embargo, también tiene desventajas como emisiones de olores por el secado de los ladrillos al aire libre y emisiones de gases durante el proceso de cocción de este producto, pero son situaciones controlables por medio de equipos tecnológicos como filtros, scrubbers y/o lavadores.

Con respecto a los costos para la elaboración de un ladrillo común (29 cm x 14 cm x 7,1 cm) se dividen en: 18% materia prima, 32% costos energéticos y 50% amortización y costos operativos, su valor final está entre \$190 y \$200 la unidad del ladrillo. El mercado de ladrillos en Chile, está liderado por dos grandes empresas que con la incorporación de un 15% de lodo como materia prima, los costos de producción se reducirían en un 84%, los costos energéticos se disminuirían en un 10%, con el cual, el precio final del ladrillo ecológico (mezcla lodo-arcilla) tendría un valor en el mercado de \$195 cada uno; siendo una excelente propuesta conociendo que actualmente hay una alta demanda de este producto para la construcción de viviendas, edificios, industrias, comercio, otros. Estos productores tendrían ahorros de \$8.1 por ladrillo si añaden el 15% de lodo como parte de la materia prima, es decir que por ladrillos habría una reducción de \$8.

⁴³ RÁMILA, Javiera Ignacia y ROJAS, Sebastián Ignacio. Alternativas de uso y disposición de biosólidos y su impacto en las tarifas del agua. Seminario Ingeniero comercial. Santiago: Universidad de Chile. Facultad de Economía y Negocios. 2008. 166 p.

El tercer trabajo llamado *“Efecto de la adición de biosólido (seco) a una pasta cerámica sobre la resistencia mecánica de ladrillos”*, en el que Mozo y Camargo⁴⁴ analizaron las características químicas, mineralógicas, físicas y el comportamiento térmico para poder realizar las muestras de los ladrillos con adición del 15% de lodo seco teniendo como referencia la Norma Técnica Colombiana (NTC) 296 y con una cocción de 950°C, 1000°C y 1050°C; en el análisis de resistencia a la compresión se basaron en la NTC 4017.

Mozo y Camargo obtuvieron como principales resultados y conclusiones, que la incorporación del biosólido en la pasta cerámica, tiene beneficios en diferentes propiedades físicas, químicas, térmicas, entre otras; lo que permite ser un material apto como materia prima para la elaboración de materiales de construcción como los ladrillos. También se halló que, durante el proceso de cocción, hay eliminación de cualquier tipo de microorganismo patógeno presente en el biosólido, así descartando la peligrosidad o toxicidad.

El cuarto proyecto denominado *“Análisis de la revalorización de biosólidos de la PTAR, el Peral, Ambato, para insumo de mampostería”*, Cuti y Urbina⁴⁵ realizaron el proyecto durante tres etapas; la primera fue consulta bibliográfica, la segunda fue el muestreo de la materia prima, suelo y lodo residual para los análisis de laboratorio y la tercera etapa fue la obtención de los resultados y comparación con la normatividad aplicable y un análisis de la mezcla de ladrillo-lodo al 30% para estructuras de tipo ornamental. Este proyecto se desarrolló en Ecuador, en donde la elaboración de los ladrillos durante muchos años se ha venido desarrollando de forma empírica lo que los autores quisieron comprobar por medio de ensayos en laboratorio el cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma NTE-INEN 297 en los ladrillos comerciales.

Dentro de la metodología se hornearon 5 lotes de los ladrillos mezclados, los cuales fueron analizados en laboratorio para determinar el cumplimiento de la norma en:

- Resistencia mínima de compresión
- Resistencia mínima a la flexión
- Absorción máxima de humedad

⁴⁴ MOZO, William y CAMARGO, Gloria. Efecto de la adición de biosólido (seco) a una pasta cerámica sobre la resistencia mecánica de ladrillos. En *Revistas Ingeniería Universidad de Medellín*. [Repositorio Institucional]. Medellín. Julio-diciembre. Vol. 14. No. 27. 294 p. ISSN. 1692-3324. [Consultado 16, marzo, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2371/Revista_Ingenierias_UdeM_269.pdf?sequence=2&isAllowed=y

⁴⁵ CUTI, Steeven Alexis y URBINA, Andrés Gustavo. Análisis de la re-valorización de biosólidos de la PTAR, el Peral, Ambato, para insumo de mampostería. Proyecto de Grado Ingeniero Ambiental. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. 2018. 155 p.

Cada uno de los parámetros anteriormente mencionados, se ejecutaron y analizaron de acuerdo a la metodología correspondiente.

Los principales resultados que obtuvieron Cuti y Urbina fue que, el lodo residual no es corrosivo, reactivo, explosivo, inflamable infeccioso, ni toxico, lo que indica que es apto para la fabricación de materiales de construcción por no ser un residuo peligroso; también dentro de los análisis de laboratorio (resistencia a la flexión, compresión y humedad) de los diferentes tipos de porcentajes (5%-10%-15%-20%-30%), encontraron que la mejor proporción de mezcla es del 5% (lodo-suelo) cumpliendo con la norma NTE-INEN 297; también se encontró que los ladrillos fabricados con 30% de mezcla pueden ser únicamente utilizados para estructuras no sujetas a presión o alta carga.

Otro resultado importante fue que la resistencia del producto final se disminuye debido a la estabilización con cal a los lodos residuales generada por la presencia de dolomita (mineral de baja resistencia).

Con los estudios anteriormente mencionados, se puede comprobar y soportar principalmente con los estudios 1 y 2, que la alternativa seleccionada para el aprovechamiento de los lodos residuales de la PTAR-I en la empresa láctea, es óptima y viable, debido a que esta alternativa generará diferentes beneficios a la empresa, por ejemplo, una reducción de costos, ya que no se pagaría al gestor externo por su disposición final, sino se obtendría un ingreso adicional por la venta de este “residuo”, el cual puede ser aprovechado por una empresa ladrillera como materia prima en la fabricación de materiales de construcción como ladrillos, tejas y otros productos de mampostería, también se evidenciaría una minimización en el impacto ambiental, debido a que se realizaría un adecuado manejo de este biosólido y no requerirá una disposición final en rellenos sanitarios generando otros problemas ambientales, asimismo se ayudaría a reducir la explotación de este recurso en las canteras.

5. CONCLUSIONES

- El área de gestión ambiental de la empresa, debería ayudar a minimizar o reducir los costos buscando nuevas o diferentes alternativas para el manejo adecuado de los lodos residuales de la PTAR-I.
- Las autoridades ambientales deben hacer un mejor seguimiento y control a las empresas, para que éstas puedan cumplir con toda la normatividad ambiental vigente aplicable según corresponda.
- De los análisis de laboratorio de la caracterización de los lodos suministrados por la empresa, se puede evidenciar que cumple con lo establecido por la norma como un lodo no peligroso, lo que permite ser aprovechado.
- La matriz de Pugh es muy viable como herramienta de valoración para este tipo de procesos, ya que se busca una objetividad en las decisiones.
- De las alternativas seleccionadas para realizar el análisis para el aprovechamiento del lodo residual, se encontró que el más adecuado ambiental y económicamente es para la elaboración de materiales de construcción como el ladrillo cerámico.
- De los diferentes estudios analizados, se concluye que la porción adecuada de arcilla-lodo, es de 10% y 90%, ya que no se produce alteración en los procesos de moldeo y permite una excelente homogenización del ladrillo, mientras que si se aumenta el porcentaje de lodo se afectan propiedades como humedad, porosidad, plasticidad y resistencia provocando grietas, fracturas y malformaciones en el producto final.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda vincular el sector industrial ladrillero con empresas generadoras de biosólidos para poder aprovechar este recurso y así disminuir costos, uso de materias primas y dar un mejor manejo y disposición final a los lodos, siendo una solución integral de gestión.
- Se recomienda comenzar a mecanizar el proceso de elaboración de ladrillos con lodos, para disminuir su disposición final en rellenos sanitarios y así mismo minimizar la explotación de canteras.

7. APORTES

El aporte de este trabajo académico, principalmente es para la empresa láctea, a quien le interesa dar un mejor manejo y disposición a los lodos residuales, además buscan tener una reducción en los costos que se pagan a un gestor externo.

Para este proyecto se pone en práctica lo visto en las asignaturas de manejo de residuos sólidos y peligrosos, producción más limpia, legislación ambiental y tratamiento de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

ACADEMIA DE CIENCIAS VETERINARIAS DE ANDALUCÍA. Jornadas sobre contaminación ambiental por la ganadería e industrias agroalimentarias. Granada. Diciembre. Vol. 8. no. 1. 1995. P.11. ISSN. 1.130 -2534. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/08-1995.pdf>

ALCALDÍA MUNICIPAL DE COGUA. Nuestro municipio. [Sitio web]. Cogua. [Consultado 25, octubre, 2018]. Disponible en: <http://www.cogua-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PROCESADORES DE LECHE -ASOLECHE. Documento de análisis económico sectorial. [Sitio web]. Bogotá D.C. Análisis económico sectorial. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Disponible en: <https://asoleche.org/>

AVENDAÑO, Francy Yadira y MARTINEZ, Jhon Alexander. Recuperación de lodos de las lagunas de oxidación provenientes del proceso de extracción de aceite de palma, para usar como abono en cultivos de palma africana. Trabajo de grado Ingeniera Ambiental Bucaramanga: Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD-. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Departamento Ingeniería Ambiental. 2015. 63 p.

CAMPOS, Elena. *et al.* Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás. En: ResearchGate. Noviembre. 2001. [Consultado 14, septiembre, 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/251855102_APROVECHAMIENTO_ENERGÉTICO_DE_LODOS_RESIDUALES_Y_PURINES_PRODUCION_DE_BIOGAS

COLOMER MENDOZA, F. J; GALLARDO IZQUIERO, A; ROBLES MARTÍNEZ, F; BOVEA, Ma. D; HERREA PRATS, L. Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales. [Redalyc]. Enero. vol.14. no. 3. p. 177-190. ISSN. 1665-529-X. [Consultado 5, septiembre, 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/467/46715742006/>

CUTI, Steeven Alexis y URBINA, Andrés Gustavo. Análisis de la revalorización de biosólidos de la PTAR, el Peral, Ambato, para insumo de mampostería. Proyecto de Grado Ingeniero Ambiental. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. 2018. 155 p.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA –DANE-. Índice de Precios del Consumidor (IPC). [Sitio web]. Bogotá D.C. Información técnica. 2019. [Consultado 5, febrero, 2019]. Disponible en:

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-informacion-tecnica>

DOLGEN, Deniz; ALPASLAN, Necdet y DELEN, Nafiz. Use of an agro-industry treatment plant sludge on iceberg lettuce growth. [ELSEVIER]. Julio. Vol. 23. 2004. p. 117-125. [Consultado 12, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://eurekamag.com/pdf/004/004377390.pdf>

DONADO H, Roger. Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los llanos en el departamento del Meta. Tesis de Magíster en Gestión Ambiental. Bogotá. D.C: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. 2013. p. 86.

EMPRESA LÁCTEA. Diagnóstico Ambiental Inicial. [Documento interno]. Cagua. 2016. P. 24. [Consultado 25, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

EMPRESA LÁCTEA. Informe análisis de agua salida de la PTAR. [Documento interno]. 2017. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

EMPRESA LÁCTEA. Informe Caja de Lodos. [Documento interno]. 2018. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

EMPRESA LÁCTEA. Programa de residuos líquidos. [Documento interno]. 2018. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.

ESCOLA SUPERIOR D' AGRICULTURA DE BARCELONA UPC. Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas. [Sitio web]. Barcelona. Artículos. [Consultado 13, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articles_ESAB/Compostaje%20lodos.pdf

FEDERACIÓN PANAMERICANA DE LECHERÍA -FEPALE-. Panorama del sector lácteo en América Latina. [Sitio web]. Uruguay. Infoleche. 18 enero 2018. [Consultado 4, septiembre, 2018]. Disponible en: <http://fepale.org/infoleche/2018/01/18/panorama-del-sector-lacteo-en-america-latina/>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS –FAO-. Animales lecheros. [Sitio web]. Portal lácteo. [Consultado 25, octubre, 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/productiondairy-animals/es/>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS -FAO-. El sector lechero mundial: Datos. [Sitio web]. Bogotá D.C. Publicaciones.

[Consultado 4, septiembre, 2018]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.dairydeclaration.org/portals/153/FAO-Global-Facts-SPANISH-F.PDF?v=1>

GARCÍA UBAQUE, César; GARCÍA VACA, María Camila y VACA BOHÓRQUEZ, Martha Lucía. Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. En: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. [Redalyc]. Bogotá D.C. Octubre- diciembre. Vol. 17. No. 38. 2013. P. 68-81. [Consultado 3, enero, 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/2570/257028384006/>

GÓMEZ, María Francisca y DE ARENAS, Rico. Estudio de contaminantes orgánicos en el aprovechamiento de lodos de depuradora de aguas residuales urbanas. Tesis doctoral Ingeniería Química. Alicante: Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química. 2008. 373 p.

GONZÁLEZ CÁCERES, Marcelino de Jesús. Aspectos medio ambientales asociados a los procesos de la industria láctea. [Mundo Pecuario]. Trujillo. Octubre. Vol. 1. no. 1. 2012. p. 16-32. [Consultado 4 septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://produccionbovina.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/37-industria.pdf

GONZÁLEZ ROMERO, María Nathalia. Proceso de transformación de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso Colombia altitudes mayores a 1800 M.S.N.M. Opción de Trabajo de Grado Ingeniero Civil. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. 2015. P 63.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. Definición del alcance de la investigación que se realizará: exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Metodología de la investigación. 6a ed. México. McGRAW-HILL. 2014. p. 92-93.

LEAL TRANGAY, Rodrigo Emilio. Aplicación de la metodología DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) de seis Sigma para la mejora del retorno sobre activos de la flota de renta de maquinaria pesada. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005. P. 103.

LIMÓN, Juan Gualberto. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Tesis de especialización Ingeniería Química. Jalisco: Facultad Ingeniería. 2013. 45 p.

MOGOLLON, Sergio Manuel y CARRILLO, Carlos Humberto. Evaluación técnica, económica y ambiental de lodos provenientes de la PTAR de la compañía internacional de

alimentos agropecuarios (CIALTA S.A.S) como alternativa de aprovechamiento para producción de ladrillos cerámicos. Proyecto de Grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería. 2016. 130 p.

MORALES, Ingrid Juliana. Aprovechamiento de lodos primarios provenientes del tratamiento de aguas residuales en una industria láctea por medio de la producción de concentrados para animales del sector porcícola y ganadero vacuno. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental. 2009. 175 p.

MORGAN SAGASTUME, Juan Manuel; REVAH MOISEEV, Sergio y NOYOLA ROBLES, Adalberto. Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos. En: Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. México. [Consultado 18, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicona/R-0032.pdf>

MOZO, William y CAMARGO, Gloria. Efecto de la adición de biosólido (seco) a una pasta cerámica sobre la resistencia mecánica de ladrillos. En Revistas Ingeniería Universidad de Medellín. [Repositorio Institucional]. Medellín. Julio-diciembre. Vol. 14. No. 27. 294 p. ISSN. 1692-3324. [Consultado 16, marzo, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2371/Revista_Ingenierias_UdeM_269.pdf?sequence=2&isAllowed=y

OBSERVATORIO DE LA CADENA LÁCTEA ARGENTINA –OCLA-. El despertar de la industria láctea en América Latina. [Sitio web]. Argentina. Actualidad. [Consultado 27, octubre, 2018]. Disponible en: <http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/10990980-el-despertar-de-la-industria-lactea-en-america-latina>

OROPEZA GARCÍA, Norma. Lodos residuales: estabilización y manejo. [Caos Conciencia]. Chetumal, Quintana Roo. vol. 1. 2006. p. 51-58. [Consultado 8, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf

PALACIOS VARGAS, Diana Jazmina. Diseño de un plan de administración ambiental para la planta de procesamientos lácteos de la unidad educativa temporal agropecuario "Luis A. Martínez". Tesis Ingeniera Zootecnista. Ecuador: Escuela Superior politécnica de Chimborazo. 2015. 180 p.

PALACIOS VILLARRAGA, Ivonne Alejandra. Análisis de la demanda de lácteos en Colombia (2007-2013). Trabajo de grado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2014. 9 p.

RÁMILA, Javiera Ignacia y ROJAS, Sebastián Ignacio. Alternativas de uso y disposición de biosólidos y su impacto en las tarifas del agua. Seminario Ingeniero comercial. Santiago: Universidad de Chile. Facultad de Economía y Negocios. 2008. 166 P.

RESTREPO GALLEGO, Mauricio. Producción más Limpia en la industria alimentaria. [Producción + Limpia]. Enero-junio. vol. 1. no. 1. 2006. p. 88-101. [Consultado 5, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n1/PL_V1_N1_87_PL_INDUSTRIA_ALIMENTARIA.pdf

ROJAS REMIS, Rebeca y MENDOZA ESPINOSA, Leopoldo. Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. [Producción + Limpia]. México. Julio-diciembre. Vol. 7. No. 2. 2012. P 74-94. ISSN. 1909-0455. [Consultado 3, enero, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/267/127>

SANTAMARÍA FREIRE, Edwin; ÁLVAREZ CALVACHE, Fernando; SANTAMARÍA DÍAZ, Edwin; ZAMORA CARRILLO, Marco. Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. En: Agroindustrial Science. [Redalyc]. Ambato. Abril. 2015. [Consultado 5, noviembre, 2018].

TEJADA BENÍTEZ, Lesly Patricia, VILLABONA ORTIZ, Ángel y TEJADA TOVAR, Candelaria. Aprovechamiento de lodos de aguas residuales. En: Teknos Revista científica. [Dialnet]. Vol. 4. No. 1. 2008. P. 5-10. ISSN. 1900-7388. [Consultado 11, diciembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382655>

TREJOS VÉLEZ, Mariana y AGULEDO CARDONA, Natalia. Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “comestibles la rosa” como alternativa para la generación de biosólidos. Proyecto de Grado Administrador Ambiental. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. 2012. 104 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY -EPA-. Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction on Sewage Sludge. Documentos. [Consultado 18, septiembre, 2018]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-625-r-92-013.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Formato encuesta informal en empresa láctea.

UNIVERSIDAD: Fundación Universidad de América	ESPECIALIZACIÓN: Gestión Ambiental
ESTUDIANTE: Lady Nayibe Rincón Carreño	
MONOGRAFÍA: Aprovechamiento de los lodos de planta de tratamiento de aguas residuales en empresa láctea, municipio Cogua.	
ENCUESTA INFORMAL PARA OBTENER INFORMACIÓN DE LA EMPRESA PARA CASO DE ESTUDIO DE LA MONOGRAFÍA	
Preguntas	
1. ¿Cómo está compuesto el sistema de tratamiento de aguas residuales PTARI? Es una planta que lleva un año de funcionamiento desde su optimización. Está compuesto por un tratamiento preliminar, un primario fisicoquímico, un secundario biológico y la línea de lodos.	
2. ¿Cuál es la eficiencia de la PTAR-I? Tiene una eficiencia del 98%.	
3. ¿Qué tratamiento o disposición final hacen con los lodos residuales? Después de disponerlos en una tolva, y aproximadamente cada 20 días un gestor viene y los recogen para hacer abono orgánico; este gestor entrega el certificado como disposición final.	
4. ¿Cuál es la cantidad (volumen) de lodos generados? Aproximadamente 9,5 toneladas.	
5. ¿La empresa tiene algún tipo de certificación (ambiental)? No, por el momento se tiene el cálculo de huella hídrica, con respecto a las ISO no tenemos ninguna, pero la empresa está en ese proceso.	
6. ¿Están asociados a empresas grandes (Alpina, ¿Alquería, Colanta) o son independientes? Realmente no tengo conocimiento de eso.	
7. ¿Les interesa hacer un manejo adecuado o gestión de los lodos residuales generados? Sí, es de gran interés para la empresa ya que tiene bastantes aplicaciones, también somos conscientes de que es materia prima para otros, pero actualmente es un problema para la empresa por eso debe ser entregado a un tercero.	
8. ¿Consideran que un inadecuado manejo de lodos genera pérdidas económicas a la empresa? Sí, con los balances realizados antes de la implementación del filtro prensa se hacían 3 viajes de 9,5 ton/semana y se tenían amonestaciones frente a las autoridades ambientales. Además, es un costo adicional en la empresa ya que se pagan entre 900 mil a 1 millón por cada viaje realizado.	
9. ¿Cuál es la caracterización del efluente (salida PTARI)? En los informes esta detallado la caracterización del efluente, pero el sistema de tratamiento funciona muy bien lo que permite cumplir con la normatividad y poderla verter al alcantarillado veredal.	
10. ¿Cuál es la caracterización del lodo residual? El análisis realizado del lodo fue para descartar metales pesados, este no se hizo muy detallado.	
Diligenciado por: funcionario empresa láctea	
Elaboración propia	

Anexo B. Evidencias fotográficas de proceso y efluente final de la PTAR.



Elaboración propia

Anexo C. Soportes de los informes de caracterización agua residual y de lodo de la PTAR.



INFORME I 23707– 23708 -17



Página 1 de 11

CLIENTE:	COMPañIA LECHERA	NIT:
FECHA MUESTREO:	04 de octubre de 2017	CONTACTO:
FECHA INGRESO MUESTRA:	05 de octubre de 2017	TELEFONO:
FECHA DEL INFORME:	31 de octubre de 2017	DIRECCION: Km 7 Vía Zipaquirá - Cogua, Cundinamarca.
TIPO DE MUESTREO:	Compuesto - 24 horas	ACTIVIDAD: 1040 - Productos Lácteos
INFORME:	Original	
CÓDIGO TIPO DE MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO
23707 Agua Residual no Doméstica	Entrada PTAR	10:00 - 10:00 horas
23708 Agua Residual no Doméstica	Salida PTAR	10:00 - 10:00 horas

1. ANTECEDENTES

COMPañIA LECHERA a través de Anascol S.A.S, realizó el 04 de octubre de 2017 en la Entrada y Salida de la PTAR, un muestreo Compuesto de 24 horas con intervalos de 60 minutos para la medición en campo de pH, Temperatura, Sólidos Sedimentables y Caudal; y para la toma de muestras puntuales destinadas a la composición, con el fin de analizar en el laboratorio de Acidez, Alcalinidad Total, Cloruros, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Dureza Cálctica , Dureza Total, Fosforo Total, Grasas y Aceites, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Total, Tensoactivos, Orto-fosfatos, Sólidos Suspendidos Totales, Sulfatos y Color Real; con el propósito de verificar el cumplimiento de la Resolución 0631 de marzo 17 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

2. DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO

Se realizó un muestreo Compuesto de 24 horas en la Entrada y Salida PTAR, donde se tomaron muestras puntuales de acuerdo con el instructivo para la toma y preservación de muestras de agua residual (PT0067 - Capítulo 2) de la siguiente manera: Los envases deben estar previamente purgados por lo cual es necesario tomar una pequeña cantidad de muestra, tapar, agitar fuertemente y desechar; recolectarla en un recipiente con capacidad de 12 L o una probeta de 1 L, medir simultáneamente pH, Temperatura, Sólidos Disueltos Totales y Conductividad; tomar la muestra en el envase hasta el rebose, almacenar en la nevera con hielo para preservar a una temperatura de 6 ± 2 °C.

La muestra se compone teniendo en cuenta el caudal tomado en cada muestra puntual (es decir el volumen medido en campo/el tiempo en que se demora tomar el citado volumen). Cuando éste no presenta variación, se compone 1:1 envasando las fracciones en recipientes color ámbar. Al finalizar la jornada se colectan 6,0 L de muestra tanto para la entrada como para la salida.

Para el análisis de Sólidos Sedimentables es utilizado un cono Imhoff de 1 L, efectuando mediciones a intervalos de 1 hora durante todo el muestreo. Por último, las muestras se preservan de acuerdo al documento de toma y preservación de muestras (DT-0091), como puede apreciarse en la siguiente tabla:

Tabla 1. Preservación de las muestras.

Variables	Preservación
Aceites y Grasas	Se adiciona HCl o H ₂ SO ₄ hasta obtener un pH <2 y refrigera a $\leq 6^{\circ}\text{C}$
Fisicoquímico General: DBO ₅ , Sólidos Suspendidos Totales, Cloruros, Sulfatos, Tensoactivos, Alcalinidad, Acidez, Nitritos y Nitratos	Se refrigera a $\leq 6^{\circ}\text{C}$
Fósforo Total, Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y DQO	Se adiciona H ₂ SO ₄ hasta obtener un pH <2 y refrigera a $\leq 6^{\circ}\text{C}$
Dureza Total, Dureza Cálctica	Se adiciona HNO ₃ o H ₂ SO ₄ hasta obtener un pH <2 y refrigera a $\leq 6^{\circ}\text{C}$

CLIENTE:	COMPAÑIA LECHERA	NIT:
FECHA MUESTREO:	20 de febrero de 2018	CONTACTO:
FECHA INGRESO MUESTRA:	21 de febrero de 2018	TELEFONO:
FECHA DEL INFORME:	28 de marzo de 2018	DIRECCION: Km 7 Vía Zipaquirá - Cogua, Cundinamarca.
TIPO DE MUESTREO:	Simple	ACTIVIDAD: 1040 - Productos Lácteos
INFORME:	Original	
CÓDIGO TIPO DE MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO
24961 TCLP	Tanque caja de lodos	10:30

1. ANTECEDENTES

COMPAÑIA LECHERA a través de Anascol S.A.S, realizó el 20 de febrero de 2018 en Tanque caja de lodos, donde se tomaron muestras puntuales de acuerdo con el instructivo para la toma de muestras de Suelo (PT0067 – Capítulo 6) de la siguiente manera: Se recopila la información acerca del área, terreno o zona de disposición de residuos objeto de estudio; a través de las observaciones registradas en la orden de servicio, esta información será registrada en el FT 0029 Hoja de campo para muestreos de lodos y suelos, haciendo uso de los espacios delimitados para tal fin. Las directrices del muestreo dependen del tipo de investigación a realizar sobre el medio sujeto a estudio.

2. COMENTARIOS

Se realiza un muestreo simple en un tanque de almacenamiento de lodos en el cual en dos de las secciones del tanque se realizó toma de muestra aleatoriamente con el fin de realizar homogenización de la muestra y por el método de cuarteo sacar el volumen requerido de muestra para análisis.

El lodo proviene del tratamiento CAF, el cual es una máquina que por medio de aireación provoca material flotante, desnatado en el tanque temporizado.

El lodo cuenta con una textura pastosa, con olor a materia orgánica en descomposición, suave al tacto, coloración uniforme, se observa un 20% de líquido en el lodo aproximadamente.

3. RESULTADOS

La siguiente tabla reporta los resultados obtenidos en laboratorio mediante las Técnicas Analíticas allí descritas, que han sido acreditadas por el IDEAM a partir de la Resolución 0528 del 25 de Marzo de 2014 (Renovación y Extensión), Resolución 2107 del 25 de Agosto de 2014 (Extensión), Resolución 0875 del 11 de mayo de 2016 (Extensión), Resolución 2763 del 22 de Noviembre de 2017 (Modificación) y la Resolución 0103 del 19 de Enero de 2018 (Extensión de la Acreditación).

Tabla 1. Resultados obtenidos de los análisis obtenidos en el Laboratorio.

Variable	Método	Unidades	LCM ¹	Resultados
				24961
Arsénico	Procedimiento de lixiviación para determinar toxicidad. EPA SW846 - 1311. Revisión 0. Julio 1992 - Digestión Ácido Nítrico SM 3030 E - Espectrofotometría de Absorción Atómica - Generación de hidruros manual. SM3114B (TCLP)	mg As/L	0,0100	<0,0100
Bario	Procedimiento de lixiviación para determinar toxicidad. EPA SW 846 - 1311. Revisión 0. Julio 1992 - Digestión Ácido Nítrico SM 3030 E - Espectrofotometría de absorción atómica llama directa Óxido Nitroso - Acetileno. SM 3111 D.	mg Ba/L	0,500	<0,500
Cadmio	Procedimiento de lixiviación para determinar toxicidad. EPA SW846 - 1311. Revisión 0. Julio 1992 - Digestión Ácido Nítrico-SM 3030 E - Espectrofotometría de Absorción Atómica llama directa aire - acetileno - SM 3111B (TCLP)	mg Cd/L	0,0200	<0,0200
Cromo	Procedimiento de lixiviación para determinar toxicidad. EPA SW846 - 1311. Revisión 0. Julio 1992 - Digestión Ácido Nítrico-SM 3030 E - Espectrofotometría de Absorción Atómica llama directa aire - acetileno - SM 3111B (TCLP)	mg Cu/L	0,0200	<0,0200

Fuente: EMPRESA LÁCTEA. Informe Caja de Lodos. [Documento interno]. 2018. [Consultado 30, octubre, 2018]. Archivo en pdf.