

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA SEPARACIÓN FÍSICA DEL
MATERIAL CONTAMINANTE PROVENIENTE DE CORRALES Y
EVISCERADOS EN UNA PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL BOVINA**

ADRIANA JANETH FERREIRA BETANCOURT

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2015

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA SEPARACIÓN FÍSICA DEL
MATERIAL CONTAMINANTE PROVENIENTE DE CORRALES Y
EVISCERADOS EN UNA PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL BOVINA**

ADRIANA JANETH FERREIRA BETANCOURT

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

Director:

M.Sc. ALVARO ANDRÉS CAJIGAS CERÓN

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2015

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Octubre de 2015

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a Dios por ayudarme a superar cada obstáculo presentado durante este tiempo de preparación universitaria y a mi Madre por acompañarme y apoyarme en mi realización personal y profesional

AGRADECIMIENTOS

En busca del momento indicado para agradecer a la vida por ubicarme en el lugar y momento adecuado para la realización de este primer sueño, con que mi familia y yo visualizamos y hoy logramos.

Llena de mucha alegría y satisfacción personal por estar en esta etapa fundamental en mi vida quiero agradecer a mi hermosa familia, mi hermano Juan Sebastián Ferreira y mi mamá Janeth Betancourt Rodríguez por todo su amor y confianza en mí, por sus buenos consejos y el mejor y más claro ejemplo de vida para motivarme a seguir siempre adelante.

A mi mamá por querer siempre lo mejor para mí por esforzarse en entregarme lo poco o mucho que en sus manos estaba darme, por ser ese ejemplo de mujer luchadora y realista, por su infinito amor y buen ejemplo, por cada palabra de aliento, por cada crítica, por sus oraciones y por su esfuerzo para ayudarme a ser una profesional.

A mi novio y futuro esposo Hernando Camacho, por ser ese ejemplo de hombre intachable de grandes visiones quien fue esa guía y ese respaldo detrás de cada paso que daba no solo en lo académico sino también en lo deportivo y emocional.

Gracias también al equipo de voleibol de la UPB ya que si no fuese por este apasionante deporte no hubiese conocido a mi compañero de vida quien me demuestra que con esfuerzo y mucho amor, todo lo imposible se hace posible.

Gracias a cada una de esas personas que semestre a semestre compartieron conmigo momento realmente especiales, me llevo lo mejor y los más lindos

recuerdos de lo vivido con cada uno de ustedes, en especial a esas personas maravillosas que conocí en esa última salida técnica de agua potable.

Al profesor Uriel Mora mil gracias por la calidad Humana que tuvo conmigo, en uno de mis momentos de debilidad siempre tuvo para mí, palabras de aliento y motivación.

Por último agradezco a Dios todas las veces que me puso a prueba, entregándome nuevos retos, desafiándome a mí misma, hoy me siento inmensamente agradecida por la forma en que me enfrenté a mis miedos, la manera en que los fui superando y por todo lo que tuve que pasar para que hoy llena de orgullo reciba mi título como Ingeniera Ambiental.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
GLOSARIO	20
1. OBJETIVOS	23
1.1. OBJETIVO GENERAL:	23
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	23
2. MARCO TEÓRICO	24
2.1. ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN LAS PLANTAS DE BENEFICIO ANIMAL:	24
2.1.1 Producción más limpia.	24
2.2. COMPETITIVIDAD, PRODUCCIÓN Y CONSUMO SOSTENIBLE EN PROCESAMIENTO DE CARNE BOVINA PARA CONSUMO.	26
2.3. ESTRATEGIAS DE COMPETITIVIDAD PARA LA INDUSTRIA CÁRNICA BOVINA DEL PAÍS.	27
2.4. PROCESO DE FAENADO EN PLANTAS DE BENEFICIO ANIMAL	29
2.5 GESTIÓN AMBIENTAL INTEGRAL EN PBA	31
2.5.1. Elementos y procesos de prevención de la contaminación.	32
2.5.2. Estrategias de minimización y mitigación de los impactos ambientales causados en las PBA.,.	34
2.6. ALTERNATIVAS DE SEPARACIÓN ENFOCADAS AL APROVECHAMIENTO DE LODO, CONTENIDO RUMINAL Y DEL ESTIÉRCOL GENERADO EN LA PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL.	34
2.6.1. Aprovechamiento del contenido ruminal.	36
2.6.2. Aprovechamiento del estiércol.	37

2.6.3. Aprovechamiento del lodo..	37
2.7. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y NUTRIMENTOS DE APROVECHAMIENTO DEL ESTIERCOL Y CONTENIDO RUMINAL COMO VERMICOMPOST:	38
2.7.1. Biodegradación del contenido ruminal.	38
2.7.2. Vermicompost	39
2.7.3. Vermicompost Líquido	39
2.8. SISTEMAS DE SEPARACIÓN, PARA EL TRATAMIENTO DE MATERIAL RUMINAL Y ESTIÉRCOL POR MEDIO DE LA INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.	40
2.8.1. Mecánico Por gravedad	42
2.8.2. Mecánica por presión	44
2.9. SISTEMA DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES.	46
2.9.1. Esquema del proceso de línea de lodos.	46
2.9.2. Secado de fango solar (Green House).	48
3. MARCO LEGAL	52
4. METODOLOGÍA	57
4.1 FASE 1. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE EVISCERADOS BAJO LA ÓPTICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.	57
4.1.1. Diagramas de flujo de masas del proceso de vísceras	58
4.1.2. Determinación de la masa producida de contaminantes.	59
4.1.3. Estudio de masas y tiempos para el agua empleada en eviscerado.	59
4.1.4. Selección de alternativas de reducción en la fuente.	59
4.2. FASE 2. EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE SEPARACIÓN FÍSICA PARA EL CONTENIDO RUMINAL Y ESTIÉRCOL EN MEDIO ACUOSO.	60
4.2.1. Estudio de la sedimentabilidad y flotación como técnica de separación.	60
4.2.2. Estudio de tamizados como técnica de separación.	62

4.2.3. Estudio de flotabilidad por aire difuso como técnica de separación.	63
4.3 FASE 3. DISEÑO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL SISTEMA DE SEPARACIÓN FÍSICO DEL CONTENIDO RUMINAL Y ESTIÉRCOL.	63
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS	64
5.1. FASE 1. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE EVISCERADOS BAJO LA ÓPTICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.	64
5.1.1. Diagramas de flujo de masas del proceso de vísceras.	65
5.1.2. Determinación de la masa producida de contaminantes.	66
5.1.2.1. Prueba de Sólidos totales	66
5.1.2.2. Cálculo de la masa recogida en el proceso de eviscerado.	66
5.1.2.3. Balance de masas y balance hídrico.	67
5.1.3. Estudio de masas y tiempos para el agua empleada en eviscerado	72
5.1.3.1 Estudio de tiempos.	73
5.1.4. Selección de alternativas de reducción en la fuente..	77
5.1.4.1. PROGRAMA 1.	78
5.1.4.2. PROGRAMA 2:	85
5.4.3. PROGRAMA 3.	90
5.4.3.1. Programa 3.	93
5.2. FASE 2. EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE SEPARACIÓN FÍSICA PARA EL CONTENIDO RUMINAL Y ESTIÉRCOL EN MEDIO ACUOSO.	98
5.2.1. Estudio de la sedimentabilidad y flotación como técnica de separación:	98
5.2.1.1. Sólidos sedimentables (método del cono imhoff).	98
5.2.2. Estudio de tamizados como técnica de separación:.	101
5.2.3. Estudio de flotabilidad por aire difuso como técnica de separación	104
5.3 FASE 3. DISEÑO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL SISTEMA DE SEPARACIÓN FÍSICO DEL CONTENIDO RUMINAL Y CORRALES.	105
5.3.1. Alternativas Para Corrales.	105
5.3.2. Alternativas Para Mejorar El Sistema De Separación Físico Actual Con Que Funciona La Ptar.	106

5.3.2.1. Alternativa sin reducción en la fuente.	106
6. CONCLUSIONES	115
7. RECOMENDACIONES	¡Error! Marcador no definido.
BIBLIOGRAFIA	117
ANEXOS	121

LISTA DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
Tabla 1. Producto final listo para ser comercializado.....	37
Tabla 2. Análisis bromatológico del contenido ruminal.	39
Tabla 3. Clasificación de sistemas de separación sólido-líquido.	40
Tabla 4. Eficiencia según tipo de separador.	45
Tabla 5. Ejemplo porcentajes de rendimiento para una prensa tornillo.	45
Tabla 6. Competencias cadena alimentaria de carne.	52
Tabla 7. Leyes, Decretos y Resoluciones vigentes aplicables al manejo de plantas de beneficio Bovino.....	53
Tabla 8. Expedición Normatividad: Sistema de IVC de Carnes.	54
Tabla 9. Normatividad asociada a componentes ambientales.	54
Tabla 10. Cuantificación de la reducción de agua en la recolección del rumen en seco.	70
Tabla 11. Cuantificación de reducción del consumo de agua con la implementación de una Hidrolavadora.....	71
Tabla 12. Cuantificación de reducción del consumo de agua con la unificación de boquillas.....	72
Tabla 13. Estudio de tiempos.....	73
Tabla 14. Ruta optima de trabajo.....	74
Tabla 15. Cronograma de aprovechamiento de rumen.....	80
Tabla 16. Presupuesto aprovechamiento de rumen sin tecnología.	81
Tabla 17. Presupuesto aprovechamiento de rumen con tecnología.	81
Tabla 18. Presupuesto de Ingresos de aprovechamiento de rumen como harina ruminal.....	82
Tabla 19. Presupuesto de ingresos de preparación de materia prima para vermicompost.....	82
Tabla 20. Cronograma para la educación ambiental.	88
Tabla 21. Presupuesto de Educación ambiental.....	89
Tabla 22. Cronograma dispositivos ahorradores de agua y adecuación de boquillas.....	92
Tabla 23. Presupuesto para dispositivos ahorradores de agua y boquillas.	92
Tabla 24. Cronograma para la instalación de macromedidores.....	94
Tabla 25. Presupuesto para la instalación de macromedidores.	95
Tabla 26. Presupuesto de ejecución de los proyectos.....	95
Tabla 27. Características de los tamices.	101
Tabla 28. Diseño del tanque de almacenamiento.....	112

Tabla 29. Presupuesto de alternativa con aumento del tiempo de funcionamiento de la PTAR.....114

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Cuarto de vísceras blancas.....	64
Gráfica 2. Ubicación espacial del tornillo sinfín.....	84
Gráfica 3. Ruta de transporte del rumen en seco.	85
Gráfica 4. Comportamiento de los sólidos sedimentables durante el tiempo de beneficio.	99
Gráfica 5. Comportamiento de los sólidos sedimentables durante el tiempo de limpieza y desinfección.	100
Gráfica 6. Comportamiento de las partículas tamizadas.....	102
Gráfica 7. Curva Granulométrica del contenido ruminal.	103
Gráfica 8. Patrones de comparación de uniformidad y continuidad de una curva granulométrica.	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Acciones generales para cumplir con el objetivo de la P+L.....	25
Figura 2. Relación directa encaminada a alternativas de P+L.....	27
Figura 3. Estrategias de competitividad adoptadas por las Plantas de beneficio bovino.	28
Figura 4. Jerarquía de la gestión ambiental.....	31
Figura 5. Entradas y salidas del sistema del proceso productivo.....	32
Figura 6. Procesos productivos de minimización en PBA.....	33
Figura 7. Tamiz estático.....	42
Figura 8. Tamiz rotativo.	43
Figura 9. Tamiz vibratorio.	43
Figura 10. Prensa de tornillo.....	44
Figura 11. Proceso de tratamiento de lodos.	47
Figura 12. Vista exterior principales componentes de recepción y almacenamiento final.	48
Figura 13. Sistema de secado de biosólido.	49
Figura 14. Tanque de recepción y pulmón equipado con suelo deslizante para la alimentación de la planta.	50
Figura 15. Volteadores interiores.....	51
Figura 16. Montaje para determinación de sólidos en sedimentables.	61
Figura 17. Determinación de sólidos sedimentables.....	62
Figura 18. Entradas y salidas del proceso de vísceras blancas.	65
Figura 19. Sistema digestivo de los rumiantes.	67
Figura 20. Balance de masas e hídrico para el sacrificio promedio de bovinos....	69
Figura 21. Ruta de desplazamiento de intestinos.	75
Figura 22. Ruta de desplazamiento de panzas.....	76
Figura 23. Mesones donde se descarga el contenido ruminal.....	78
Figura 24. Método del cono imhoff.....	99
Figura 25. Esquema de separación mecánica.....	106
Figura 26. Tratamiento sin reducción en la fuente.....	108
Figura 27. Tratamiento con reducción en la fuente para la salida del proceso. ...	110
Figura 28. Tratamiento con reducción en la fuente implementado tecnología.	111
Figura 29. Diseño de la alternativa con aumento del tiempo de funcionamiento de la PTAR.	113

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro de la toma de muestras en la PTAR de la planta de beneficio animal	121
Anexo B. Pruebas de laboratorio Sólidos totales.	122
Anexo C. Registro De Equipos Propuestos Enfocados a la Minimización de Residuos Contaminantes E Insumos	122
Anexo D Registro del consumo de agua en el cuarto de eviscerado.	124
Anexo E. Muestreo del volumen de solidos sedimentables en el tubo de conducción de eviscerado a la PTAR	126
Anexo F. Prueba de tamizado.....	128
Anexo G. Diseño de alternativa de separación físico de los contaminantes que llegan a la PTAR	134

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA SEPARACIÓN FÍSICA DEL MATERIAL CONTAMINANTE PROVENIENTE DE CORRALES Y EVISCERADOS EN UNA PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL BOVINA

AUTOR(ES): ADRIANA JANETH FERREIRA BETANCOURT

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): M.Sc. ALVARO ANDRÉS CAJIGAS CERÓN

RESUMEN

Este estudio evaluó las diferentes operaciones que se realizan en la planta de beneficio animal referente a los proceso de eviscerado, generación del contenido ruminal y estiércol principalmente, enfocados en la separación en la fuente, minimización y prevención de los residuos generados y que son tratados en la PTAR. En el proyecto se evaluó la dinámica de producción del contenido ruminal y consumo de agua durante el faenado de ganado bovino diario, mensual y anual. Con balances de masa, estudio de tiempos, cálculo de la concentración de sólidos totales y el diagnóstico ambiental con que trabaja actualmente el cuarto de evisceración fueron planteados tres programas como estrategias de producción más limpia (P+L) para optimizar procesos y prevenir la contaminación aumentando así la competitividad, producción y consumo sostenible de las PBA; escogiendo las opciones más viables que satisfacen las necesidades actuales del frigorífico, implementando tecnologías como los separadores sólido-líquido donde dicho proceso físico de tratamiento permite mejorar su manejo, con la posibilidad de reducir la materia orgánica en la fracción líquida, concentrando los nutrientes en la fracción sólida, facilitando el manejo y posterior aprovechamiento tanto del rumen como del estiércol. Finalmente se plantearon tres esquemas para la separación física del material contaminante que llega a la PTAR como lo es el tratamiento sin reducción en la fuente, con reducción en la fuente para la salida del proceso y con reducción en la fuente implementando tecnología. Se propuso ampliar el diseño actual del tanque estercolero donde llegan los residuos líquidos por tuberías separadas (aguas de rumen, sangría y estiércol) para que actúe como tanque de almacenamiento brindando el volumen necesario para almacenar el agua que actualmente es vertido directamente al río; lo anterior permitirá minimizar costos por la evacuación del agua residual que se realiza mediante equipo vector.

PALABRAS CLAVES:

P+L, PBA, PTAR, Contenido ruminal, eviscerado, reducción en la fuente.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: STUDY ALTERNATIVES FOR PHYSICAL SEPARATION OF MATERIAL FROM CONTAMINATION IN CORRALES AND GUTTED BENEFIT PLANT ANIMAL CATTLE.

AUTHOR(S): ADRIANA JANETH FERREIRA BETANCOURT

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: M.Sc. ALVARO ANDRÉS CAJIGAS CERÓN

ABSTRACT

This study evaluated the different operations carried out on the ground animal benefit relating to evisceration process, generation of rumen contents and manure mainly focused on the separation at source, minimization and prevention of waste and are treated in PTAR. In the project the dynamics of ruminal content production and water consumption was assessed during preparation of cattle daily, monthly and yearly. With mass balances, time study, calculating the concentration of total solids and the environmental assessment currently working with the fourth evisceration were raised three programs as strategies for cleaner production (P+L) to optimize processes and prevent pollution thus increasing competitiveness, sustainable production and consumption of PBA; choosing the most viable options that meet the current needs of the refrigerator, implementing technologies such as solid-liquid separator wherein said physical treatment process improves handling, with the possibility of reducing the organic matter in the liquid fraction, concentrating nutrients in the solid fraction, facilitating handling and subsequent use of both the rumen as manure. Finally, three schemes for physical separation of contaminating material that reaches the PTAR as is the treatment without reduction at source, with source reduction for the process output and implementing source reduction technology were raised. It was proposed to extend the current design of the dunghill tank where liquid waste by separate pipes (water rumen, sangria and manure) come to act as storage tank to provide the volume needed to store water that is currently dumped directly into the river; the above will minimize costs by evacuation of wastewater is performed by Vactor equipment

KEYWORDS:

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental que se está generando en todos los municipios de Colombia por la práctica inadecuada del sacrificio de diferentes animales como; aves, porcinos, bovinos, peces, ovino entre otros, ha permitido ampliar los estudios en ciertos campos como el que se presenta en este proyecto.

En las últimas décadas la comunidad y los mercados vienen exigiendo que se establezcan prácticas y procesos que protejan los recursos naturales junto con el medio ambiente para que se preserven los recursos de agua, suelo, flora, fauna y aire, que aseguren una oferta de bienes de consumo limpios para las presentes y futuras generaciones.

Para la protección de los recursos naturales es necesario tratar de una manera adecuada y eficiente las aguas residuales de este tipo de industrias con alto contenido orgánico. Debido a la composición y origen de los contaminantes que generan un efluente que contiene proteínas, compuestos lignocelulósicos, grasas en forma soluble y sólidos en suspensión se convierte en un tratamiento muy complejo y difícil de controlar, pese a que su producto final el cual presenta una importante cantidad de estos sólidos son un problema debido a su lenta biodegradación.⁴

Este documento presenta los resultados de la investigación realizada sobre la problemática actual ya descrita de una planta de beneficio bovino de la Región, para lo cual se desarrolló un estudio de alternativas para la separación física del material contaminante proveniente de corrales y eviscerados. Conocer así los impactos esperados de implementar dichas alternativas, sus costos y evidenciando el aumento en la calidad y competitividad de los procesos de la

planta bajo un enfoque de gestión ambiental integral otorgando gran importancia a los aspectos de prevención de la contaminación.

La identificación y la solución a uno de los principales problemas del tratamiento instalado en esta planta para las agua residuales como lo es la generación de lodos en gran volumen y la acción realizada sobre la carga contaminante es la separación física complementada con una serie de procedimientos de buenas prácticas de producción más limpia (P+L) y separación en la fuente desde que son generados estos residuos líquidos.

Por último para responder a la necesidad de hacer sostenible la actividad, se debe incentivar la conservación de los recursos naturales, mejorando así la calidad de vida de las comunidades y consumidores; elevando los niveles de comprensión ante los procesos que impliquen nuevas tecnologías limpias.⁴

GLOSARIO

- **Área de faenado:** Es el sitio donde se realizan las operaciones posteriores a la sangría hasta la obtención de la canal.
- **Área de oreo:** Es el sitio donde se realiza el proceso de descenso de temperatura e inicio de maduración de la canal.
- **Área de sacrificio:** Es el sitio donde se realizan los procesos de insensibilización hasta la sangría.
- **Beneficio:** Son todas aquellas actividades de sacrificio y faenado de animales de abasto público.
- **Canal:** Es el cuerpo de la res al cual se le ha retirado, durante su beneficio, la piel, las manos, las patas y las vísceras. Luego de realizados todos los procesos para beneficiar técnica e higiénicamente a la res, la canal se divide en dos partes iguales, llamadas medias canales, cortando longitudinalmente, con una sierra, la columna vertebral desde la cadera hasta el cuello.
- **Colmatación:** Es la acumulación de sedimentos en un río o suelo.
- **Compostaje:** Proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura.

- **DBO:** Indicador de la contaminación por materia orgánica fácilmente biodegradable. Se mide como el requerimiento de oxígeno, en mg/l, que presentan los microorganismos que se hallan en el agua para oxidar aproximadamente el 70% de dicha materia orgánica carbonácea degradable en un período de 5 días, a una temperatura de 20 ± 1 °C.
- **DQO:** Indicador de contaminación de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable originada por los vertimientos industriales y poblacionales. Este material sólo es oxidable mediante una digestión fuerte en condiciones altas de temperatura
- **Lignocelulosa:** La lignocelulosa (constituida por celulosa, hemicelulosas y lignina) es el componente principal de la biomasa terrestre, y por ser un producto renovable es una fuente inagotable de energía y materias primas.
- **Oreo:** Las medias canales se disponen a un soplo ligero de aire o ventilación en el área para tal fin, donde permanecerá antes de ser cuarteadas y trasportadas a los puntos de venta.
- **Producción más limpia (P+L):** Es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, a los productos y a los servicios para aumentar la eficiencia total y reducir los riesgos a los seres humanos y al ambiente. La Producción Más Limpia se puede aplicar a los procesos usados en cualquier industria, a los productos mismos y a los distintos servicios que proporciona la sociedad.
- **PBA:** Planta de beneficio animal
- **PTAP:** Planta de tratamiento de agua potable.

- **PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Rumen:** Es la panza del animal.

- **Tamiz:** Elemento utilizado para separar partes finas de las gruesas y está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.

- **Vermicompostaje:** Es un proceso que utiliza a una especie domestica de lombriz como una herramienta de trabajo¹⁷

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL:

Determinar alternativas para la separación física del material contaminante proveniente de corrales y eviscerados en una planta de beneficio animal bovina.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Evaluar las operaciones del proceso de eviscerados bajo el concepto de producción más limpia como alternativa de reducción.
- Evaluar las principales técnicas de separación física de acuerdo al comportamiento del contenido ruminal y estiércol en medio acuoso para el material no separado en proceso.
- Diseñar la combinación de tecnologías necesarias para la separación física de la contaminación producida en corrales y eviscerados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN LAS PLANTAS DE BENEFICIO ANIMAL:

2.1.1 Producción más limpia (P+L). Según United Nations Environment - UNEP (2001), se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos para reducir los riesgos relevantes a los seres humanos y al medio ambiente. Entonces, este concepto implica “mejorar los procesos productivos continuamente”.¹

La P+L es conocida también como una estrategia de gestión empresarial preventiva aplicada a productos, procesos y organización del trabajo, cuyo objetivo es minimizar emisiones y/o descargas en la fuente, reduciendo riesgos para la salud humana y ambiental y elevando simultáneamente la competitividad. Para ello se proponen cinco acciones (ver figura 1.), las cuales a su vez pueden tener una participación individual o colectiva en los diferentes procesos que se llevan a cabo en las plantas de beneficio bovino del país:²

¹ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Viceministerio de ambiente. Política nacional de producción y consumo. Pág. 29, 30, 35,41, 2010.

² ARROYAVE, Joan y GARCÉS, Luis. Tecnologías ambientalmente sostenibles. Febrero, 2007.[en línea] [citado agosto 24 de 2015] Disponible en http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n2/pl_v1n2_7886_tecnolog%C3%ADas.pdf >

Figura 1. Acciones generales para cumplir con el objetivo de la P+L

-  1. La minimización y el consumo eficiente de insumos, agua y energía
-  2. La minimización del uso de insumos tóxicos
-  3. La minimización del volumen y toxicidad de todas las emisiones que genere el proceso productivo
-  4. El reciclaje de la máxima proporción de residuos en la planta o proceso productivo y, si no, fuera de ella o él.
-  5. La reducción del impacto ambiental de los productos en su ciclo de vida, desde la planta hasta su disposición final

Fuente: ARROYAVE, Joan y GARCÉS, Luis. Tecnologías ambientalmente sostenibles. Febrero, 2007.[en línea] [citado agosto 24 de 2015] Disponible en http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n2/pl_v1n2_7886_tecnolog%C3%ADas.pdf >

La búsqueda de mejoría de la calidad ambiental para las plantas de beneficio animal requiere una producción y consumo inteligente; reflexionar sobre los diseños, usos de los productos y servicios bajo un enfoque integral (ciclo de vida). Es decir “repensar” las formas tradicionales sobre productos y subproductos, sus funciones, mercados y los impactos ambientales que ocurren a lo largo de sus ciclos de vida.¹

Actualmente el gobierno Nacional adopta la iniciativa de creación de la Política de Producción y Consumo Sostenible, orientada a cambiar los patrones insostenibles

de producción y consumo por parte de los diferentes actores de la sociedad nacional, lo que contribuirá a reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad ambiental de los bienes y servicios estimulando el uso sostenible de la biodiversidad, como fuentes de la competitividad empresarial y de la calidad de vida.¹

2.2. COMPETITIVIDAD, PRODUCCIÓN Y CONSUMO SOSTENIBLE EN PROCESAMIENTO DE CARNE BOVINA PARA CONSUMO.

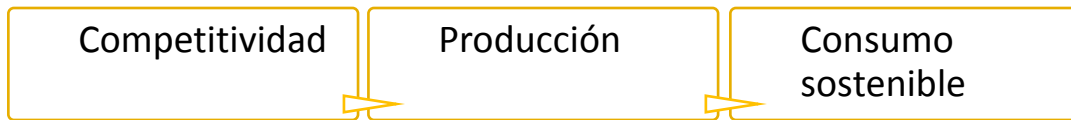
En el comercio de carne bovina prevalecen hoy en día los criterios subjetivos de calidad que imponen los comerciantes claramente opuestos a los criterios sanitarios, ambientales y organolépticos exigidos por los estándares internacionales para proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de las poblaciones.³

Si bien en el país existen normas para el aseguramiento de la calidad sanitaria y ambiental (ley 09/79 y ley 99/93) los estudios más recientes realizados por el INVIMA, las Corporaciones Regionales, Fedefondos y Serteagro indican no solo serias carencias de los procesos de sacrificio y faenado sino la ausencia de programas educativos y estrategias de mejoramiento de la calidad de los procesos, que apunten a lograr mayor eficiencia y competitividad (ver figura 2) sanitaria del producto y reducción de los daños ambientales que generan las tecnologías actuales.⁴

³ MINISTERIO DE AMBIENTE DE ESPAÑA. Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector matadero y transformados de pollo y gallina. Capítulo 2. Pág. 47 Capítulo 4. Pág., 82, 2006.

⁴ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) Guía ambiental para las plantas de beneficio del ganado, Fedefondos Bogotá, Colombia. 7 de Octubre de 2002.

Figura 2. Relación directa encaminada a alternativas de P+L

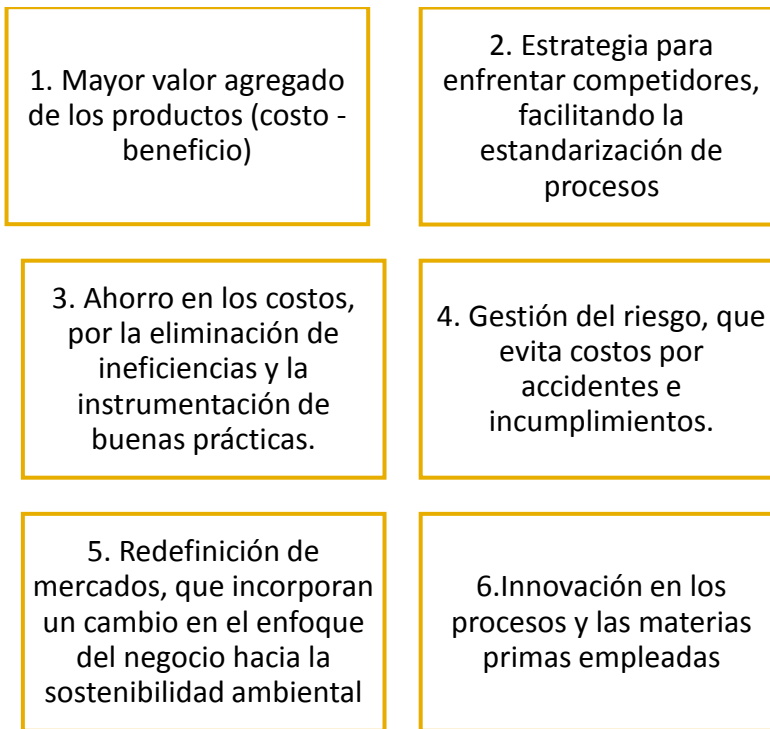


Fuente: MINAMBIENTE. 2010.

2.3. ESTRATEGIAS DE COMPETITIVIDAD PARA LA INDUSTRIA CÁRNICA BOVINA DEL PAIS.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, creó para las empresas, políticas que pueden adoptar ya sea de carácter preventivo, o alternativas que innoven en sus procesos productivos, obteniendo así beneficios económicos y ambientales a través de los mismos. Estos beneficios muy seguramente generarán ventajas competitivas para los PBA en el país en lo referente a la industria cárnica (Ver figura 3), y que muy seguramente serán reconocidas por sus clientes.

Figura 3. Estrategias de competitividad adoptadas por las Plantas de beneficio bovino.



Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Viceministerio de ambiente. Política nacional de producción y consumo. Pág. 29, 30, 35,41, 2010.

El proceso de modernización de la industria ganadera ha comprometido a instituciones públicas, gremios y consumidores por igual. La preocupación mundial y el grado de sensibilización alcanzado por la comunidad nacional en el desarrollo de la política ambiental que permita proteger los recursos naturales, impulsar proyectos de producción más limpia, garantizar la provisión de alimentos seguros a la población presente y la sostenibilidad de la oferta ambiental y alimentaria para las generaciones futuras ha sido el enfoque de estas empresas alcanzando un alto grado de competitividad en el mercado.

2.4. PROCESO DE FAENADO EN PLANTAS DE BENEFICIO ANIMAL

En las PBA se realizan operaciones necesarias para la obtención de la carne de canal como producto primario y productos secundarios como las vísceras blancas y rojas, cabezas, pezuñas y pieles. Aquí deben garantizarse condiciones técnicas, higiénicas y sanitarias que permitan la obtención de la carne sana, nutritiva, económica y que no genere conductas agresivas al medio ambiente.⁵

La distribución de una planta de beneficio animal está comprendida en cinco zonas clasificadas de la siguiente manera:

1. **Zona de mercadeo de ganado:** Comprende las áreas de desembarco, los corrales de alejamiento de ganado y el pasillo de conducción hacia la zona de sacrificio.

2. **Zona de sacrificio:** Se divide higiénicamente en tres partes:

- Área sucia: Es el lugar de la sala de sacrificio donde se lleva a cabo la insensibilización y sangría de los animales.
- Área intermedia: Aquí se practica la evisceración, separación de las cavidades pelviana, abdominal y torácica del animal, los órganos genitales, las vísceras blancas y rojas.
- Área limpia: Espacio de la zona de sacrificio donde se realizan las operaciones posteriores al eviscerado (división de canal, inspección post mortem, lavado y oreo), hasta las salidas de las carnes de dicha zona.

⁵ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR). Guía ambiental para mataderos-mataderos modernizados: salud, economía y ambiente garantizado. Pág. 7, 8,21, 2003.

3. Zona de la canal: Comprende desde el corte de la canal hasta la salida del frigorífico. Allí se realiza la división de la canal, ésta se parte en dos por el centro de la columna vertebral para obtener dos medias canales, luego se puede partir por la quinta costilla, obteniendo cuartos de canal.

4. Zona de subproductos: Zona en la cual se trabajan vísceras rojas y blancas, las pieles cabezas y patas, preparándolos para venta. Aquí cada subproducto debe manejarse por separado, para evitar contaminación y posibles daños de uno y otros.

5. Zona de comercialización: Aquí se entrega la carne ya lista para el transporte y distribución a los puntos de venta.⁵

El presente proyecto se llevará a cabo en el proceso productivo de una industria cárnica destacada en el departamento de Santander por tener la infraestructura más moderna de todo el país para el sacrificio de bovinos provenientes del oriente Colombiano.

El sistema de sacrificio es inspeccionado continuamente por funcionarios del INVIMA quienes verifican el cumplimiento de la reglamentación exigida, certificando y avalando los requisitos sanitarios y de inocuidad que se exigen en el marco del decreto 1500 de 2007.

La empresa en estudio, avanza en el proceso de certificación del sistema de análisis de peligro y puntos críticos de control (HACCP) adoptado por el Codex alimentarius CCA (para la protección de la salud de los consumidores, fue subrayada por la Resolución 39/248 de 1985 de las Naciones Unidas⁶) el cual permite la identificación de peligros específicos para la comercialización del

⁶ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU), Codex alimentarius, 1954. [en línea] [citado 18 de agosto de 2015]. Disponible en <<<http://www.codexalimentarius.org/>>>

producto y medidas para su control, garantizando el ingreso de las carnes a mercados internacionales.

2.5 GESTIÓN AMBIENTAL INTEGRAL EN PBA

La jerarquía de la gestión ambiental de la mano con la P+L invierte o reorienta los procesos del beneficio bovino anteriormente mencionados de la siguiente manera (ver figura 4.)

Figura 4. Jerarquía de la gestión ambiental.



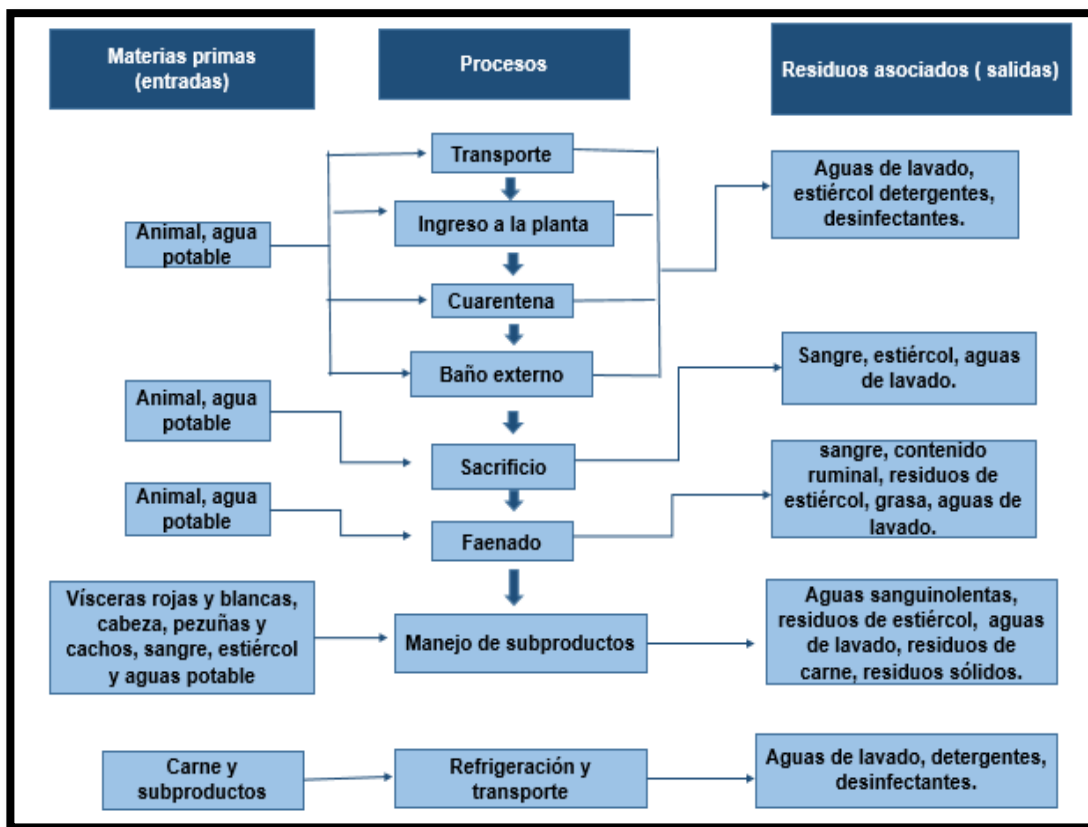
Fuente: MINAMBIENTE.2005.⁷

Este proyecto busca evaluar las diferentes operaciones que se realizan en la planta de beneficio animal referente a los procesos de eviscerado, generación de contenido ruminal y de estiércol principalmente, enfocados en la separación en la fuente, minimización y prevención de los residuos generados y que son tratados en la PTAR.

⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política ambiental para la gestión integral de residuos sólidos y peligrosos capítulo 1,3 y 4. Diciembre de 2005.

Para lograr que estas iniciativas tengan éxito es fundamental conocer la dinámica del proceso identificando las entradas y salidas (Figura 5.), contribuyendo así con la identificación de los puntos críticos, a fin de optimizar los tiempos de producción, mejorando la competitividad de la empresa y el fortalecimiento en mejores prácticas, enfocadas en sistemas integrados de gestión.

Figura 5. Entradas y salidas del sistema del proceso productivo



Fuente: Modificado de (CORPOCHIVOR) 2003.⁸

2.5.1. Elementos y procesos de prevención de la contaminación. Los procesos productivos que contribuyen a la prevención y minimización de residuos líquidos y sólidos contaminantes en la PBA se presentan en la figura 6.

⁸ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (ONU), Codex alimentarius, 1954. [en línea] [disponible en: Disponible en <<<http://www.codexalimentarius.org/>>>

Figura 6. Procesos productivos de minimización en PBA



Fuente: CDMB. 2002.⁹ - Ministerio de ambiente España .2006.¹⁰

⁹ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) Guía ambiental para las plantas de beneficio del ganado, Fedefondos Bogotá, Colombia. 7 de Octubre de 2002.

¹⁰ MINISTERIO DE AMBIENTE DE ESPAÑA. Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector matadero y transformados de pollo y gallina. Capítulo 2. Pág. 47 Capítulo 4. Pág., 82, 2006.

2.5.2. Estrategias de minimización y mitigación de los impactos ambientales causados en las PBA. El impacto ambiental que se genera por esta actividad industrial puede verse disminuida al controlar cada una de las etapas del proceso donde el agua es indispensable ya sea como bebida para los animales, la limpieza y manejo de las deyecciones bovinas entre otras, adoptando medidas como las nombradas anteriormente en la figura 6; enfocados a la implementación de diferentes programas ambientales entre esos el uso racional del agua que se suma a los residuos líquidos generados como lo son sangre, residuos de estiércol, material ruminal, grasa, entre otros, transformándose así en un efluente con un volumen exagerado y alta carga orgánica que aumenta costos de tratamiento y transporte para su disposición final ya que menos del 1% de las PBA tratan sus aguas.

En los países en desarrollo se estima la utilización de 1700 litros de agua por res procesada¹¹. En Colombia la norma¹² actual estima el gasto de agua a 500 litros por res durante todo el proceso.

La cantidad de agua residual proveniente de los mataderos, sólo puede ser reducida mediante sistemas de recirculación o reutilización de aguas de refrigeración, mientras en el procesamiento de carnes se logra reducir las cantidades de agua de limpieza, excepto cuando se tiene la separación y recuperación de grasas donde el agua es absolutamente necesaria.

2.6. ALTERNATIVAS DE SEPARACIÓN ENFOCADAS AL APROVECHAMIENTO DE LODO, CONTENIDO RUMINAL Y DEL ESTIÉRCOL GENERADO EN LA PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL.

¹¹ (Veall 1993).

¹² MINSALUD 2013.

El contenido ruminal es uno de los contaminantes con mayor impacto ambiental ya que produce una alta carga orgánica en los efluentes de los rastros que por su forma de depósito llegan a fosas sépticas, rellenos sanitarios y aguas residuales fomentando la contaminación, sin embargo, el contenido ruminal en lugar de ser visto como un contaminante, es una fuente valiosa de nutrimentos¹³.

En una planta de beneficio animal el rumen y el estiércol son consideradas hoy en día como otra fuente de materia prima de ingresos adicionales para estas industrias; no obstante conociendo los beneficios de poner en práctica diferentes alternativas ya estudiadas con resultados eficientes, no se aplican; debido a que algunos de estos métodos involucran grandes inversiones o requieren una considerable parte del terreno de sus instalaciones así que optan por vender su materia prima para que otras empresas lo aprovechen, por ejemplo la incorporación de este material procesado a las dietas de animales¹⁴, también como abonos verdes priorizando emprendimiento hacia negocios verdes apoyados por acciones instrumentales que orientan el desarrollo de esta estrategia como lo son¹⁵.

- La creación y articulación de fondos de inversión de capital semilla para negocios con alto potencial de éxito.
- El desarrollo de una plataforma de información pública sobre emprendimientos sostenibles (criterios, programas, portafolios, inversión y ventas).
- La articulación de concursos de planes de negocios enfocados hacia el emprendimiento de negocios verdes.¹¹

¹³ UICAB-BRITO, L.A. y SANDOVAL, C.A. Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta: Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México Pág.45 2003.

¹⁴ LLEIDA. Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Diciembre de 2004.

¹⁵ ARROYAVE, Joan y GARCÉS, Luis. Tecnologías ambientalmente sostenibles. Febrero de 2007. Disponible en: http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n2/pl_v1n2_7886_tecnolog%C3%ADas.pdf

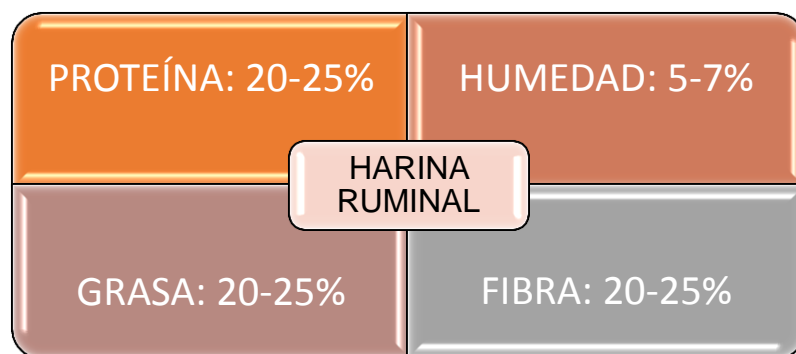
Todas las partes del animal sacrificado para consumo, fuera de la carne, se denominan subproductos, los cuales son potencialmente útiles, susceptibles de ser alimento fresco o transformado en productos aprovechables, la sangre, los cachos y pezuñas, los huesos, pieles, residuos de carne, de grasas y estiércol son utilizados para la fabricación zapatos, bolsos, decoraciones etc., reduciendo así la cantidad de residuos que llegan a su posterior tratamiento o disposición final. Este proyecto se enfoca específicamente en el aprovechamiento del estiércol y del contenido ruminal descrito de la siguiente manera:

2.6.1. Aprovechamiento del contenido ruminal. Ha sido utilizado en forma directa en la alimentación animal, en abonamientos y en la lombricultura. Es rico en proteínas minerales y vitaminas que lo hacen aprovechable. La humedad original está en el orden del 87%. Su aprovechamiento consta de cinco etapas:

- a) **Recolección:** se recolecta en salas de procesamiento de vísceras blancas en recipientes adecuados.
- b) **Transporte:** se puede realizar el movimiento de este subproducto por medios neumáticos, carretillas, volquetas etc. Es recomendable efectuar una deshidratación previa por decantación en el mismo sitio de la recolección.
- c) **Secado:** se deja secar al sol, en un lugar cercano al frigorífico. Se recomienda añadir cal agrícola para evitar los malos olores y la proliferación de insectos, esparcirlo en capas delgadas para aligerar su secamiento.
- d) **Procesamiento:** puede ser procesado siguiendo un método semi-industrial, con las siguientes etapas: prensado, secamiento por aire caliente, triturado, tamizado y empaquetado.

e) Harina ruminal: puede utilizarse como materia prima en la fabricación de concentrado para animales, especialmente en ganaderías productoras de leche, avicultura y cunicultura. Para la obtención de esta harina se realizan deshidrataciones previas, adición de hueso, tiempo de cocimiento, molienda y tamizado. Al final se logra un producto cuyo análisis se ve reflejado en la tabla 1. que arroja en promedio los siguientes resultados:

Tabla 1. Producto final listo para ser comercializado.



Fuente: Autora.

Después de tamizado, se obtiene el heno que es otro subproducto empleado como abono.

2.6.2. Aprovechamiento del estiércol. Los frigoríficos hoy en día cuentan con variedad de alternativas para manejar este subproducto para convertirlo en una fuente de ingresos y de complementariedad a las actividades agropecuarias de la región. Deben ser almacenados en sitios especiales y conducidos a procesos de compostaje o vermicompostaje y fertilizantes orgánicos.

2.6.3. Aprovechamiento del lodo. Los lodos podrán evacuarse por los desagües, la nata y el lodo no podrán utilizarse inmediatamente como abono, ya que deben ser sometidos a un proceso de compostación mezclándolos con grama, viruta de

madera u otro material vegetal. Este material debe destinarse a abonar pastos o cultivos que no sean de consumo directo por los humanos⁵.

2.7. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y NUTRIMENTOS DE APROVECHAMIENTO DEL ESTIERCOL Y CONTENIDO RUMINAL COMO VERMICOMPOST:

El vermicomposteo de estiércoles y otros materiales orgánicos transforma los desperdicios orgánicos en productos útiles, pero con una variabilidad muy grande en cuanto a su contenido de nutrimentos para el crecimiento de las plantas, materia orgánica, sustancias inhibidoras del crecimiento y patógenos para plantas y humanos. Por ello es importante realizar bioensayos con plantas junto con los análisis químicos, físicos y microbiológicos para determinar la madurez y la eficacia del vermicompost.¹⁶

2.7.1. Biodegradación del contenido ruminal. Se caracteriza desde el punto de vista nutricional y microbiológico (ver tabla 2.), para conocer su potencial uso en la agricultura y posteriormente se valoran sus características como un fertilizante orgánico en formas sólidas y líquidas.

Es una mezcla de material no digerido que tiene la consistencia de una papilla, con un color amarillo verdoso y un olor característico muy intenso cuando está fresco, además posee gran cantidad de flora y fauna microbiana y productos de la fermentación ruminal.¹²

¹⁶ EULLOQUE, Jesús. Caracterización física, química, Biológica y valoración agronómica del vermicompost de Eisenia Foetida obtenido del contenido ruminal de bovino. Jiquilpan, Michoacán, México: Instituto politécnico. Pág. 2, 5, 8, 9,11,15,16,20,40,41,44,46,52. Enero 2013.

Tabla 2. Análisis bromatológico del contenido ruminal.

Análisis bromatológico del contenido ruminal	
Humedad	95%
Proteína	9,60%
Grasa	2,84%
Fibra	2,70%

Fuente: Autor – modificado de (Falla, 1994)

2.7.2. Vermicompost: Es un producto de la biodegradación y estabilización de materiales orgánicos por la interacción de lombrices y microorganismos incrementan efectos de la actividad de los mismos en nutrientes y desechos orgánicos. Es un material parecido a la turba, con aireación, drenaje, capacidad de almacenamiento de agua y actividad microbológica, lo cual lo hace un excelente mejorador de suelos de cultivos con alto valor económico.¹²

2.7.3. Vermicompost Líquido: Llamado también té, es un extracto en agua que contiene altos niveles de microorganismos benéficos y nutrientes solubles. En los últimos años ha llamado la atención de productores e investigadores debido a que varios experimentos han indicado que la aplicación de extractos de vermicompost mejora la sanidad de la planta, el rendimiento y la calidad nutritiva. Los extractos de compost además, pueden suministrar biomasa microbiana y materia orgánica en partículas pequeñas, ácidos orgánicos, reguladores de crecimiento y nutrientes minerales tanto a la planta como al suelo.¹⁷

¹⁷ EULLOQUE, Jesús. Caracterización física, química, Biológica y valoración agronómica del vermicompost de *Eisenia Foetida* obtenido del contenido ruminal de bovino. Jiquilpan, Michoacán, México: Instituto politécnico. Pág. 2, 5, 8, 9,11,15,16,20,40,41,44,46,52. Enero 2013.

2.8. SISTEMAS DE SEPARACIÓN, PARA EL TRATAMIENTO DE MATERIAL RUMINAL Y ESTIÉRCOL POR MEDIO DE LA INCORPORACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.

Debido a que es inevitable prevenir que se genere estiércol y residuos líquidos de manera natural por funciones del bovino, es en este punto donde se puede analizar y evaluar alternativas para minimizar este tipo de residuo separando tanto la fracción líquida como sólida para un fácil aprovechamiento y posterior tratamiento, junto con los análisis del comportamiento del rumen y su caracterización física, química y microbiológica.

Tabla 3. Clasificación de sistemas de separación sólido-líquido.

Sistemas de separación	Mecánica	Por gravedad	Tamiz estático Tamiz rotativo Tamiz deslizante Tamiz vibratorio
		Por centrifugación	Centrífuga Hidrociclón Centrisieve Decantador
		Por presión	Presa de rodillos Presa de bandas Presa tornillo Filtro prensa con tamiz cepillado con rodillos perforados de vacío de presión
	Decantación natural		

Fuente: Recuperado Lleida, diciembre de 2004.

La tabla 3 muestra los diferentes sistemas de separación empleados a escala industrial, ya sean de tipo natural o mecánico.

El mercado actual ofrece diferentes equipos para el tratamiento del estiércol; Separadores sólido-líquido donde dicho proceso físico de tratamiento permite mejorar su manejo, con la posibilidad de reciclar el agua de limpieza de los corrales, reducir la materia orgánica en la fracción líquida, concentrando los nutrientes en la fracción sólida y facilitando el manejo y transporte, a la vez que se reduce la emisión de olores. La fracción líquida filtrada puede utilizarse en el riego de los cultivos¹⁸ dentro de la misma planta de beneficio animal.

Existen diferentes sistemas de separación, como la decantación estática o natural, la separación mecánica mediante cribado o centrifugación, los tratamientos biológicos y la ósmosis inversa.¹³

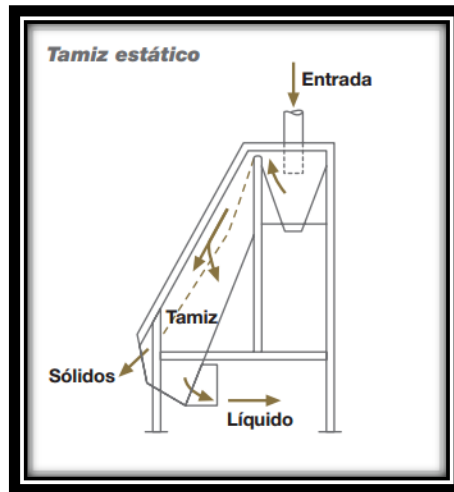
La elección de la implementación de uno o varios sistemas de gestión depende de los intervalos de rendimiento referentes al tipo y composición del estiércol producido, las condiciones de operación de los equipos y los datos bibliográficos para cada uno de estos¹¹; a continuación se describen las características del funcionamiento de los equipos más utilizados a escala industrial como lo son¹³:

¹⁸ MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE GOBIERNO DE ESPAÑA. (2013). Equipos para el tratamiento del estiércol en las explotaciones ganaderas, Separadores sólido-líquidos.

2.8.1. Mecánico Por gravedad

- **Tamiz estático:**

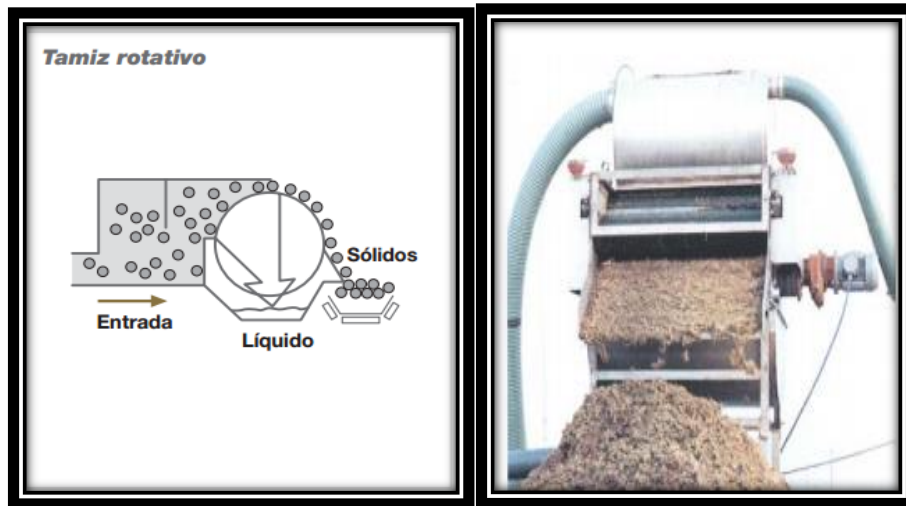
Figura 7. Tamiz estático.



Fuente: Lleida.2004.

- **Tamiz rotativo:** El estiércol se bombea al interior de un tamiz cilíndrico que se mantiene en rotación y con paletas helicoidales en su cara interior. Mientras la fracción líquida pasa a través del tamiz, la sólida avanza impulsada por las paletas y se descarga por la parte frontal del cilindro como se muestra en la figura 8. Otra alternativa es la alimentación por la cara externa del tamiz. Pueden alcanzar una eficacia del 25% y es posible bajar el contenido de humedad del sólido variando al inclinación del tamiz rotativo

Figura 8. Tamiz rotativo.



Fuente: Lleida (2004).

- **Tamiz vibratorio:** Tamiz horizontal (ver figura 9.) accionado por un motor que produce vibraciones para que los sólidos resbalen hasta el borde del tamiz, mientras que los líquidos lo atraviesan. Con tamices de 0.75 y 1.50 mm son eficaces cuando el porcentaje de sólidos supera el 8%

Figura 9. Tamiz vibratorio.



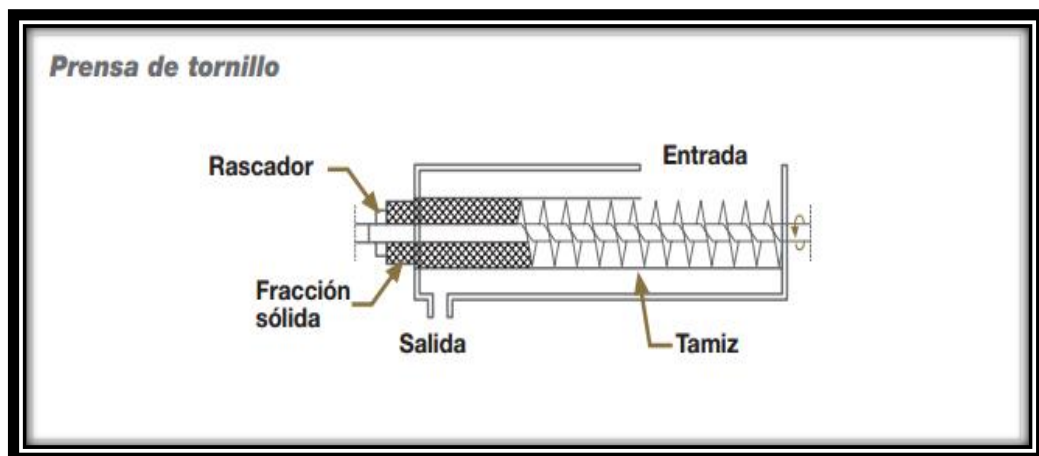
Fuente:¹⁹ Senta Jiangxi Mining Equipment Co., Ltd.

¹⁹ SENTA JIANGXI Mining Equipment Co., Ltd. Disponible en <<<http://vietnamese.alibaba.com/product-gs/small-mobile-sand-gravel-used-trommel-screen-1955382553.html>>>

2.8.2. Mecánica por presión

- **Prensa de tornillo:** Esta prensa es una máquina en la cual un tornillo cuyo paso se va reduciendo progresivamente rota dentro de un tamiz cilíndrico perforado (ver figura 10). El material que entra en la tolva es sujeto de un gradual incremento de la presión hacia la salida forzando a la fase líquida a extrusarse contra la malla perforada. Poseen un cono de contrapresión instalado del lado de la salida, que es regulable, esto da la posibilidad de conseguir diferentes grados de secado.

Figura 10. Prensa de tornillo.



Fuente: Lleida.2004.

Estos separadores mecánicos mediante registros bibliográficos evidencian su eficiencia (porcentaje de componente separado en la fracción líquida) en la tabla 4 expuesta a continuación.

Tabla 4. Eficiencia según tipo de separador.

Eficiencia (%)				
Separador	Sólidos	DQO	Nitrógeno	Fósforo
Tamiz estático	0-40	0-40	0-10	0-10
Tamiz vibrador	0-50	0-50	0-10	0-30
Prensa de bandas	10-60	30-60	10-40	20-80
Prensa de tornillo	20-60	30-60	10-40	30-80
Decantador centrífugo	20-60	30-60	10-40	40-80

Fuente: Lleida.2004.

La bibliografía referente a la maquinaria utilizada en la industria cárnica hace estimaciones como las que se muestran en la Tabla 5 donde es evidente la eficiencia en la deshidratación entre la fracción líquida y sólida de los diferentes parámetros. Es de gran utilidad para la elaboración de este proyecto contar con este tipo de estudios para poder ajustar dichos parámetros a los reales presentes en la planta.

Tabla 5. Ejemplo porcentajes de rendimiento para una prensa tornillo.

Parámetro	Fracción líquida(% de la entrada)	Fracción sólida(% de la entrada)
Caudal másico	75-85	15-25
Sólidos totales	40-80	20-60
Sólidos volátiles	30-70	30-70
DQO	40-70	30-60
Nitrógeno	60-90	Diez-40
Fósforo	20-70	30-80

Fuente: Lleida. 2004.

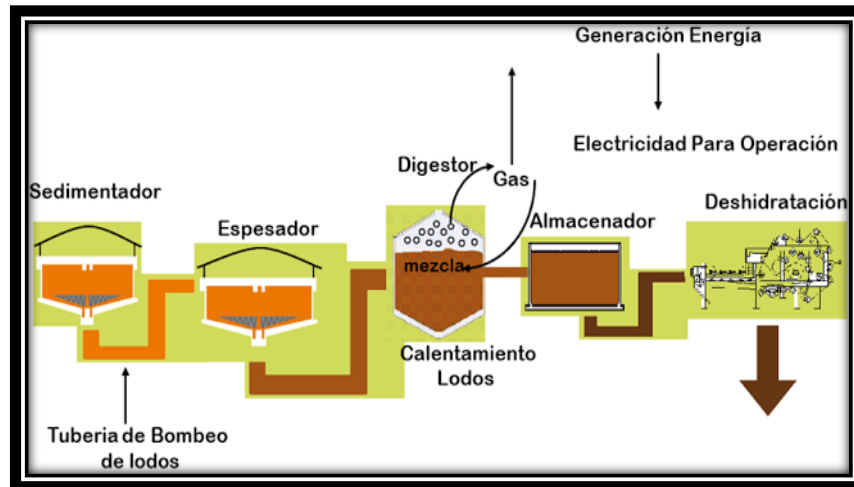
El desarrollo tecnológico de maquinarias empleadas en el tratamiento de las aguas residuales de plantas de beneficio bovino y sus subproductos avanza cada vez más; en el mercado se encuentran diferentes tipos y pese a estos avances en la fase de operación de las plantas se siguen presentando inconvenientes al momento de adaptar dicha maquinaria a la infraestructura con que ya se cuenta o al momento de construir las nuevas debido a la falta de un previo diseño con pruebas a escala real.

La mayoría de PTAR de las diferentes plantas de beneficio animal del país no trata sus aguas y si las tratan adoptan sistemas prefabricados con imitaciones de diseños que no se ajustan a la necesidad.

2.9. SISTEMA DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES.

2.9.1. Esquema del proceso de línea de lodos. El efluente tratado en la PTAR del frigorífico genera lodos en la mayoría del proceso por esta razón es necesario que se le haga un tratamiento complementario (ver Figura 11.) para poder ser vertido a la fuente o disminuir al máximo las concentraciones tóxicas de este residuo.

Figura 11. Proceso de tratamiento de lodos.



Fuente: PTAR Cañaveralejo – EMCALI

El tratamiento debe darse en tres fases, encaminadas a reducir al máximo los problemas anteriormente citados:

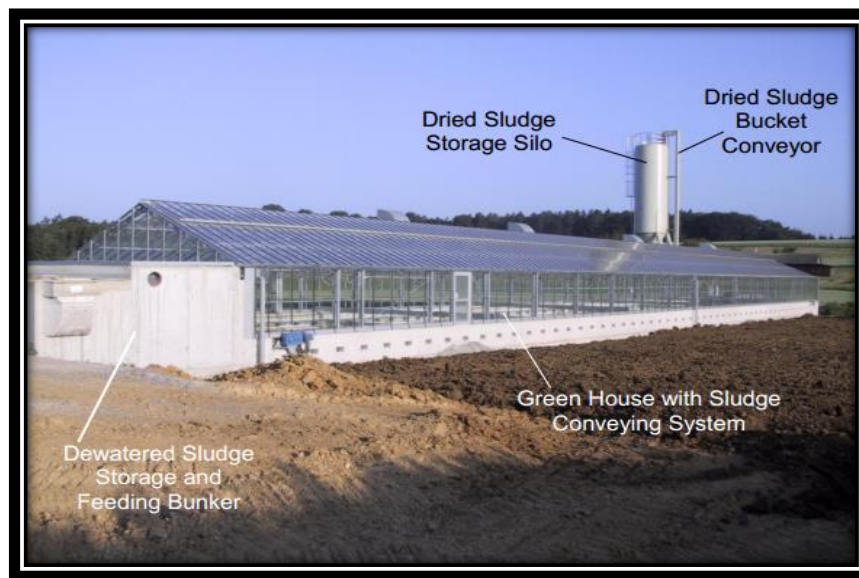
- Reducción del agua presente en los fangos para evitar el manejo de grandes volúmenes.
- Estabilización de la materia orgánica para evitar problemas de fermentación y putrefacción.
- Conseguir una textura adecuada para que resulten manejables y transportables.

El acondicionamiento se realiza para facilitar la pérdida de agua de los fangos durante el secado mecánico, haciéndolo más rápido, eficaz, y rentable económicamente. Consiste básicamente, en romper la estabilidad de las partículas que están en el fango, aumentando su tamaño artificialmente. Un acondicionamiento adecuado del fango es la base para un correcto funcionamiento del sistema de deshidratación.²⁰

²⁰ EMCALI. (Diciembre 2002).

2.9.2. Secado de fango solar (Green House). El secado de fango consiste en deshidratarlo, luego es transportado y almacenado en un tanque pulmón (ver figura 14) tal que garantice una alimentación constante del sistema de secado, con una capacidad de entre 5 y 10 días, con el fin de poder cubrir la falta de recepción de producto durante periodos festivos largos.²¹

Figura 12. Vista exterior principales componentes de recepción y almacenamiento final.

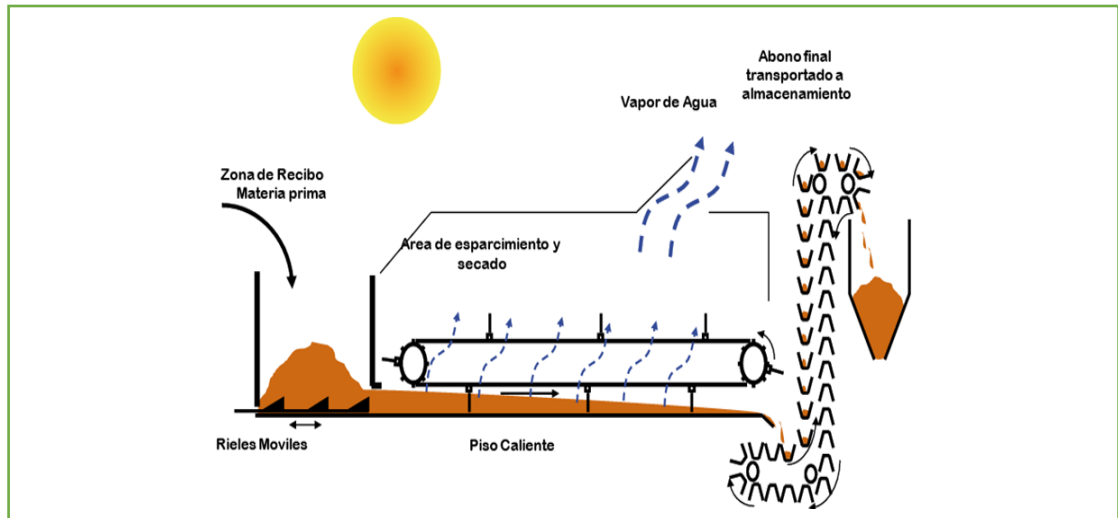


Fuente: EMCALI. (Diciembre 2002).¹⁵

El sistema de secado denominado “greenhouse” (ver Figura 13), equipada con un sistema automático de transporte y volteo del fango y con una instalación opcional de tierra caliente alimentada con agua entre 60 y 90°C proveniente de la refrigeración de una unidad de cogeneración. (Combined Heating Power Unit).¹⁵

²¹ GARANTO OSVALDO, ZIZMANN RICHARD, WICHT HARTMUT, FASSBENDER DIRK. (2005). El Método EDZ/Roediger de secado de fango solar- Esamur: <http://www.esamur.com/jornadas/ponencias/ponencia98.pdf>

Figura 13. Sistema de secado de biosólido.



Fuente: PTAR Cañaveralejo – EMCALI

Esta técnica es recomendada para grandes plantas de tratamiento de aguas residuales. Se basa mediante procedimientos basados en contacto, solo se requiere una cantidad de flujo de gas mínima para la evacuación del vapor; tiene como ventaja que el gasto de aire de salida es bajo, dicho proceso se observa en la figura 13.

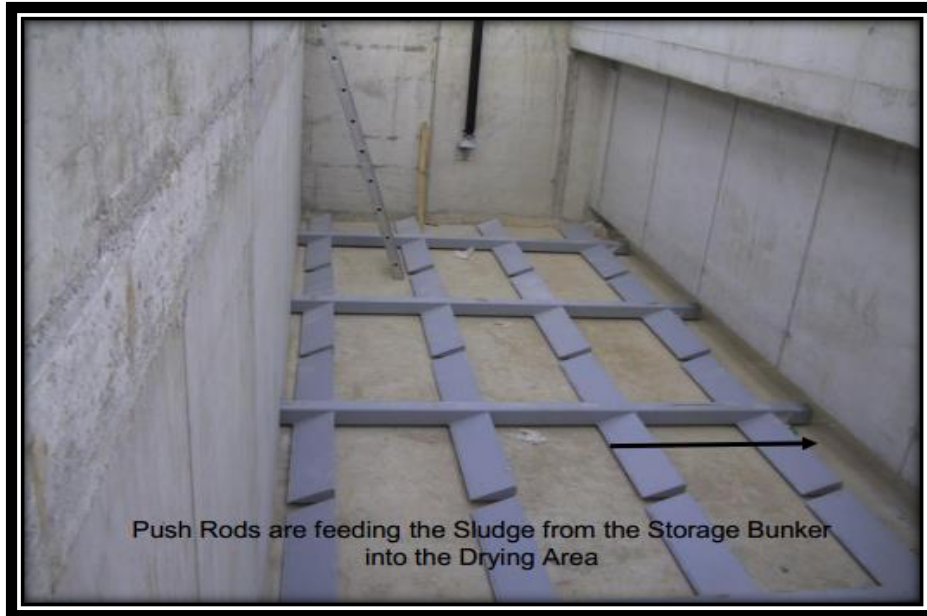
El secado por convención: se consigue mediante el tratamiento de lodos con aire caliente. El aire se calienta mediante un calentador o intercambiador de calor-vapor y este aire entra en contacto con el lodo en un tambor o cinturón de secado.

El secado por radiación: significa que el calor se suministra mediante radiación solar o calentamiento mediante elementos infrarrojos. Para elegir el método más adecuado hay que tener en cuenta las siguientes condiciones: Adherencia segura, Compatibilidad medio ambiental, flexibilidad del método de secado en relación con las cantidades variables de lodo²².

²² · EMCALI. PTAR Cañaveralejo. Diciembre 2002.

La Green House que se muestra en la figura 14 está compuesta por:

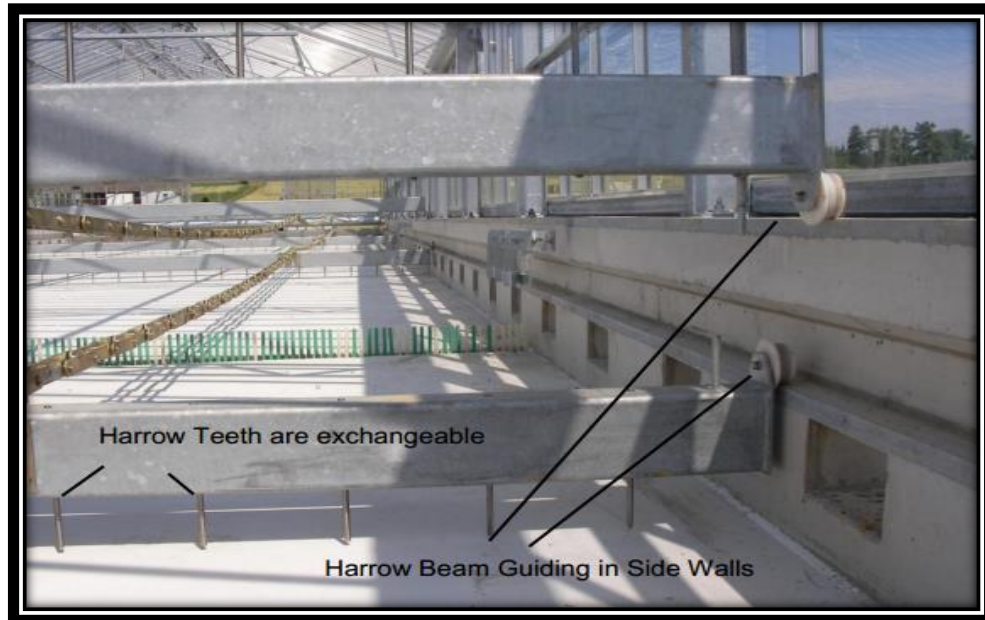
Figura 14. Tanque de recepción y pulmón equipado con suelo deslizante para la alimentación de la planta.



Fuente: EMCALI. (Diciembre 2002).¹⁵

El agua evaporada abandona el edificio a través de las aperturas existentes en las paredes laterales, o en el tejado. Actualmente se dispone de sistemas de apertura en las paredes laterales así como de un sistema de ventilación forzada tal que permite la evacuación del aire en función de los niveles de humedad relativa del mismo, de manera que se evita la condensación de agua en el interior (ver Figura 14).¹⁵

Figura 15. Volteadores interiores.



Fuente: EMCALI. (Diciembre 2002).

El fango con un contenido en materia seca del 90% se recoge al final del recorrido mediante una cinta transportadora (ver Figura 15) o de canjilones y se almacena en un silo.

El producto final es lo que las industrias como las cementeras necesita, es decir, un combustible granulado con un contenido en materia seca igual o mayor al 90% y con un tamaño de partícula de aproximadamente 8mm, y un poder calorífico de 10 MJ/kg²³.

²³ Ibid

3. MARCO LEGAL

El gobierno de Colombia ha creado y reglamentado junto con las CARS y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, una normatividad que contribuya significativamente con la protección de los recursos naturales dando pautas para el manejo integral ambiental en todas las actividades que involucran el manejo de las plantas de beneficio bovino (ver Tabla 6), competitividad de los sectores y la sostenibilidad ambiental.

Tabla 6. Competencias cadena alimentaria de carne.

ESLABON- ETAPA	AUTORIDAD COMPETENTE
Producción Primaria (Granjas, Fincas)	I.C.A.
Transporte animales en pie	I.C.A Ministerio de Transporte
Plantas de Beneficio	INVIMA
Plantas de Desposte, Desprese	INVIMA
Plantas de Derivados Cárnicos	INVIMA
Transporte de Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos	E.T.S.
Distribución y Comercialización	E.T.S.

Fuente: Cadena Velasco Alexandra (2009).²⁴

²⁴ Cadena Velasco Alexandra (2009)

Tabla 7. Leyes, Decretos y Resoluciones vigentes aplicables al manejo de plantas de beneficio Bovino.

POLÍTICA DE SANIDAD AGROPECUARIA E INOCUIDAD DE ALIMENTOS	
CONPES	TITULO
3375 5-Sep-2005	Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de los Alimentos para el Sistema MSF
3376 5-Sep-2005	Política de sanidad e inocuidad para las cadenas de la carne bovina y de la leche
3458 30-Ene-2007	Política Nacional de sanidad e inocuidad para la cadena porcícola
3468 30-04-2007	Política Nacional de sanidad e inocuidad para la cadena avícola
3514 21-04-2008	Política Nacional fitosanitaria y de inocuidad para la cadena de frutas y otros vegetales.
NORMATIVIDAD SANITARIA PARA LA IVC	
Ley 1122 de 2007	Establece a INVIMA como autoridad única para la IVC de Plantas de Beneficio
DECRETO 1500 DE 2007	Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos, destinados para el Consumo Humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación
DECRETO 1036 DE 1991	Clasificación de los mataderos y sus requisitos
DECRETO 2278 DE 1982	Por el cual se reglamenta parcialmente el título V de la ley 09 de 1979 en cuanto al sacrificio de animales de abasto público o para consumo humano y el procesamiento, transporte y comercialización de su carne
RESOLUCIONES Nos. 2905 DE 2007, 4282 DE 2007 Y 4287 DE 2007	Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la carne y productos cárnicos comestibles de las especies bovina y bufalina destinados para el consumo humano y las disposiciones para su beneficio, desposte, almacenamiento, comercialización, expendio, transporte, importación o exportación.
Resoluciones 2007018119, 2008000714, 2008000715	INVIMA: para el desarrollo de Inscripción, Autorización Sanitaria, Registro: Bovinos y Bufalinos, Porcinos y Aves

Fuente: Cadena Velasco Alexandra (2009)

Tabla 8. Expedición Normatividad: Sistema de IVC de Carnes.

<i>Decreto 1500</i>	<i>Resolución 2905</i>	<i>Resolución 4287</i>	<i>Resolución 4282</i>
Mayo 4 de 2007	Agosto 27 de 2007	Dic. 10 de 2007	Dic. 11 de 2007
Creación del sistema IVC	Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la carne y productos cárnicos Bovinos	Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la especie avícola	Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la especie porcina



Resolución 200800715	Resolución 2007018119
Enero 15 de 2008	Agosto 25 de 2007
Requisitos del plan gradual de cumplimiento para porcinos	Requisitos del plan gradual de cumplimiento de Bovinos

Resolución 2008000714
Enero 15 de 2008
Requisitos del plan gradual de cumplimiento para las plantas de beneficio y desprese de aves

Fuente: Cadena Alexandra (2009)

Tabla 9. Normatividad asociada a componentes ambientales.

NORMATIVIDAD ASOCIADA A COMPONENTES AMBIENTALES	
FUENTES HIDRICAS	
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua
3100 de 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones. Modificado por el decreto 3440 de 2004

Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Decreto 1541 de 1978	Clasificación de los cuerpos de agua según los vertimientos
Decreto 4741 del 1995	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
MANEJO DE AGUAS RESIDUALES	
Dec. 1541/78 Art. 227 Dec. 1594/84 Art. 72, 73, 84,86	Sistema de tratamiento de aguas residuales que reduzca el 80% de la carga contaminante
Dec. 2811/74 Art. 142 Dec. 1541/78 Art. 211, 213 Dec. 1594/84 Art. 98 Res. 2905/07 Art. 7	Permiso de vertimientos
Decreto 1594 del 84 art. 160 y161 Decreto 901 de 1997 art 18	Aguas residuales caracterizadas por un laboratorio acreditado por IDEAM
AIRE(EMISIONES ATMOSFÉRICAS YGENERACIÓN DE RUIDO Y MATERIAL PARTICULADO)	
Decreto 948/95	Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

Resolución 0058 de 2002	Por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos. Modificada parcialmente por la Res. 886 de 2004 del 21 de enero de 2002.
Resolución 601 de 2006	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
Resolución 627 de 2006	Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
RESIDUOS PELIGROSOS	
Ley 430 de 1998	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
Resolución 1402 de 2006	Por la cual se desarrolla parcialmente el Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos

Fuente: CADENA, Alexandra. Manual para la identificación del impacto ambiental generado por las plantas de sacrificio de ganado vacuno, P.42, 47. 2009.

4. METODOLOGÍA

El estudio para establecer alternativas para la separación física del material contaminante proveniente de corrales y eviscerados en una planta de beneficio animal se desarrolló en tres fases:

4.1 FASE 1. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE EVISCERADOS BAJO LA ÓPTICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.

Como principal herramienta para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto, se evaluaron técnicas de producción más limpia en el proceso de eviscerado, con el fin de prevenir que el material ruminal retirado de vísceras blancas llegue al sistema de separación.

Las herramientas para lograr establecer técnicas de reducción en la fuente se realizaron mediante la evaluación de técnicas de producción más limpia, siguiendo una serie de procedimientos metodológicos enfocados al diagnóstico ambiental (ver numeral 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3) dentro de la planta descritos a continuación:

- Inicialmente fue realizada una visita general a la PBA bovina para un reconocimiento espacial del área de influencia del proyecto.
- Posterior a la visita general, se llevó a cabo una revisión bibliográfica, referente a estudios similares que contribuyeran con el análisis de la metodología planteada en la elaboración de este proyecto.

- Se realizó el ingreso a la línea de sacrificio para conocer la dinámica y la operación dentro del cuarto de eviscerado, determinando las entradas y salidas del proceso.
- En campo, se desarrollaron muestreos de 24 horas, realizando pruebas insitu como aforo volumétrico de los efluentes que llegan a la PTAR y la medición de sólidos sedimentables por el método del cono imhoff.
- Se aforaron dentro del cuarto de eviscerado antes del faenado de bovinos todas las mangueras que se emplean durante las 8 horas que dura el proceso.
- En el faenamiento se realizó un estudio de masas y de tiempos observando la dinámica de trabajo por cada operario, siendo más factible seleccionar a uno de ellos para registrar los tiempos usados en la preparación de subproductos (panza e intestinos), posteriormente al final de la jornada se tomó una muestra de rumen sacado apenas realizan la apertura de la panza para ser analizada en el laboratorio de aguas residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana realizado mediante la prueba de sólidos sedimentables con el fin de determinar el peso seco de las muestras.
- Terminado el Diagnóstico ambiental se procedió a elaborar una serie de alternativas de producción más limpia enfocadas a la reducción en la fuente en el cual se plantearon 3 programas descritos en el numeral 5.1.4.

4.1.1. Diagramas de flujo de masas del proceso de vísceras. El cuarto de eviscerado de la PBA donde se realizó el estudio registra el mayor volumen de agua demandada y requerimiento de personal, por esta razón fue desarrollado un estudio de balance de masas con el fin de detallar entradas y salidas del sistema. Siendo este el eje central del diagnóstico ambiental del proceso, fue desarrollado mediante observación y documentación bibliográfica.

4.1.2. Determinación de la masa producida de contaminantes. El principal contaminante en este proceso es el rumen, se produce de dos tipos; el primero con arrastre (aguas más rumen) y el segundo sin arrastre (rumen seco).

La cuantificación de la masa del contaminante se realizó mediante la elaboración de un esquema claro del balance de masas y balance hídrico, donde fue indispensable los resultados de laboratorio de la prueba de sólidos totales y la cuantificación del volumen de agua empleado por cada manguera en dicho proceso; todo esto con el fin de determinar la reducción de contaminación si este material se almacena con agua o netamente seco.

4.1.3. Estudio de masas y tiempos para el agua empleada en eviscerado.

Teniendo en cuenta que la movilidad del material ruminal a la salida del proceso es realizado por medio de grandes volúmenes de agua, por esta razón se llevó a cabo la elaboración de un estudio de tiempos para conocer la dinámica de producción de agua residual, estableciendo una ruta crítica enfocando todo el proceso de evisceración hacia la competitividad, producción y consumo sostenible.

El estudio de tiempos fue realizado a criterio del observador dirigido a los operarios que durante el tiempo que tarda el faenado de los bovinos en la PBA mostraron mayor destreza en la ejecución de su labor.

4.1.4. Selección de alternativas de reducción en la fuente. Teniendo en cuenta la realización de las fases que contemplan el diagnóstico ambiental del proceso, se elaboraron alternativas para la reducción en la fuente teniendo en cuenta la infraestructura instalada por medio de la presentación de 3 programas de P+L dirigidas a una gestión ambiental integral dentro de la PBA.

4.2. FASE 2. EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE SEPARACIÓN FÍSICA PARA EL CONTENIDO RUMINAL Y ESTIÉRCOL EN MEDIO ACUOSO.

El estudio del comportamiento del contenido ruminal y estiércol se desarrolló en tres etapas, para este estudio fueron analizados los sólidos sedimentables y los flotantes, posterior a esto se desarrolló un estudio de tamizado como técnica de separación.

El análisis de sólidos es importante en el control de los procesos biológicos y físicos para el tratamiento de aguas residuales y para el cumplimiento de las normas expuestas en el numeral 3.

Los sólidos sedimentables fueron determinados en función de un volumen (ml/L), la prueba fue desarrollada en campo aforando durante 24 horas, donde cada hora se realizó el montaje (Figura 16); observando que en el cono no se evidencia registro de sólidos flotantes siendo imposible desarrollar la técnica de flotabilidad por aire difuso como técnica de separación planteada en la alimentación bibliográfica para este estudio.

Como último estudio de esta fase fue desarrollada la técnica de tamizado donde se tomaron cuatro muestras del tornillo de deshidratación de agua con rumen que llega a la PTAR, las muestras se tomaron en diferentes días y a diferentes horas.

4.2.1. Estudio de la sedimentabilidad y flotación como técnica de separación.

En la primera etapa se determinaron los sólidos por medio de la sedimentación y flotación, el número de pruebas realizadas fueron sometidas a condiciones encontradas en campo.

El ensayo inicial para la determinación de sólidos²⁵ se realizó insitu y corresponde al montaje de conos imhoff como se evidencia en la Figura 16.

Figura 16. Montaje para determinación de sólidos en sedimentables.



Fuente: Autora

Durante el montaje de la prueba se esperaba evidenciar claramente tres fases: el sobrenadante, la fase líquida y los sedimentos; como se muestra en la figura 17; para determinar los sólidos totales en cada fracción; debido a que lo observado en campo no fue lo que se había planteado inicialmente esta prueba de sólidos sólo se le practicó al sedimento (rumen).

²⁵FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA Ambiental II. Guía de laboratorio 1. Determinación de sólidos. Disponible en <<ecentro.uca.edu.ni/pd/mod/file/download.php?file_guid=7540>>

Figura 17. Determinación de sólidos sedimentables.



Fuente: imagen tomada cono de sedimentación industrias HACH.²⁶

4.2.2. Estudio de tamizados como técnica de separación. Una prueba de separación física muy empleada es el tamizado, teniendo en cuenta que el volumen de material ruminal y estiércol es considerablemente alto, se desea realizar la evaluación de la viabilidad del empleo del tamizaje como técnica de separación; para ello se efectuó un ensayo de selección de tamaño de partículas para de este modo seleccionar equipos que se encuentren comercialmente y sean de gran valor para efectuar dicha separación.

²⁶ INDUSTRIA HACH. Cono, sedimentación Imhoff.

4.2.3. Estudio de flotabilidad por aire difuso como técnica de separación. En el inicio de la elaboración del planteamiento metodológico se expuso esta técnica para ser evaluada. Los resultados encontrados en campo muestran que no existe material flotante para desarrollar este estudio.

4.3 FASE 3. DISEÑO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL SISTEMA DE SEPARACIÓN FÍSICO DEL CONTENIDO RUMINAL Y ESTIÉRCOL.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las fases anteriores se pretendió establecer parámetros de diseño para dar cumplimiento al requerimiento de esta etapa donde se desarrolló una alternativa de diseño óptimo para el actual funcionamiento del sistema de separación físico de la planta.

En esta última fase priorizando el espacio con que cuenta la PTAR de la PBA, fue desarrollado un diseño simple pero que abarca y tiene en cuenta cada detalle del diagnóstico ambiental, la implementación de estrategias de P+L, el estudio del tamaño de partícula y el diagnóstico general del sistema preliminar con que actualmente funciona la PTAR para ampliarlo y adaptarlo a la necesidad actual de la PBA.

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1. FASE 1. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE EVISCERADOS BAJO LA ÓPTICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA. Las instalaciones del frigorífico poseen equipos y paredes en acero inoxidable en todo el proceso de beneficio y cada uno de los cuartos donde preparan los subproductos como lo son: manos y patas, vísceras rojas, cabezas, vísceras blancas (estómagos, intestinos, genitales y rumen); en la Grafica 1 se muestra un esquema general donde se realiza el manejo de vísceras blancas donde se llevó a cabo el diagnóstico de esta primera fase.

Grafica 1. Cuarto de vísceras blancas.



Fuente: Autora

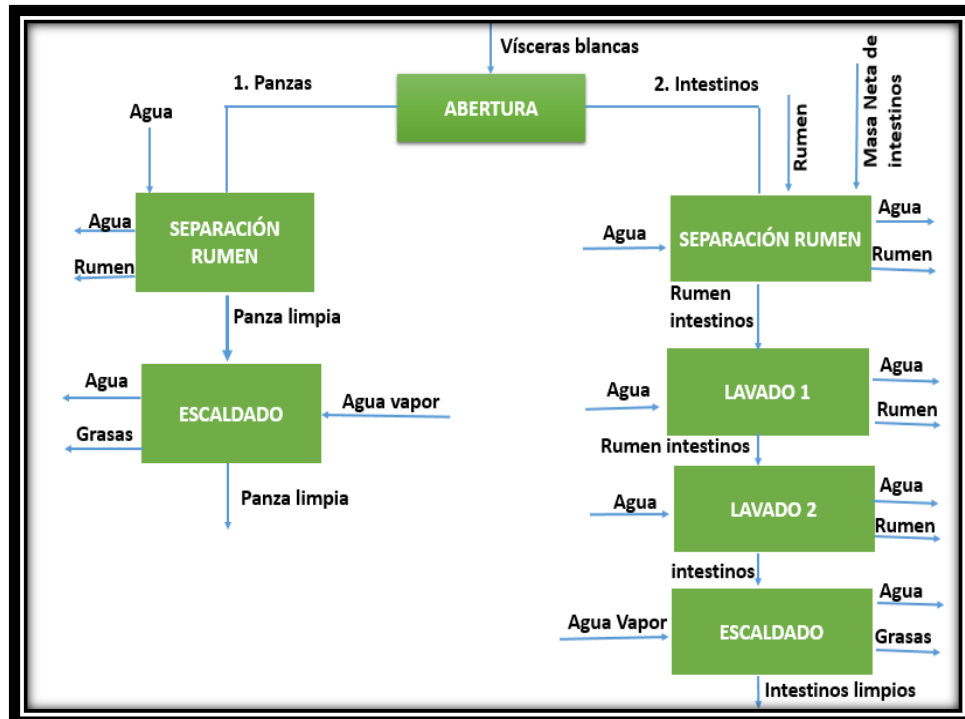
Convenciones:

(1)→Panza

- (2)→ Contenedores de gran profundidad y mesones
- (3)→Intestinos
- (4)→ Contenedores de Rumen mesones
- (5)→Ollas escaldadoras de gran capacidad
- (6)→Olla de primera cocción

5.1.1. Diagramas de flujo de masas del proceso de vísceras. El diagrama de flujo se realizó mediante la observación del proceso (ver figura 18) el cual está enfocado en lo que se denomina la “panza” del bovino, esta sale de la línea de sacrificio por medio de un canal que llega al cuarto de recepción de vísceras blancas dónde sacan el contenido ruminal, los subproductos son lavados, escaldados y posteriormente comercializados.

Figura 18. Entradas y salidas del proceso de vísceras blancas.



Fuente: Autora

5.1.2. Determinación de la masa producida de contaminantes. El balance de masas y balance hídrico requirió de pruebas de sólidos totales, indispensable para la cuantificación de masa seca y húmeda del rumen junto con observación de tiempos y volumen de agua empleado en el cuarto de vísceras blancas.

5.1.2.1. Prueba de Sólidos totales: Las muestras se tomaron en la planta de beneficio bovino (ver Anexo A.), siendo analizadas en el laboratorio de aguas residuales de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga siguiendo el procedimiento SM 2540 B, obteniendo los siguientes resultados del punto de mayor contaminación:

5.1.2.2. Cálculo de la masa recogida en el proceso de eviscerado. Por medio de la masa del contaminante que se produce en el cuarto de Vísceras blancas, las concentraciones de sólidos totales (Anexo C), el consumo de agua (Anexo D) y el porcentaje de humedad del material del mismo descrito en la Tabla 2; se calculó la masa de rumen recogida con arrastre y sin arrastre durante el lavado de vísceras.

$$masa\ seca = \left(S.T \frac{kg}{L} \right) * vol.\ total\ diario$$

$$masa\ seca = \left(436 \frac{mg}{L} \right) * 1170368,695\ L$$

$$masa\ seca = 510,280\ kg$$

$$masa\ húmeda = \frac{masa\ seca}{\% \ humedad}$$

$$masa\ húmeda = \frac{510,280\ kg}{0,05}$$

$$masa\ húmeda = 10205,61502\ kg$$

Masa recogida en el eviscerado = Masa diaria de eviscerado – Masa Húmeda

$$Masa\ recogida\ en\ el\ eviscerado = 11931 - 10205,61502$$

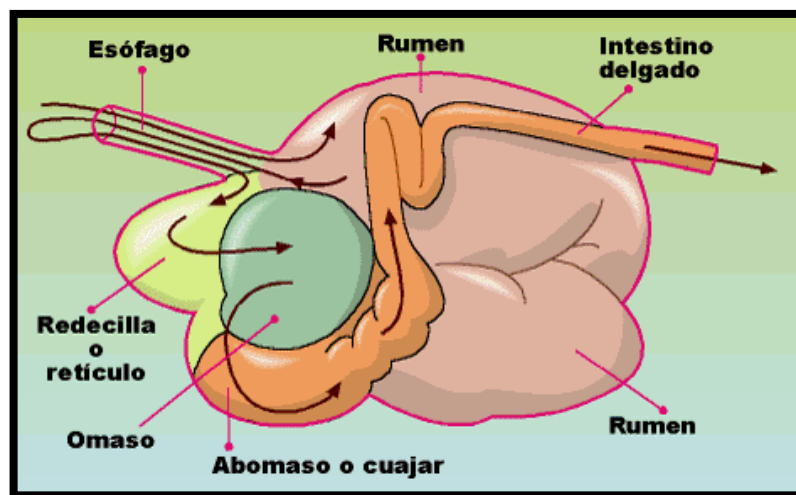
$$Masa\ recogida\ en\ el\ eviscerado = 1725,38498\ kg = 14\%$$

En el proceso de eviscerado se realiza la extracción de rumen sin arrastre durante la primera hora de faenado hasta llenar la capacidad instalada para recogerlo, esta recolección equivale al 14% lo cual no alcanza a cubrir la capacidad total de recolección; es necesario elaborar un programa de aprovechamiento del rumen para optimizar el sistema de recolección en seco.

5.1.2.3. Balance de masas y balance hídrico. Se llevó a cabo la elaboración del balance de masas y balance hídrico para elegir la mejor alternativa enfocada a promover la P+L en labores específicas dentro del proceso.

La Figura 19 muestra cómo está compuesto el sistema digestivo del bovino con un peso aproximado de 35 Kg. Distribuidos en el Retículo, omaso, abomaso y retículo rumen con un 70% del peso total¹⁷. Conocer la composición en peso fue indispensable en la cuantificación de la masa dentro del proceso.

Figura 19. Sistema digestivo de los rumiantes.

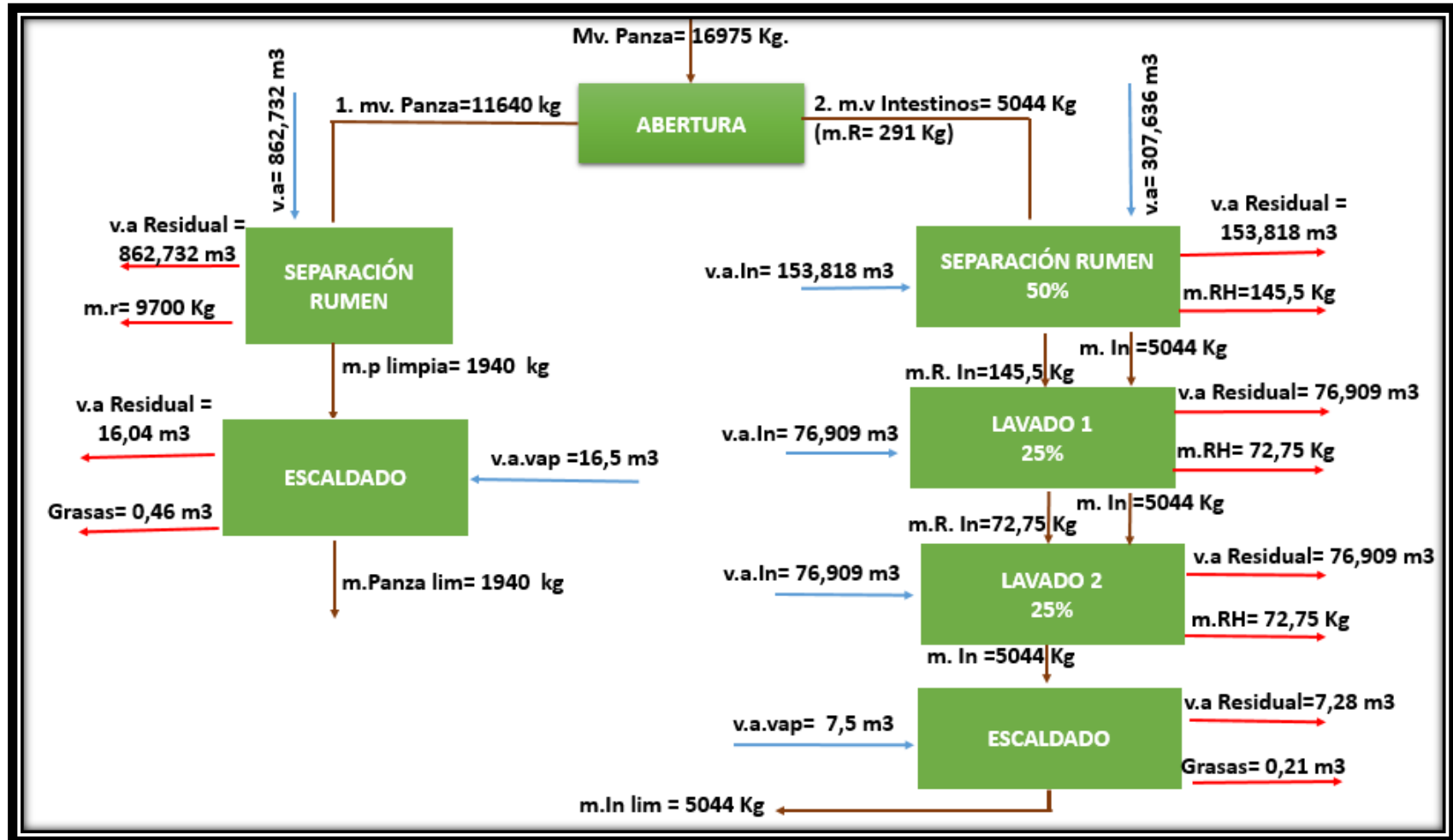


Fuente: Imagen – disponible en <<<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/13669378/Sistema-Digestivo-de-los-Rumiantes.html>>>²⁷

²⁷TARINGA. Sistema Digestivo de los Rumiantes Imagen . [en línea] [citado 10 de agosto de 2015] disponible en <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/13669378/Sistema-Digestivo-de-los-Rumiantes.html>

La figura 20 muestra la cuantificación de las entradas y salidas del balance de masa y balance hídrico para el sacrificio promedio de bovinos, el cual es de 485 diarios en un tiempo de 8 horas de faenado. Entrando a este proceso una masa total diaria de panzas de 16.975 kg y un volumen total. El valor total correspondiente a $1.170.36 \text{ m}^3$ de agua divididos en dos procesos, el de panzas equivalente a $862,73 \text{ m}^3$, y para intestinos un volumen de $307,63\text{m}^3$; adicionalmente estos dos procesos tienen un volumen extra de agua de vapor, provenientes de la fase de escaldado con un tiempo de procesamiento de 3 horas aproximadamente

Figura 20. Balance de masas e hídrico para el sacrificio promedio de bovinos.



Fuente: Autora

Dentro de este balance de masas y balance hídrico el proceso de separación de rumen evidencia que si este material es recogido en seco trae consigo una disminución de 107, 93 m^3 de agua al día (ver Anexo D), donde al conocer el costo por m^3 de tratamiento de agua residual y agua potable en la PBA que equivalen a \$ 2.700 y \$ 1.100 respectivamente, es posible cuantificar una disminución por día, mes y año en insumos como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Cuantificación de la reducción de agua en la recolección del rumen en seco.

REDUCCIÓN	m^3 DE AGUA	PESOS (\$)
Día	107,93	410.286
Mes	2.807,22	10'667.436
Año	33.686,64	128'009.232

Fuente: Autora

Esperando que tanto la PBA como los empleados realicen un buen uso del recurso; es importante se adquiriera un instrumento de lavado a presión (ver Anexo C) que reemplace las mangueras empleadas para lavado de panzas, reduciría aún más el volumen de agua que se emplea en este proceso específico.

Teniendo en cuenta las especificaciones de la hidrolavadora la cual emplea un caudal de 1,85 L/min, siendo este significativamente bajo a comparación del que se emplea actualmente en el proceso de lavado de panzas donde por manguera se trabaja con un caudal de 69,98 L/min.

Al reemplazar las 4 mangueras involucradas directamente en el proceso de separación del rumen en la panza (ver Tabla 11), por una hidrolavadora (Anexo D), se reducirían los costos en tratamiento de estos efluentes de \$ 159'298.401 del consumo actual de mangueras a \$1'052. 688 anualmente. Siendo el costo de la hidrolavadora de \$1'900.000, inversión que sería

económicamente viable para la implementación en la mejora de los procesos productivos en la planta logrando el objetivo principal que es la reducción del consumo del recurso.

Tabla 11. Cuantificación de reducción del consumo de agua con la implementación de una Hidrolavadora

ALTERNATIVAS DE P+L	ESPECIFICACIONES Q(L/MIN)	COSTO (\$) ALTERNATIVA	CONSUMO PROYECTADO		
			m ³	\$	Tiempo
Hidrolavadora	1,85	1'900.000	0,888	3.374	Día
			22,88	87.724	Mes
			274,56	1'052.688	Año
SIN P+L (Sistema actual)					
SISTEMA ACTUAL	Q (L/min) POR MANGUERA	Q (L/min) TOTAL	CONSUMO ACTUAL		
			m ³	\$	Tiempo
Mangueras(# 4) de separación de rumen	69,98	279,92	134,361	510.571	Día
			3.493,38	13'748.866	Mes
			41.920,63	159'298.401	Año

En busca de mecanismos de ahorro aún más eficientes es válida la implementación de boquillas ahorradoras de agua en la totalidad del proceso, así se tendrá un sistema equitativo y competitivo frente a las demás áreas de faenado siendo esta sección la más alta en consumo.

Revisando periódicamente el funcionamiento y el estado de las mangueras y boquillas encaminándose a un proceso óptimo y de alta calidad, es necesario empezar con un control en el registro exacto del gasto de agua por cada manguera como lo es la implementación de macromedidores y la unificación de boquillas (Anexo C.)

La infraestructura actual de la totalidad de mangueras dentro del proceso trabaja con un 30% de ellas, manejado un caudal de 731,34 L/min aproximadamente,

incurriendo en un gasto anual de tratamiento de este efluente equivalente a \$416'195.395, correspondiente a un volumen exagerado de agua de 109.525,10 m^3 .

Implementando como una alternativa de P+L la unificación de boquillas (ver Tabla 12) y haciendo uso de las especificaciones para las mismas se estará trabajando con un caudal de 219,78 L/min, incurriendo en un ahorro de 332.465,96 m^3 de agua representados en una cuantía altamente representativa, reduciendo costos para su tratamiento en aproximadamente \$1.263.375.360.

Tabla 12. Cuantificación de reducción del consumo de agua con la unificación de boquillas.

ALTERNATIVAS DE P+L		Especificaciones Q(L/min)	Costo (\$) alternativa	CONSUMO PROYECTADO		
Boquillas	por una Boquilla	6,66	9.700	m^3	\$	Tiempo
				104,54	397.252	Día
	Por el total	219,78	320.100	2.718,14	10'328.522	Mes
				32.617,72	123'942.624	Año
SIN P+L (Sistema actual)						
SISTEMA ACTUAL	Q (L/min) POR MANGUERA	Q (L/min) TOTAL	CONSUMO ACTUAL			
			m^3	\$	Tiempo	
Total de mangueras dentro del proceso (#33)	73,8	2.437,80	1.170,14	4'446532	Día	
			30.423,64	15'609832	Mes	
			365.083,68	1.387'317.984	Año	

5.1.3. Estudio de masas y tiempos para el agua empleada en eviscerado. La dinámica del gasto de agua dentro del cuarto de eviscerado se estableció mediante un estudio de tiempos seleccionando la ruta más corta enfocada a la

función que cumple el personal dentro del proceso en el menor tiempo posible con el menor gasto de agua, evitando así la generación de agua residual a tratar en el PBA.

5.1.3.1 Estudio de tiempos. Para el siguiente estudio se identificó al operario más hábil del proceso de eviscerado, el que tenía la mejor actitud, esfuerzo, y condiciones para desarrollar su labor en el menor tiempo posible. Teniendo en cuenta estos aspectos y por medio de un criterio de observación se seleccionó a un operario de 40 que laboran en el cuarto de vísceras blancas enfocadas en el procesamiento de intestinos; ya que para este caso todos desarrollan la misma actividad se puede obtener el tiempo de producción por cada uno.

Cada operario comienza sus labores a las 2 pm y finaliza a las 10 pm obteniendo así un tiempo de proceso de 8 horas, equivalentes a 480 minutos de trabajo para cada operario, se establece que este operario tiene capacidades motrices ideales, excelentes condiciones físicas, gran esfuerzo, una consistencia y habilidad perfecta para cada labor realizada.

La Tabla 13 muestra los resultados de la medición del trabajo realizado y la ruta más corta y larga del proceso de separación de la panza e intestinos.

Tabla 13. Estudio de tiempos.

Operario	Tiempos (S)										Promedio (S)	Min
	2	3	4	4	4	5	4	5	5	4		
A	2	3	4	4	4	5	4	5	5	4	4	0,067
B	40	43	48	45	41	47	52	56	49	58	47,9	0,798
C	50	55	54	56	49	51	54	58	60	58	54,5	0,908
D	90	93	97	94	99	96	103	100	108	105	98,5	1,642
E	97	101	100	107	105	109	105	108	107	108	104,7	1,745

Operario	Tiempos (S)										Promedio (S)	Min	
F(olla intestinos)	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	45
G(olla intestinos)	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	45
H(reposo intestinos)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	30
I(olla panza)	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	90
J(olla panza)	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	90
K(reposo panza)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	30

Fuente: Autor

En la Sección de escaldado las ollas tienen una capacidad aproximada para limpiar estos subproductos entre 32-36 panza de bovino por olla; como se evidencia en la tabla 14 cada olla tiene un tiempo aproximado de cocción de 45 minutos para realizar 7 cocciones en la totalidad del proceso.

La mejor ruta de trabajo es la número 1 con un tiempo de 2 horas y 2 minutos como se evidencia en la tabla 14 debido al tiempo de procesamiento del operario, la cual es menor que la ruta 2 que tarda 2 horas y 10 minutos aproximadamente, esto quiere decir que el operario de la ruta 1 es más eficiente en su labor que el operario de la ruta 2.

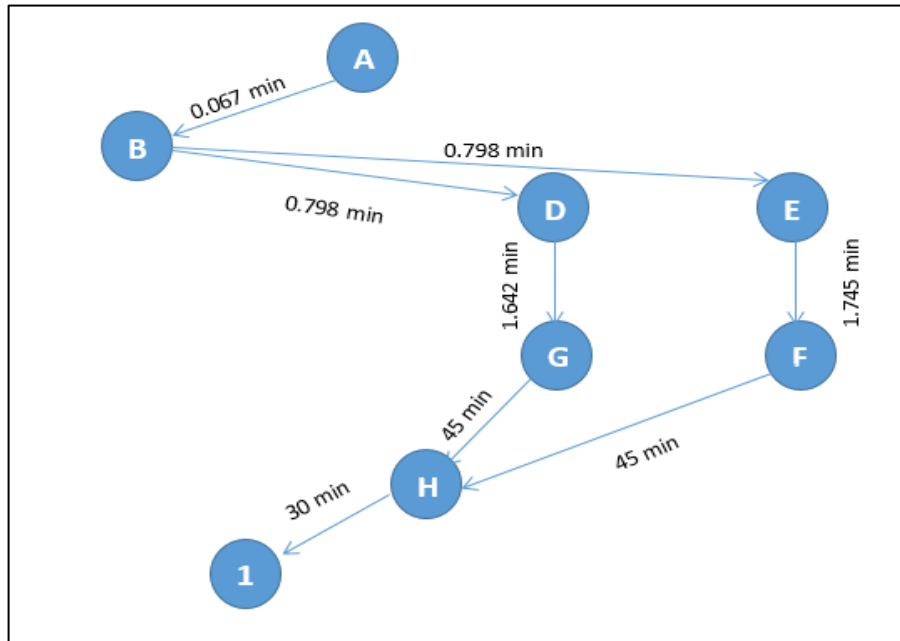
Tabla 14. Ruta optima de trabajo.

Unidades	Ruta 1	Ruta 2	# Bovinos
Segundos	150,4	156,6	Para 10
Minutos	2,50	2,61	Para 10
Minutos	121,57	126,58	para 485
Horas	2,02	2,10	Para 485

Fuente: Autor

A continuación la Figura 21 muestra cómo está establecida la ruta por donde se desplazan los intestinos.

Figura 21. Ruta de desplazamiento de intestinos.



Fuente: Autora

La ruta 1 más corta:

A-B-D-G-H-1

Tiempo de procesamiento= 77.50 min

La ruta 2 más larga:

A-B-E-F-H-1

Tiempo de procesamiento=77.61 min

Dónde:

A: Operario de desplazamiento de la panza e intestinos

B: Operario de abrir la panza, sacar el rumen e intestinos y lavar

D: Operario de mayor limpieza de intestinos ruta 1

E: Operario de mayor limpieza de intestinos ruta 2

F: Escaldado de intestinos ruta 2

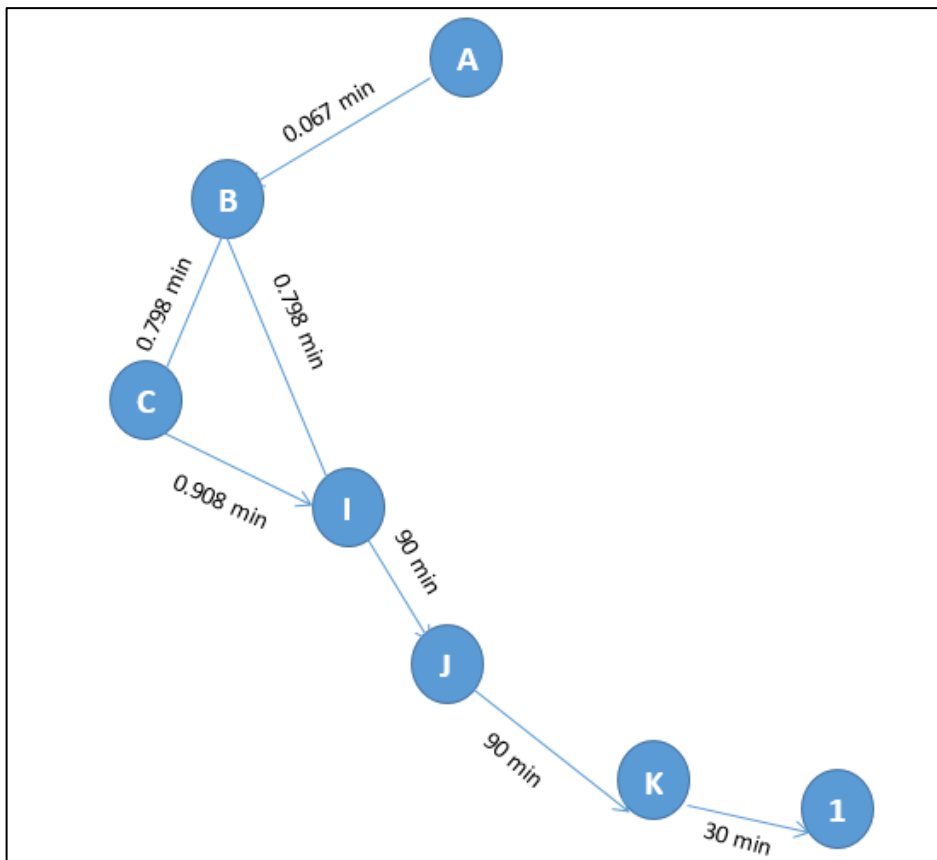
G: Escaldado de intestinos ruta 1

H: Piscina de reposo de intestinos

Al establecerse la ruta más corta el ahorro en consumo de agua para esta ruta seleccionada como la más corta es de $12,42m^3$ al día aproximadamente (Anexo E.) lo que si bien no es una reducción alta para el poco tiempo de diferencia que tiene una ruta de la otra disminuyendo así costos de tratamiento de agua residual y manejo de agua potable.

La figura 22. Muestra el procesamiento de la ruta donde se desplaza la panza.

Figura 22. Ruta de desplazamiento de panzas.



Fuente: Autora

En este proceso sólo hay una ruta

La cual es:

A-B-I-J-K-1

Tiempo de procesamiento= 210.86 min

Dónde:

A: Operario de desplazamiento de la panza e intestinos

B: Operario de abrir la panza, sacar el rumen e intestinos y lavar

C: Recipiente donde se vacía el rumen

I: Escaldado panzas en olla pequeña

J: Escaldado Panzas Olla grande

K: Piscina de reposo panza

En la ruta de procesamiento de panzas, haciendo una continua reevaluación de procesos es posible identificar que se deben eliminar el uso de ciertas mangueras que son innecesarias, utilizando el personal libre para colaborar en el proceso de escaldado del mismo.

5.1.4. Selección de alternativas de reducción en la fuente. Se realizó un diagnóstico de la infraestructura instalada ajustando e implementando sistemas de control de la contaminación donde fuese posible desarrollarlas, planteando iniciativas de minimización general y específica dentro del proceso.

Las estrategias de P + L relacionadas de manera directa entre competitividad, producción y consumo sostenible deben hacer un uso óptimo de las materias primas en cuanto a insumos, energía y agua, buscando así una producción alta con el menor gasto posible de insumos favoreciendo el desarrollo sostenible en este tipo de industrias.²⁸¹⁷

²⁸ CADENA, Alexandra. Manual para la identificación del impacto ambiental generado por las plantas de sacrificio de ganado vacuno, P.42, 47. 2009.

A continuación se desarrollan 3 programas enfocados a la P+L y puesta en marcha de las iniciativas de prevención de la contaminación anteriormente descritas.

5.1.4.1. PROGRAMA 1. Aprovechamiento del rumen

PROYECTO 1. Recolección del rumen en seco para su aprovechamiento

Situación actual.

El contenido ruminal es descargado en mesones de acero inoxidable (ver Figura 23) arrastrada en la mayoría del proceso por medio de agua dentro de la tubería que conduce al tanque estercolero ubicado en la PTAR.

Figura 23. Mesones donde se descarga el contenido ruminal.



Fuente: Autora

Objetivo general del proyecto.

- Garantizar la recolección y transporte del rumen en seco.

Específicos:

- Contratar una persona para recoger y transportar el rumen en seco.
- Instalar carros recolectores para rumen en seco.
- Instalar tornillo sinfín dentro del cuarto de vísceras para recoger el rumen en seco.

Metas:

Reducir en un 60% la cantidad de rumen que llega a la PTAR.

Indicadores:

% que va a la PTAR =

$$\frac{\% \text{ total de rumen que llega al cuarto de visceras} - \% \text{ que se queda en el cuarto de visceras}}{\% \text{ total de rumen que llega al cuarto de visceras}}$$

Metodología detallada:

- La fase de recolección del rumen en seco se realizará mediante la contratación de un trabajador más, esta persona estará encargada específicamente de esa tarea ya sea por medio de carritos recolectores o por medio de la implementación de tecnología (Tornillo sinfín).
- La instalación de carros recolectores de rumen debe estar previamente aprobada la solicitud de adquisición por parte de la Gerencia de Planificación y

departamento de recursos físicos de la PBA. En conjunto con la persona que se contratará la compra de estos carros facilita el transporte de este residuo a un cuarto o espacio de almacenamiento fuera del mismo.

- La instalación de un tornillo sinfín para la recolección del rumen debe estar previamente aprobada la solicitud de adquisición por parte de la Gerencia de Planificación y departamento de recursos físicos de la PBA. Se debe realizar una serie de adecuaciones dentro del cuarto en lo referente al espacio a ocupar de esta tecnología.

Cronograma:

Tabla 15. Cronograma de aprovechamiento de rumen.

ACTIVIDADES	TIEMPO													
	SEMANAS													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Identificación y adecuación del cuarto de almacenamiento del rumen.	■	■	■											
Adecuación y establecimiento de las posibles rutas para transportar el rumen.			■	■										
Capacitación al nuevo empleado sobre la realización de su función en el menor tiempo posible.				■	■									
Compa de 4 carritos de recolección de rumen	■	■	■	■	■	■	■							

A continuación se presenta el presupuesto de ingresos en el aprovechamiento del rumen que se recoge en seco ya sea con la implementación de tecnología o con carritos recolectores; Este material rico en nutrimentos es aprovechado comercialmente hoy en día como materia prima en la fabricación de harina ruminal ingrediente que se mezcla en el concentrado para engorde de conejos, aves y bovinos.

Tabla 18. Presupuesto de Ingresos de aprovechamiento de rumen como harina ruminal.

Presupuesto	Unidad	Cantidad (bultos)	Valor Unitario	Valor Total
Fabricación de Harina Ruminal	UND	50	15.000	750.000
Operario de fabricación	UND	2	1.200.000	2'400.000
TOTAL				3'150.000

Fuente: Autora

Otra forma de aprovechar el rumen es como vermicompost el cual brinda nutrientes especiales para el crecimiento de plantas. A continuación en la tabla 19 se muestra el presupuesto para recolección y preparación de la materia prima.

Tabla 19. Presupuesto de ingresos de preparación de materia prima para vermicompost.

Presupuesto	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Fabricación de Vermicompost líquido y sólido	UND	50	23.800	1'190.000
Operario de fabricación	UND	2	1'200.000	2'400.000
TOTAL				3'590.000

Fuente: Autora

La recolección del rumen en seco además de disminuir notablemente la carga de DBO y SST del efluente, reduce también los costos del tratamiento al final del tubo y por supuesto reduce los altos costos de tratamiento de las aguas residuales y el proceso de potabilización del agua para el beneficio bovino por metro cúbico; también se constituye como materia prima para ser utilizado en forma directa en la alimentación animal, en abonos o enmiendas de suelos y en la lombricultura.

El rumen que se extrae con arrastre es el que genera mayor contaminación y es el que se produce durante la mayoría del proceso.

El 86% restante del rumen que no se recoge en seco según el cálculo de la masa recogida en el proceso de eviscerado del numeral 5.1.2.2; puede recogerse con la ayuda de tecnología disponible en el mercado como lo es la implementación un tamiz transportador sinfín (ver anexo C.) para su posterior aprovechamiento; este tornillo puede ubicarse de la siguiente manera (ver Gráfica 2.) dentro del proceso sin que llegue a causar inconveniente.

Gráfica 1. Ubicación espacial del tornillo sinfín.



Fuente: Autora

Enfocándose en un proceso productivo ambientalmente sustentable otra forma de recolección y posterior aprovechamiento de este material es la adquisición de “carritos” (ver Anexo C.) para recolección del mismo, junto con la contratación de un empleado más en el cuarto de eviscerado para que de esta manera no se alteren los tiempos de preparación de subproductos primarios; siguiendo la ruta más conveniente como se observan en la Gráfica 3.

Gráfica 2. Ruta de transporte del rumen en seco.



Fuente: Autora

5.1.4.2. PROGRAMA 2: Educación ambiental

PROYECTO 2: Campañas de sensibilización a la comunidad.

Siendo esta una de las PBA más modernas del país, la falta de efectividad en la elaboración y puesta en marcha del plan de ahorro y uso eficiente del agua es necesario implementar pautas encaminadas a disminuir costos de operación a mediano plazo.

Objetivo general:

- Sensibilizar a todo el personal del PBA que recibe el servicio hacia el ahorro y uso eficiente del agua.

Específicos:

- Elaborar y ejecutar el plan de ahorro y uso eficiente del agua.
- Desarrollar jornadas de capacitación y/o actividades sobre el ahorro y uso eficiente del agua y las consecuencias que se pueden presentar debido al mal manejo y utilización inadecuada del recurso.
- Elaborar folletos, que integran buenas prácticas para el uso eficiente del agua, encaminando a la condecoración del empleado que evidencie las mejores iniciativas de reducción.

Metas:

- Conformar un “equipo del agua” que verifiquen la calidad con que se está ejecutando el plan de ahorro y uso eficiente del agua en el primer año de ejecución.
- Promover buenas prácticas de operación en el proceso de eviscerado enfocados al ahorro y uso eficiente del agua durante los primeros 6 meses del año.
- condecorar al empleado con el mejor registro de reducción en el consumo de agua cada 6 meses.

Indicadores:

- *verificación de la calidad del programa =*
$$\frac{\text{indicadores de gestión evaluados en el primer año}}{\text{indicadores de gestión totales}} \times 100$$
- *ahorro del uso del agua =*
$$\frac{\text{Consumo de agua durante los primeros 6 meses} - \text{consumo de agua de 6 meses atrás}}{\text{consumo de agua de 6 meses atrás}} \times 100$$
- Promedio del consumo de cada operario – promedio del consumo total de los operarios.

Metodología:

De manera general se requiere cambiar los hábitos del uso del agua de actividades en la que es requerida por parte de los trabajadores para esto a continuación se dará a conocer la metodología para cumplir con los objetivos propuestos:

En la fase de Inicio debe designarse un “equipo del agua”, de unas cuatro personas que estarán a cargo de la elaboración y ejecución del plan:

- Se empezará con la fase de reconocimiento, allí se enumerarán las etapas del proceso y se identificarán los puntos con consumos máximos de agua.
- Reunir toda la información como la inspección visual, medición de volúmenes, frecuencia con que se utilizan las mangueras y su capacidad instalada.
- Realizar el balance hídrico e instalación de macro y micro medidores y controladores para que este registro sea automatizado.
- La elaboración de las fichas de implementación de los programas seleccionados, basándose en el análisis costo beneficio.
- Elaboración de las fichas de control y seguimiento basado en las metas e indicadores de gestión y el presupuesto disponible.

- Definir incentivos (descuentos, condecoraciones, incentivos monetarios, etc.) para las subsecciones dentro del proceso que cumplan con dichas metas.
- Finalmente debe mantenerse el plan enfocado a la prevención mediante listas de chequeos.
- Las capacitaciones se llevarán a cabo en el salón - cafetería que se encuentra dentro de la línea de sacrificio, donde se tratarán temas y técnicas de ahorro, uso eficiente y conservación del recurso y consecuencias del mal manejo de los mismos.
- Cada tres meses se entregará un mini folleto a los empleados en papel reciclable donde se evidencien las buenas prácticas en las que se ha ido logrando encaminar el proceso de eviscerados, el empleado que muestre los mejores resultados en el uso eficiente del agua recibirá un incentivo elegido por el equipo del agua.

CRONOGRAMA:

Tabla 20. Cronograma para la educación ambiental.

ACTIVIDADES	TIEMPO																	
	SEMANAS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Conformar el equipo del agua	■	■																
Elaboración del plan de ahorro y uso eficiente del agua	■	■	■	■	■													
Capacitación y sensibilización por medio de talleres y charlas a través de medios informativos					■	■	■				■	■						

ACTIVIDADES	TIEMPO																	
	SEMANAS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Entrega de los folletos como medida de información de la aplicación de buenas prácticas. Reconocimientos y/o incentivos para el empleado con mayor índice de reducción en el consumo del agua.																		

Fuente: Autora

Presupuesto:

Tabla 21. Presupuesto de Educación ambiental.

Presupuesto		Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Elaboración de folletos		UND	45	13.500	607.500
Ingeniero Ambiental encargado de ejecutar el plan de ahorro del agua		UND	1	2'300.000	2'300.000
Jornada de capacitación	Refrigerios	UND	45	4.500	202.500
	Material didáctico	UND	45	3.500	157.500
	Alquiler de Equipos	Horas	3	50.000	150.000
TOTAL					3'417.500

Fuente: Autora

5.4.3. PROGRAMA 3. Mejoramiento de la estructura física y la eficiencia del proceso de eviscerado.

PROYECTO 3. Instalación de dispositivos ahorradores de agua y adecuación de boquillas.

Las mangueras del proceso presentan un evidente deterioro y la gran mayoría no tienen boquilla, por lo que no tiene la suficiente presión para eliminar totalmente los residuos de rumen, al permanecer en este estado aportan un gran desperdicio de agua en razón a su gran diámetro y por las pérdidas de agua en momentos en que no se está utilizando.

Objetivo general

Disminuir la cantidad de agua empleada en el proceso de eviscerado.

Específicos:

- Adquirir una hidrolavadora para retirar los últimos residuos de contenido ruminal de las panzas y para la limpieza general del proceso de eviscerado.
- Instalar dispositivos ahorradores de agua como lo son boquillas y mangueras.
- Concientizar a los trabajadores sobre el ahorro y uso eficiente del recurso hídrico.

Metas:

- Disminuir en un 10% anual el agua empleada para eliminar los residuos que caen al piso.
- Disminuir en un 20% anual el consumo de agua en las llaves del cuarto de eviscerado.

- Capacitar la totalidad del personal del cuarto de eviscerados sobre el uso y manejo adecuado de los dispositivos ahorradores para garantizar su óptimo desempeño.

Indicadores:

$$* \text{Agua reducida real} = \frac{\text{vol.de agua original} - \text{vol.consumido en el ultimo periodo}}{\text{vol. Original para un periodo análogo}} \times 100$$

$$* \text{Instalación de dispositivos} = \frac{\text{No.de puntos instalados}}{\text{No.de puntos identificados}} \times 100\%$$

$$* \text{Personal capacitado} = \frac{\text{No.de asistentes a jornadas}}{\text{No.de asistentes planeados}} \times 100\%$$

Metodología:

- La implementación de los dispositivos y equipos de bajo consumo se realizará en conjunto con la Gerencia de Planificación y departamento de recursos físicos del frigorífico. Donde inicialmente se espera contar con la adquisición de una hidrolavadora (ver Anexo C) que contribuya con la disminución del agua empleada en este proceso.
- Establecer claramente los dispositivos y equipos de bajo consumo que serán de obligatoria instalación como lo son 40 mangueras de 1/2 pulgada de diámetro con sus respectivas boquillas.
- Realizar campañas de información para los empleados sobre la implementación de los nuevos accesorios y dispositivos de bajo consumo (ver Anexo C.), con la entrega de material informativo a los asistentes.

Cronograma:

Tabla 22. Cronograma dispositivos ahorradores de agua y adecuación de boquillas.

ACTIVIDADES	TIEMPO													
	SEMANAS													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Identificación de los puntos de agua														
Instalación de mangueras y boquillas														
Capacitación sobre el correcto uso de los dispositivos ahorradores.														

Fuente: Autora

Presupuesto:

Tabla 23. Presupuesto para dispositivos ahorradores de agua y boquillas.

Presupuesto		Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Adquisición hidrolavadora		UND	1	1'900.000	1'900.000
Adquisición boquillas		UND	40	9.700	388.000
Adquisición mangueras		Metros	40	12.500	500.000
Jornada de capacitación	Refrigerios	UND	45	4.500	202.500
	Material didáctico	UND	45	3.500	157.500
	Alquiler de Equipos	Horas	3	50.000	150.000
TOTAL					3'298.000

Fuente: Autora

5.4.3.1. PROGRAMA 3. Mejoramiento de la estructura física y la eficiencia del proceso de eviscerado.

PROYECTO 4. Instalación de macromedidores

Objetivo general

Adquirir elementos registradores para realizar macromedición, manteniendo un control adecuado de los volúmenes de agua manejados en el proceso de eviscerado

Específicos:

- Instalar elementos registradores (contadores) en cada una de las mangueras del proceso de eviscerado.
- Realizar mantenimientos periódicos a los macromedidores.

Metas:

* Conocer en un 100% el volumen de agua empleada en el proceso de eviscerado desde el primer mes de instalación de los macromedidores.

*Analizar el estado de los macromedidores posterior a 6 meses de uso.

Indicadores:

- Sumatoria del 100% de los registros de los macromedidores.

- Estado de macromedidores = $\frac{\text{No.de Macromedidores instalados}}{\text{No.total de Macromedidores a cambiar}} \times 100$

Metodología:

- La instalación de los macromedidores es fundamental para tener registro de los volúmenes reales gastados durante el proceso y así implementar medidas preventivas y correctivas enfocadas a la competitividad, producción y consumo sostenible.
- Cada seis meses se realizará una jornada de mantenimiento de estos dispositivos a cargo del personal de mantenimiento. No obstante durante todas las semanas de trabajo mediante listas de chequeo se verificará su estado.

Cronograma:

Tabla 24. Cronograma para la instalación de macromedidores.

ACTIVIDADES	TIEMPO													
	SEMANAS													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Instalación de elemento registrador (macromedidores).	■													
Capacitación sobre el uso, manejo y mantenimiento adecuado de los macromedidores a operarios.		■	■						■					■
Cambio o reparación de macromedidores				■	■	■								
Verificación de lista de chequeo del funcionamiento semanal de los macromedidores		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Autora

Presupuesto:

Tabla 25. Presupuesto para la instalación de macromedidores.

Presupuesto	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Adquisición de contadores en cada manguera	UND	40	125.000	5'000.000
Mantenimiento periódico de los contadores, cada (6) meses	UND	1	800.000	800.000
TOTAL				5'800.000

Fuente: Autora

Finalmente, en la Tabla 26 se presenta un consolidado de los presupuestos presentados anteriormente en cada proyecto de la implementación de alternativas de P+L planteadas.

Tabla 26. Presupuesto de ejecución de los proyectos.

PRESUPUESTO DE LOS PROGRAMAS Y PROYECTOS DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS		
PROGRAMAS	PROYECTOS	COSTOS (\$)
Mejoramiento de la estructura física y la eficiencia del proceso de eviscerado.	Instalación de dispositivos ahorradores de agua y adecuación de boquillas.	COSTOS (3'298.000)
	Instalación de macromedidores	COSTOS (5'800.000)
Aprovechamiento del rumen	Recolección del rumen en seco para su aprovechamiento	COSTOS (22'680.000)
Educación ambiental	Campañas de sensibilización a los empleados involucrados con el proceso de eviscerado	COSTOS (3'417.500)

Fuente: Autora

En el cumplimiento de la gestión ambiental integral para la PBA, culminando en lo que respecta al diagnóstico ambiental dentro del proceso productivo, muestra resultados favorables para la planta ya que no contaban con la cuantificación real del volumen de agua empleado en el proceso de vísceras, ni la cantidad de rumen que se genera. Con la implementación de las alternativas de prevención y minimización de la contaminación tan simples como la adquisición de boquillas e hidrolavadoras es evidente el ahorro en el consumo de agua, y en la cantidad de rumen tratado como residuo en la PTAR.

En busca de la prevención y mitigación de los impactos ambientales que conlleva la actividad del faenado bovino, realizar la inversión para la ejecución de los proyectos anteriormente descritos trae para la planta una disminución en costos de los insumos para el tratamiento de agua residual y agua potable.

El rumen mayor factor de contaminación, sería aprovechado al dejar de ser un residuo y pasar a ser fuente de materia prima.

La carga de contaminación ya disminuida debido a la implementación de los programas es tratada por medio de la incorporación de nuevas tecnologías en la PTAR descritas más adelante en el numeral 5.3; llevando a disposición final la mínima fracción posible de residuos y/o material que no pudo ser aprovechado.

5.1.5. EVALUACIÓN FINANCIERA

5.1.5.1. Valor Presente Neto. Para calcular el valor presente neto es necesario primero determinar la tasa de oportunidad del inversionista, que es la rentabilidad normalmente obtenida por éste en las alternativas de inversión que continuamente se le presentan, es decir, la tasa de rentabilidad que los inversionistas están acostumbrados hacer rendir su dinero.

Para el desarrollo de este proyecto se toma una tasa de 24% aproximadamente donde esta tasa será descontada en los flujos de fondos para traerlos a valor presente, esta tasa es tomada según el rendimiento del dinero de los inversionistas de la PBA. Aplicando la fórmula o introduciendo los datos en un programa de computador nos brinda el siguiente resultado.

VPN= \$624.999.788

El valor presente neto en este estudio es positivo lo cual quiere decir que el valor de los ingresos es mayor al valor de los egresos, en otras palabras es la utilidad que se recibiría hoy si se decidiera hacer la inversión de este proyecto.

5.1.5.2. Tasa Interna de Retorno TIR. Es la rentabilidad implícita del proyecto, es decir, la rentabilidad obtenida si todas las ganancias del proyecto fueran reinvertidas en él durante el período considerado. Se calcula como la tasa de interés que hace equivalentes los ingresos a los egresos en un momento determinado. Para este cálculo se utiliza una hoja de Excel que tiene la función o programa para su determinación. Una vez introducidos los datos al programa y haberle dado la orden de efectuar el cálculo, la TIR resultante para el presente proyecto es de 175%, lo cual quiere decir que el proyecto es de beneficio y muy atractivo para la PBA por que se obtiene una rentabilidad alta si se mantienen invertidos los dineros en un periodo de 5 años.

También se puede determinar que la inversión establecida para este proyecto se puede recuperar en los dos primeros años de la misma.

5.1.5.3. Relación Beneficio Costo. La Relación beneficio costo indica la cantidad que se recibe por cada peso que se invierte y se calcula hallando primero el valor presente de los ingresos y luego el valor presente de los egresos, y se establece la relación entre los dos valores, dividiendo la primera cantidad por la segunda.

Para este caso la RB/C es de 1.09, lo cual quiere decir que los ingresos son superiores a los egresos y brinda una buena oportunidad para hacer la inversión.

5.2. FASE 2. EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE SEPARACIÓN FÍSICA PARA EL CONTENIDO RUMINAL Y ESTIÉRCOL EN MEDIO ACUOSO.

5.2.1. Estudio de la sedimentabilidad y flotación como técnica de separación:

5.2.1.1. Sólidos sedimentables (método del cono imhoff). El proceso de beneficio bovino tarda aproximadamente ocho horas de trabajo dando inicio a las 2:00 pm y terminando a las 10 pm, durante ese periodo de tiempo se refleja un volumen considerable de sólidos sedimentables registrando el mayor a las 3:30 pm con un valor de 250 ml(Gráfica 4.); respecto a las 16 horas restantes que van desde las 11:00 pm donde empieza otro proceso denominado limpieza y desinfección hasta las 7:00 am para este horario los sólidos sedimentables son mínimos con un valor 5,5 ml(Gráfica 5).

El último proceso antes de volver a empezar el beneficio bovino es el pre-operativo que comprende desde las 9:00 am hasta la 1:00 pm donde simplemente hacen una verificación de las mangueras e instrumentos y dependiendo de su estado vuelven a hacer un lavado superficial de ciertas áreas con agua, es por esta razón que el volumen registrado en este espacio es 0 ml (Anexo E.).

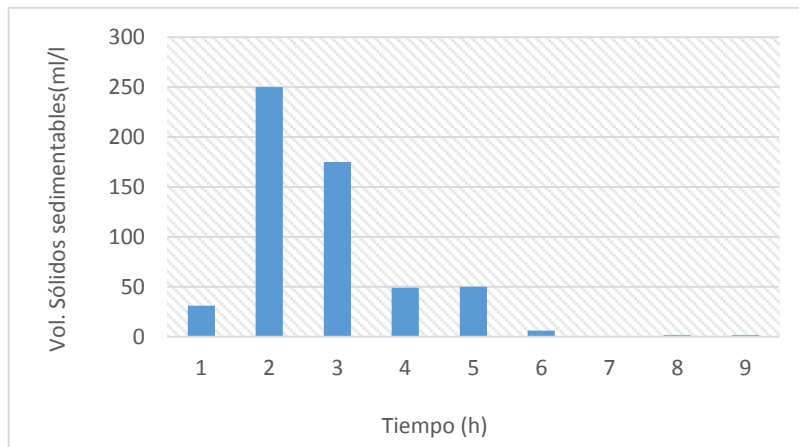
Figura 24. Método del cono imhoff.



Fuente: Autora

- **Proceso del Beneficio Bovino.**

Gráfica 3. Comportamiento de los sólidos sedimentables durante el tiempo de beneficio.

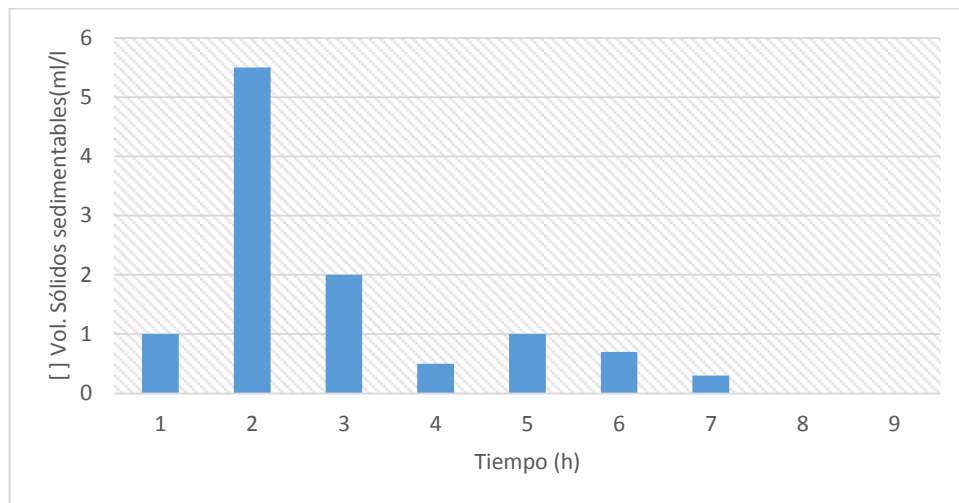


Fuete: autora

La gráfica 4 muestra un registro alto de sólidos sedimentables durante las primeras 3 horas del faenado bovino, dato que indispensable para el funcionamiento crítico de este efluente que llega al sistema de separación físico de la PTAR.

- **Proceso de limpieza y desinfección:**

Gráfica 4. Comportamiento de los sólidos sedimentables durante el tiempo de limpieza y desinfección.



Fuente: Autora

Finalmente la técnica más empleada en aguas residuales es la de sedimentación, esta técnica es muy importante para conocer el comportamiento del agua a tratar en la PTAR y el volumen de los sólidos sedimentables que se generan durante el proceso de faenado; son estos datos, una muestra representativa real con la que puede llegarse a diseñar algún tipo de sedimentador según la producción de lodo que se genera ajustándose a las condiciones de operación de la planta.

5.2.2. Estudio de tamizados como técnica de separación: Esta fase del proyecto fue basada en el análisis granulométrico(Gráfica 7) de las partículas de rumen, desarrollada en el laboratorio de suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana siguiendo la norma ASTM 136 -2005 (Anexo F); mediante la elaboración de la gráfica 8 donde se representa la distribución del tamaño de partículas del material ruminal que pasan a través de un juego de tamices de diferente diámetro y peso de malla (tabla 27) que allí se encuentran.

Tabla 27. Características de los tamices.

N° TAMIZ	PESO(g)	DIÁMETRO MALLA²⁹ (mm)³⁰
4	516,1	4,75
8	487,2	2,36
10	490,7	2,00
40	371,4	0,425
60	361,6	0,25
80	353,9	0,18
100	348,1	0,15
200	337,4	0,075
Fondo	369,4	0

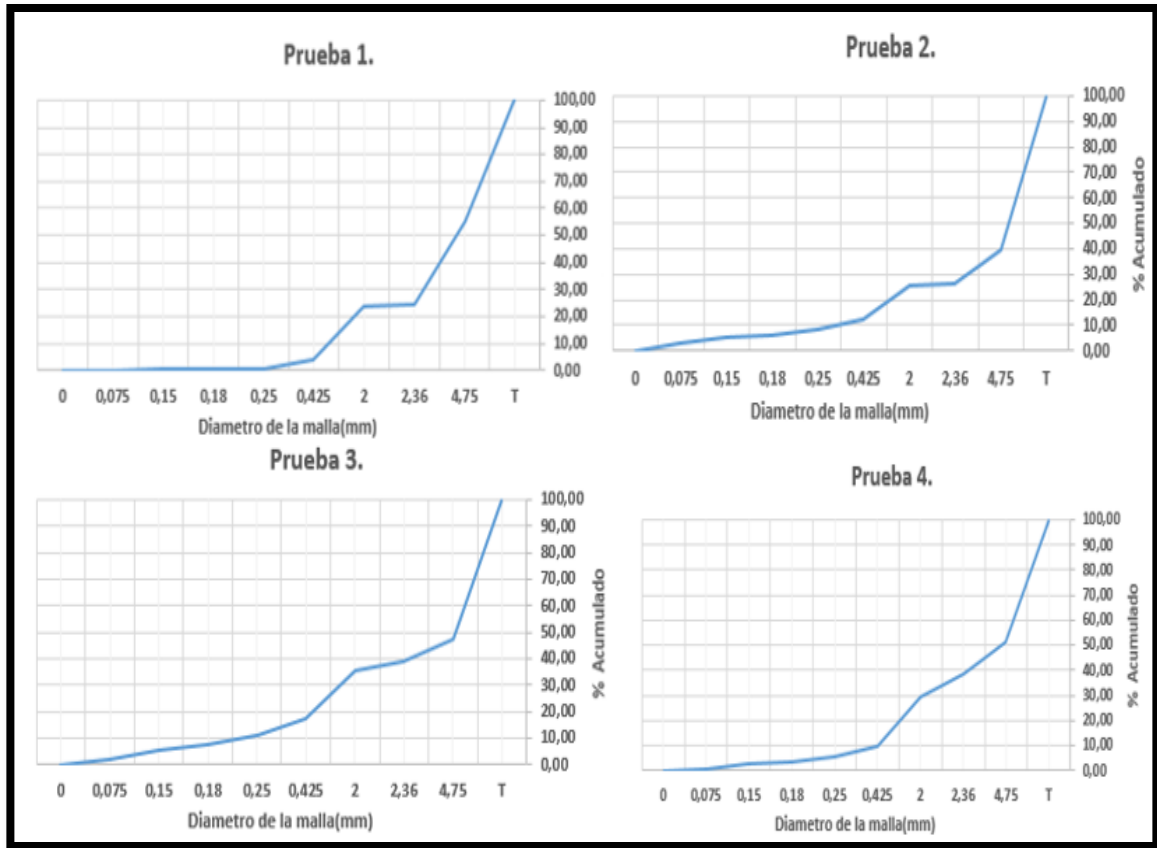
Fuente: Autora

Las cuatro muestras tomadas en campo pertenecen al tornillo de deshidratación del cuarto de Vísceras blancas (Anexo A); a continuación se muestra el conjunto de curvas donde es retenido el mayor porcentaje de partículas de rumen (ver grafica 6).

²⁹ SERRANO, María y TORRADO, Luz. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos afectados por derrames de hidrocarburo. Tomado y Adaptado de INV E - 123 – 13. Recuperado el 08 de Julio de 2015.

³⁰PLATA, Ángela. Análisis de la Biodegradación de pesticidas organoclorados bajo condiciones reductoras y oxidativas secuenciales aplicadas a una muestra de suelo contaminado del municipio de Agustín Codazzi, Cesar. Pág. 45. 2015.

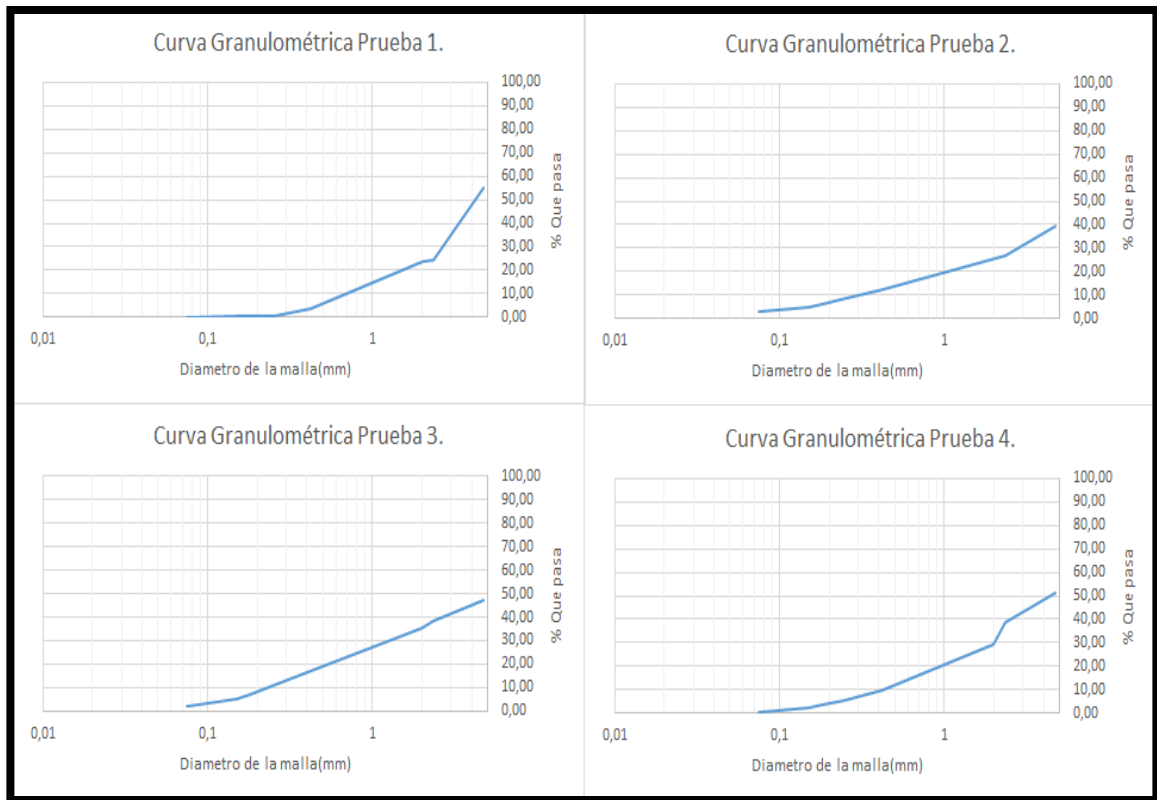
Gráfica 5. Comportamiento de las partículas tamizadas.



Fuente: Autora

La gráfica 6 muestra los resultados de mucha utilidad que pueden ser empleados en el tratamiento preliminar del efluente que llega al tratamiento de estas aguas proveniente del proceso de eviscerado o como complemento del agua decantada que sale del sedimentador. El sistema de mallas más óptimo a emplear según este estudio debe tener un diámetro de 4,75 mm donde se retiene el 50% del material, otro de 2 mm donde se retiene 30% y por último uno de 1,5 mm que retiene un 15%. Para una remoción total del 95% con este sistema.

Gráfica 6. Curva Granulométrica del contenido ruminal.



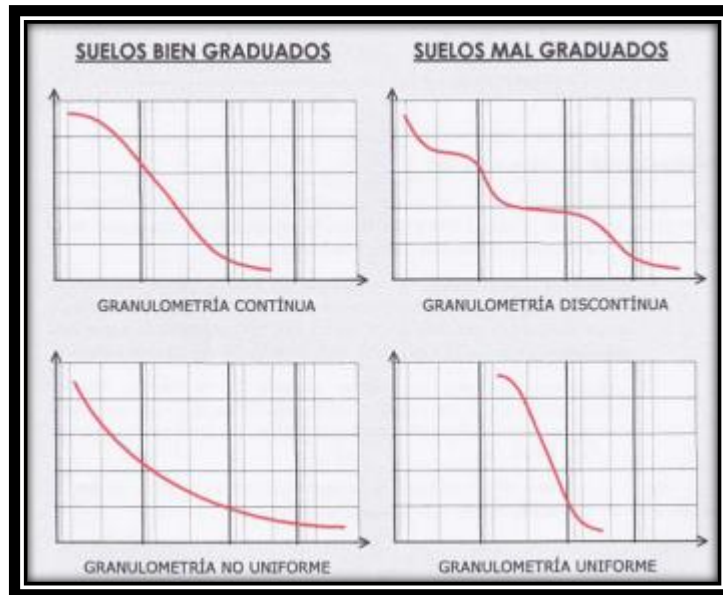
Fuente: Autora

El fin de conocer el tamaño de partícula que conforma el rumen, que puede contribuir en las diferentes técnicas de separación física como el tamizado, arrojó los siguientes resultados.

Mediante la gráfica 7 Se puede expresar numéricamente la gradación de este tipo de material a través de la determinación del coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc), obteniendo valores de 4,8 y 1,1 respectivamente. El Cu (4 a 6) indica un “suelo bien graduado” para la literatura²²(Figura 22), para este caso el rumen tendría un valor cercano lo que indica que este material presenta una distribución equitativa en los tamaños de partículas, confirmando la presencia de cantidades diferentes de tamaño de las mismas, el cual puede compactarse

fácilmente; el C_c representa una curva continua y bien distribuida, lo que demuestra un equilibrio en los diferentes tamaños de partículas de este material.

Gráfica 7. Patrones de comparación de uniformidad y continuidad de una curva granulométrica.



Fuente: Bañón y Beviá 2000 - PLATA, Ángela 2015

5.2.3. Estudio de flotabilidad por aire difuso como técnica de separación.

Debido a que las pruebas realizadas en el numeral 5.2.1. Muestran que no existe material flotante (ver figura 24), obteniendo los siguientes resultados.

El estudio de flotabilidad por aire difuso que se había planteado anteriormente no se puede realizar; se concluye que al no existir evidencias de este material toda el agua que sale por el tubo de vísceras blancas no se comporta como agua residual sino como lodo.

Se propone que para trabajar con un material como lo es el rumen la técnica del cono imhoff en su principio de funcionamiento es válido, pero si se trabaja con un tiempo más prolongado de sedimentación aparecerá material flotante.

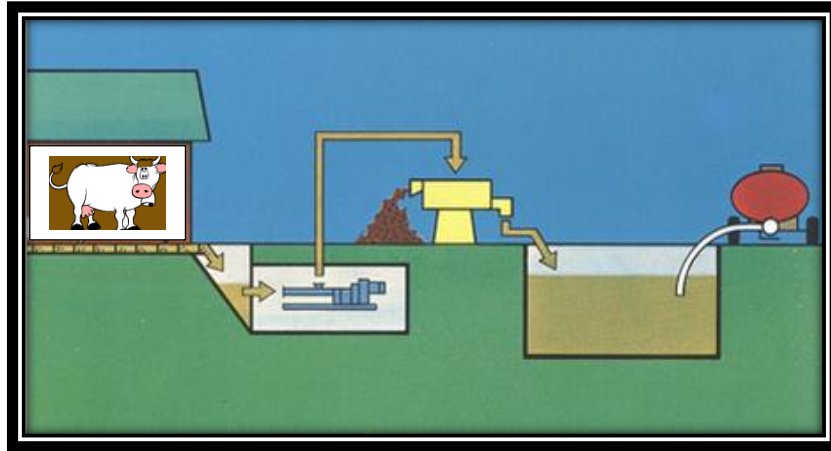
5.3 FASE 3. DISEÑO DE UNA ALTERNATIVA PARA EL SISTEMA DE SEPARACIÓN FÍSICO DEL CONTENIDO RUMINAL Y CORRALES.

Con base a lo desarrollado en este proyecto y dentro de las acciones encaminadas al mejoramiento del funcionamiento de la planta se pensó en una alternativa de solución dentro de una serie de procedimientos para la minimización y adecuado manejo del volumen de residuos generados durante el proceso.

5.3.1. Alternativas Para Corrales. El tratamiento para deshidratar el estiércol podrá ser ubicado en corrales, donde como instrumento preliminar a la alternativa estarían las rejillas de diferente diámetro las cuales retendrán fácilmente el estiércol mejor compactado hasta desintegrarlo en partículas más pequeñas, dichas rejillas deben limpiarse periódicamente donde el material recolectado debe ir a un **tamiz rotativo** y mediante una tolva se dirijan hacia un **tornillo prensa** para ser deshidratado y obtener una fracción menor siendo separada la fracción líquida y sólida como se muestra en la figura 23; reduciendo así la carga orgánica que entra a la PTAR y mejor recolección y aprovechamiento de estos residuos.

El esquema de la instalación con el separador sólido-líquido en la parte central: Tornillo prensa y tamiz rotativo. Propuesta factible para implementar en los corrales del frigorífico en estudio.

Figura 25. Esquema de separación mecánica.



Fuente: MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Gobierno de España. 2013.

5.3.2. Alternativas Para Mejorar El Sistema De Separación Físico Actual Con Que Funciona La Ptar.

5.3.2.1. Alternativa con o sin reducción en la fuente. Realizado el diagnóstico del proceso productivo en el cuarto de eviscerado y evaluadas las técnicas de separación física para el estudio del comportamiento físico del agua y el material contaminante, se proponen alternativas para los diferentes procesos que se desarrollan enfocados a reducción en la fuente.

A continuación en la Figura 26 se plantea la modificación del funcionamiento actual de la PTAR, incorporando a este una nueva unidad de tratamiento, un biodigestor.

Donde se calculó:

$$24 \text{ Kg} \times 485 \text{ Vacas} = 11640 \text{ Kg. Rumen / día}$$

$$V.B = 11640 \text{ m}^3 / \text{día}$$

El tiempo requerido para biodegradar la materia prima se estima que es de 20 días por literatura³¹; por un factor de corrección de 1,3.

$$T. R = 20 \text{ días} \times 1,3 = 26 \text{ días para formar biomasa}$$

$$V. D = 11,64 \text{ m}^3/\text{ día} \times 26 \text{ días}$$

$$V.D = 302,64 \text{ m}^3$$

$$V.G = \text{Peso Rumen} \times \text{rendimiento del rumen} \times \text{TRH}$$

$$V.G = 11640 \text{ Kg/ día} \times 0,04 \times 12\text{h} = \mathbf{5587,2 \text{ m}^3}$$

$$V.BD = V.D + V.G$$

$$V.BD = 302,64 + 5587,2$$

$$V.BD = 5889,84 \text{ m}^3$$

$$r = \sqrt{\frac{V.BD}{h \times \pi}} = 12,4 \text{ m}$$

Dónde:

V.B = Volumen de biomasa

T.R = Tiempo de Retención

V.D = Volumen de Digestión

V.G = Volumen del gas (metano)

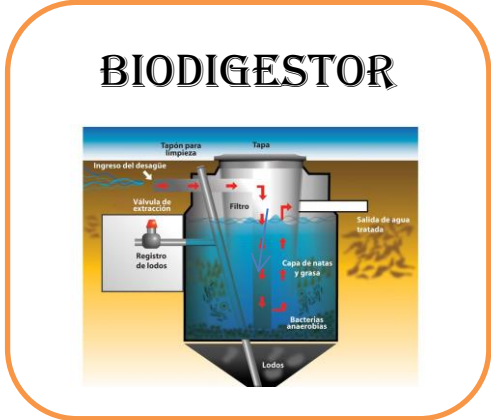
V.BD = V. Biodigestor

Vol. cilindro = $\pi \times r^2 \times h$

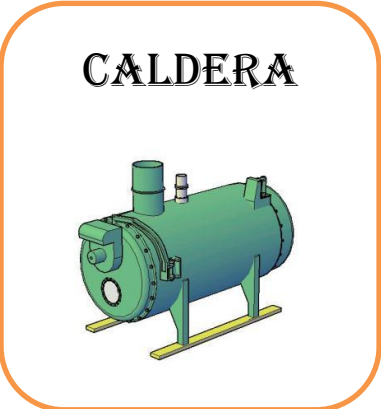
³¹ MARTINEZ, Carlos.

Figura 26. Tratamiento sin reducción en la fuente.





CH₄ =
5587,2 M3



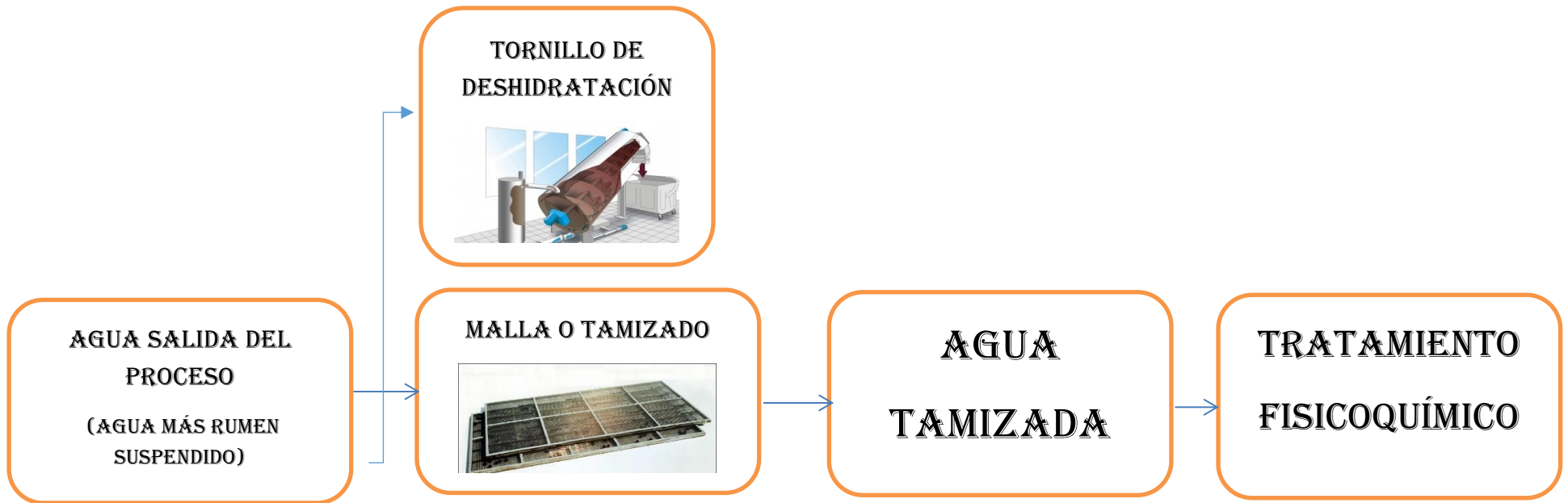
LODO DIGERIDO

MATERIAL DE
COBERTURA

Fuente: Autora

La Figura 27 evidencia el tratamiento a realizar después de adoptarse las medidas de prevención y minimización de la generación de esta agua residual que antes llegaba a la PTAR altamente cargada.

Figura 27. Tratamiento con reducción en la fuente para la salida del proceso.



Fuente: Autora

La Figura 28 muestra el tratamiento después de haber recogido el rumen en seco implementando la tecnología del tornillo sin fin en el cuarto de eviscerado para que sean de esta manera mejoradas sus condiciones y pueda ser comercializado como materia prima de excelente calidad.

Figura 28. Tratamiento con reducción en la fuente implementado tecnología.



Fuente: Autora

- **ALTERNATIVA PROPUESTA AUMENTANDO EL TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.**

Reevaluando el proceso descrito anteriormente en busca de la optimización de los procesos involucrados para el actual funcionamiento del sistema de separación físico de la planta se pretende:

Modificar el tanque “estercolero” existente y hacer de esta un tanque de almacenamiento (ver tabla 28) que brinde el volumen necesario para almacenar el volumen de agua que actualmente es vertido directamente al río. Lo anterior permitirá minimizar costos por la evacuación del agua residual que se realiza mediante equipo vector.

Teniendo en cuenta un volumen de agua residual de 727.5 m³ generados al día, se estableció que el 60% del volumen ingresará a la unidades a diseñar, siendo este, 436.5 m³ con un caudal promedio de 15.15 L/s en un periodo de 8 horas.

Tabla 28. Diseño del tanque de almacenamiento.

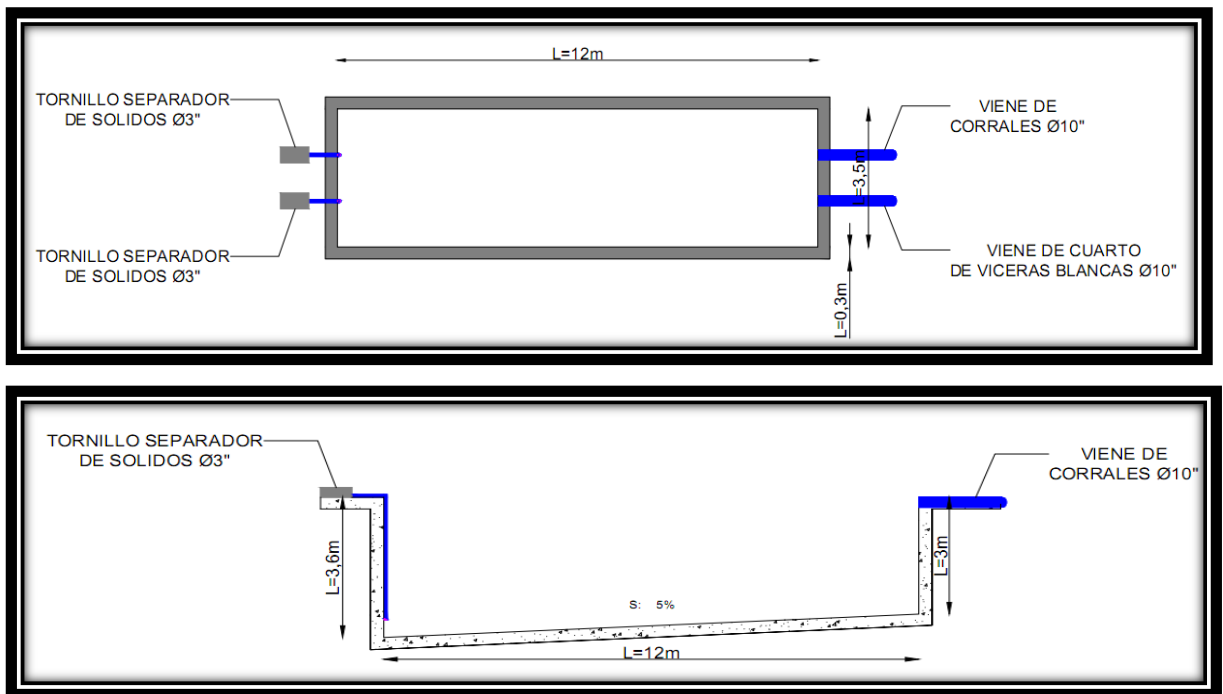
Diseño tanque de almacenamiento	
Q afluente (L/s)	15.15
Volumen generado (m³)	436.5
Largo (m)	12
Ancho (m)	3.5
profundidad (m)	3- 3.6
Pendiente (%)	5
Volumen de almacenamiento (m³)	138

Fuente: Autora

Con la modificación de las unidades existentes se garantiza un volumen de almacenamiento de 138 m^3 . La pendiente del 5% al interior de la unidad permite el arrastre de los sólidos sedimentados, disminuyendo así el tiempo de retención de los mismos y la generación de olores ofensivos.

Los tornillos separadores de sólidos cuentan con capacidad de tratamiento de 8 L/s, con dos unidades en total la capacidad total asciende a 16 L/s; de esta manera en un periodo de operación de 8 horas se garantiza el tratamiento de $436,56 \text{ m}^3$ del volumen total generado, quedando un remanente de $90,9 \text{ m}^3$, para lo cual se aconseja extender el periodo de funcionamiento en 1,5 horas, y de esta manera se garantiza el tratamiento de la matriz de agua residual generada a lo largo del proceso productivo, minimizando sustancialmente los costos asociados al reemplazo de las unidades existentes.

Figura 29. Diseño de la alternativa con aumento del tiempo de funcionamiento de la PTAR.



Fuente: Autora.

Tabla 29. Presupuesto de alternativa con aumento del tiempo de funcionamiento de la PTAR.

OPTIMIZACIÓN UNIDADES DE TRATAMIENTO PRELIMINAR PTAR (PBA)					
FORMULARIO DE CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRECIOS					
ITEM	CONCEPTO	CANTIDAD	UN. D.	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
2 MOVIMIENTO DE TIERRA					
2.1	Excavaciones				
1					
A	Excavación con acarreo libre	12.60	m ³	6,000	75600
2.3	Acarreos			0.00	
5	acarreo totales			0.00	
	mayores de 1000.00 m	12.60	m ³	2,509	31,613.57
Subtotal: \$					107,213.57
3 TUBERÍAS PREFABRICADAS					
3.1	Tubería de PVC				
1	Tubería sanitaria				
a	Suministro e instalación de tubería de D= 3"	30.00	m	4,000.00	120,000.00
Subtotal: \$					120,000.00
4 ESTRUCTURAS					
4.1	Concretos				
1	Suministro y colocación de concreto	12.60	m ³	600,000.00	7,560,000.00
Subtotal: \$					7,560,000.00
5 VARIOS					
5.1	Demolición de estructuras existentes				
1	Demolición de estructuras en concreto simple	8.00	m ³	112,586.96	900,695.64
Subtotal: \$					900,695.64
TOTAL COSTOS DIRECTOS: \$					8,687,909.21

6. CONCLUSIONES

- Se encontró que las alternativas de P+L permiten la reducción de agua empleada en proceso y la reducción de la carga contaminante que van al sistema de tratamiento. El cambio de la extracción del residuo en seco y no en medio acuoso contribuiría con un ahorro de 33.686m³. La implementación de tecnologías ahorradoras dentro del proceso de vísceras blancas anualmente representaría una reducción en el consumo de agua de 32.618 m³. En costos representa una disminución del orden de \$260.000.000. En el uso de cambio de mangueras a hidrolavadoras también tiene un cambio significativo del orden de \$160.000.000
- La Implementación de la tecnología de los 4 programas de P+L en la PBA tendría un retorno a la inversión de 175% con una recuperación de la inversión en los dos primeros años de la implementación.
- En la separación física del material ruminal se encontró que las partículas que lo conforman, el 50% tiene un tamaño de 4,75 mm , el 30% de 2 mm y el restante tiene un tamaño comprendido entre 0,5 y 1,0 mm, por tanto la ubicación de un sistema de tamizaje para retener sólidos deben considerarse estos tamaños.
- La separación física por sedimentación muestra un buen comportamiento de sedimentabilidad del lodo, en ocasiones llego a ser el 30% del volumen a tratar, mostrando la necesidad de mejorar tecnológicamente el sedimentador primario.

7. RECOMENDACIONES

- ❑ Se recomienda que en el sitio de degüello se construya una pileta de sangrado, en su defecto colocar algún tipo de recipiente que permita el aprovechamiento del total de la sangría del animal.
- ❑ Se recomienda que los programas de P+L enfocados para el proceso de eviscerado sean implementados en toda la línea de sacrificio bovino, así se tendrán reportes reales y control estricto del proceso que genere el mayor volumen de agua.
- ❑ Se recomienda invertir en tecnología específica que se encargue de manera automatizada en realizar un volteo de las panzas para que el rumen caiga directamente a un sistema transportador de bandas que almacene el rumen en seco.
- ❑ Debido a la afluencia de campesinos cerca de la PBA se recomienda hacer uso de un terreno compartido los propietarios de dichas fincas para implementar un proceso de la transformación del rumen en vermicompostaje líquido y/o sólido como beneficio no solo ambiental sino social, para las comunidades que viven de trabajar la tierra.

BIBLIOGRAFIA

ARROYAVE, Joan y GARCÉS, Luis. Tecnologías ambientalmente sostenibles. Febrero, 2007.[en línea] [citado agosto 24 de 2015] Disponible en http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n2/pl_v1n2_7886_tecnolog%C3%ADas.pdf >

Cadena Velazco Alexandra (2009)

CADENA, Alexandra. Manual para la identificación del impacto ambiental generado por las plantas de sacrificio de ganado vacuno, P.42, 47. 2009.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR (CORPOCHIVOR). Guía ambiental para mataderos- mataderos modernizaos: salud, economía y ambiente garantizado. Pág. 7, 8,21, 2003.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) Guía ambiental para las plantas de beneficio del ganado, Fedefondos Bogotá, Colombia. 7 de Octubre de 2002.

EMCALI. PTAR Cañaveralejo. Diciembre 2002.

EULLOQUE, Jesús. Caracterización física, química, Bilógica y valoración agronómica del vermicompost de Eisenia Foetida obtenido del contenido ruminal de bovino. Jiquilpan, Michoacán, México: Instituto politécnico. Pág. 2, 5, 8, 9,11,15,16,20,40,41,44,46,52. Enero 2013.

FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA Ambiental II. Guía de laboratorio 1. Determinación de sólidos. [en línea] [citado 24 de agosto de 2015] Disponible en <<ecentro.uca.edu.ni/pd/mod/file/download.php?file_guid=7540>>

GARANTO, Osvaldo, ZIZMANN, Richard, WICHT, Hartmut y FASSBENDER, Dirk. El Método EDZ/Roediger de secado de fango solar- Esamur. 2005. [en línea] [citado 24 de agosto de 2015] Disponible en <<<http://www.esamur.com/jornadas/ponencias/ponencia98.pdf>>>

INDUSTRIA HACH. Cono, sedimentación Imhoff, 1 litro, policarbonato, con cierre a rosca. [en línea] [citado 24 de agosto de 2015] Disponible en <<<http://latam.hach.com/cono-sedimentacion-imhoff-1-litro-policarbonato-con-cierre-a-rosca/product?id=16076399593>>>

LLEIDA. Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Diciembre de 2004.

MARTINEZ, Carlos. Volúmenes de biodigestores. Disponible en <<<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo04.htm>>>

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE GOBIERNO DE ESPAÑA. (2013). Equipos para el tratamiento del estiércol en las explotaciones ganaderas, Separadores sólido-líquidos.

MINISTERIO DE AMBIENTE DE ESPAÑA. Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector matadero y transformados de pollo y gallina. Capítulo 2. Pág. 47 Capítulo 4. Pág., 82, 2006.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Viceministerio de ambiente. Política nacional de producción y consumo. Pág. 29, 30, 35,41, 2010.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política ambiental para la gestión integral de residuos sólidos y peligrosos capítulo 1,3 y 4. Diciembre de 2005.

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución No.3753, Art. 15. República de Colombia. 24 de Septiembre de 2013.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU), Codex alimentarius, 1954. [en línea] [citado 18 de agosto de 2015]. Disponible en <<<http://www.codexalimentarius.org/>>>

PLATA, Ángela. Análisis de la Biodegradación de pesticidas organoclorados bajo condiciones reductoras y oxidativas secuenciales aplicadas a una muestra de suelo contaminado del municipio de Agustín Codazzi, Cesar. Pág. 45. 2015.

SENTA JIANGXI Mining Equipment Co., Ltd. [en línea] [citado 24 de agosto de 2015] Disponible en <<<http://vietnamese.alibaba.com/product-gs/small-mobile-sand-gravel-used-trommel-screen-1955382553.html>>>

SERRANO, María y TORRADO, Luz. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos afectados por derrames de hidrocarburo. Tomado y Adaptado de INV E - 123 – 13. Recuperado el 08 de Julio de 2015.

TARINGA. Sistema Digestivo de los Rumiantes Imagen . [en línea] [citado 10 de agosto de 2015] disponible en <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/13669378/Sistema-Digestivo-de-los-Rumiantes.html>

UICAB-BRITO, L.A. y SANDOVAL, C.A. Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta: Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México Pág.45 2003.

ANEXOS

Anexo A. Registro de la toma de muestras en la PTAR de la planta de beneficio animal

Tubo corrales



Tubo vísceras blancas



Fuente: autor

Toma de muestra en los tornillos.



Toma de Muestra Caja de inspección de la Sección de Corrales



Fuente: autor

..

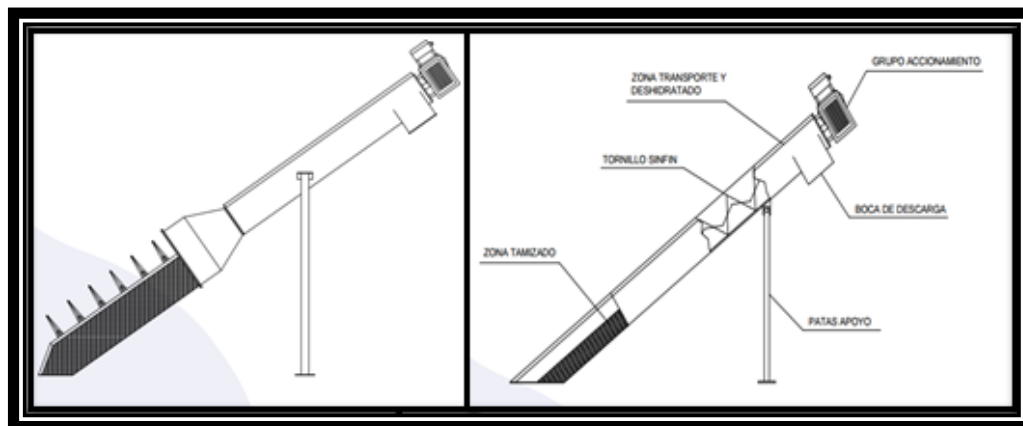
Anexo B. Pruebas de laboratorio Sólidos totales.

PESO 1 CAPSULAS	PESO 2	DIFERENCIA DE PESO 2 - PESO 1	PESO 3	DIFERENCIA DE PESO 2 - PESO 3	MUESTRA	FECHA: 26/08/15	HORA: 2:20 pm
97,0411	97,0987	0,0576	73,0286	24,0701	vísceras blancas sólido	muestra sólida en (mg/g)	
92,4879	92,5097	0,0218	91,8432	0,6665	vísceras blancas líquido	muestra líquida en (mg/L)	

sólidos volátiles	Sólidos totales	
120350,5	288	%
3332,5	436	P/p
		mg/L

Anexo C. Registro De Equipos Propuestos Enfocados a la Minimización de Residuos Contaminantes E Insumos

. Tamiz transportador sin fin



Fuente: Imagen – disponible en -
<<<http://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Sistemas-Tornillos-Sinfin.pdf>>>

. Hidrolavadora:



Fuente: Imagen – disponible en - << <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/146369/Hidrolavadora-3.8-hp-1800-psi-9Lt?navAction=push>>>

Especificaciones:

- Capacidad: 9 litros
- Presión: 1800 psi
- Caudal por minuto:1.85

Boquillas



Fuente: Imagen – disponible en - <<<http://spanish.alibaba.com/product-gs/sell-garden-hose-quick-connect-nozzle-coupler-set-280137520.html>>>

Especificaciones:

- Caudal: 400 L/h
- 120 Bar
- Ahorro de agua aproximado de 3100 L/h

Anexo D Registro del consumo de agua en el cuarto de eviscerado.

MANGUERA	TIEMPO DE LAVADO TOTAL(S)	CAUDAL MANGUERA (L/S)	CONSUMO DE AGUA(L)
ingreso lavandería	1,46	0,205479452	0,3
manguera 1	1,3	0,261538462	0,34
manguera 2	0,53	0,660377358	0,35
manguera 3 derecha	0,8	0,4	0,32
manguera 4	0,44	2,318181818	1,02
manguera 5	0,59	0,86440678	0,51
manguera 6	0,56	1,196428571	0,67
manguera 7	0,53	1,018867925	0,54
manguera 8	0,79	0,569620253	0,45
manguera 9	0,39	1	0,39
manguera 10	0,73	0,616438356	0,45
manguera 11	0,64	0,828125	0,53
manguera 12	0,61	0,508196721	0,31
manguera del medio	0,78	0,41025641	0,32
manguera columna	0,69	0,652173913	0,45
Debajo manguera Columna	0,43	1,23255814	0,53
manguera 13	0,38	1,710526316	0,65
ingreso tolva	0,48	1,229166667	0,59
manguera 14	0,42	0,80952381	0,34
manguera 15	0	0	0
manguera 16	0,36	0,916666667	0,33
manguera 17	0,67	0,567164179	0,38
manguera 18	0,64	0,671875	0,43

MANGUERA	TIEMPO DE LAVADO TOTAL(S)	CAUDAL MANGUERA (L/S)	CONSUMO DE AGUA(L)
manguera 19	0,39	1	0,39
manguera 20	0,35	1,057142857	0,37
manguera 21	0,32	1,15625	0,37
manguera 22	0,34	1,147058824	0,39
manguera 23	0,83	0,493975904	0,41
manguera 24	0,35	1,342857143	0,47
manguera 25	0,26	2,115384615	0,55
manguera 26	1,03	0,621359223	0,64
manguera 27	0,86	0,639534884	0,55
manguera 28	0,08	4,25	0,34
manguera 29	0,06	8,166666667	0,49
3 Piscinas	28800	0,208333333	6000
6 ollas a presión grises	28800	0,277777778	6000
4 ollas rosadas	28800	0,092592593	2000
2 ollas celeste	28800	0,092592593	2000
TOTAL			202296,8842

SUMA Q SEPARACIÓN DE RUMEN panzas	29,9559881
L	862732,457
M3	862,732457

SUMA Q SEPARACIÓN DE intestinos	10,68181381
L	307636,2377
M3	307,6362377

Ahorro de la ruta 1. (ABDGH)	82190,8054	L
	82,1908054	M3

Diferencia del ahorro entre la ruta 1 y 2	12,4215676	M3
---	------------	----

Ahorro de la ruta 2. (ABEFH)	94612,373	L
	94,612373	M3

Ahorro del lavado en seco	49263,1579	No tiene manguera derecha/izquierda sin boquilla
	35400	Sin boquilla
	23314,2857	No hay manguera derecha dañada
	0	
	26400	

Ahorro del lavado en seco	134377,444	L
	134,377444	M3
	107,977444	Ahorro(M3)
	279,953008	L/min

Instrumento	m3	Ahorro día	Ahorro mes
Hidrolavadora	0,888	3374,4	80985,6
por manguera	26,928	102326,4	2455833,6

Instrumento	m3	Ahorro día	Ahorro mes
Boquillas	3,168	12038,4	288921,6
por manguera	36,288	137894,4	3309465,6

Anexo E. Muestreo del volumen de solidos sedimentables en el tubo de conducción de eviscerado a la PTAR

N°	VOLUMEN SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml)	HORA	N°	VOLUMEN SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg/l)	OBSERVACIONES
23	31	02:00	0	31000	No se observan sobrenadantes
24	250	03:00	1	250000	No se observan sobrenadantes
1	175	04:00	2	175000	No se observan sobrenadantes
2	49	05:00	3	49000	No se observan

N°	VOLUMEN SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml)	HORA	N°	VOLUMEN SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg/l)	OBSERVACIONES
					sobrenadantes
3	50	06:00	4	50000	No se observan sobrenadantes
4	6	07:00	5	6000	No se observan sobrenadantes
5	0,5	08:00	6	500	No se observan sobrenadantes
6	1,5	09:00	7	1500	No se observan sobrenadantes
7	1,4	10:00	8	1400	No se observan sobrenadantes
8	1	11:00	0	1000	No se observan sobrenadantes
9	5,5	12:00	1	5500	No se observan sobrenadantes
10	2	01:00	2	2000	No se observan sobrenadantes
11	0,5	02:00	3	500	No se observan sobrenadantes
12	1	03:00	4	1000	No se observan sobrenadantes
13	0,7	04:00	5	700	No se observan sobrenadantes
14	0,3	05:00	6	300	No se observan sobrenadantes
15	0	06:00	7	0	No caudal
16	0	07:00	8	0	No caudal
17	0	08:00	0	0	No caudal
18	0	09:30	0	0	No caudal
19	0	10:30	1	0	No caudal
20	0	11:30	2	0	No caudal
21	0	12:30	3	0	No caudal
22	0	13:30	4	0	No caudal

	Beneficio bovino
	Limpieza y

	desinfección
	Pre - operativo

FASE DEL PROCESOS	VOLUMEN SOLIDOS SEDIMENT ABLES (ml)	VOLUMEN SOLIDOS SEDIMENTA BLES (mg/l)
Beneficio bovino	250	250000
Limpieza y desinfección	5,5	5500
Pre – operativo	0	0

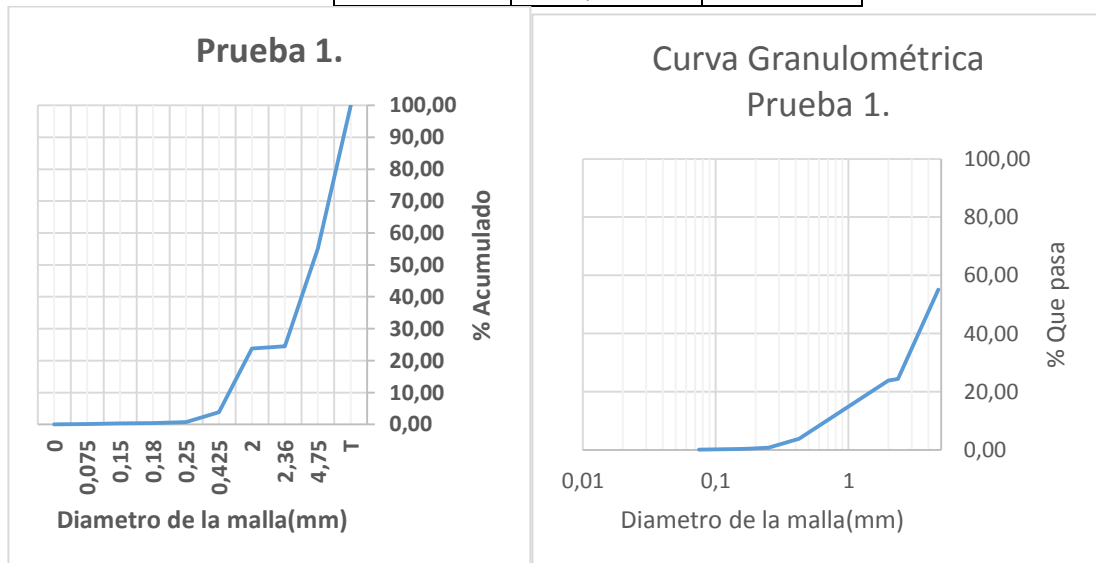
Anexo F. Prueba de tamizado

Prueba 1.							
TAMICES	Diámetro malla(mm)	PESO Tamiz g	Peso tamiz+ suelo (g)	Peso suelo (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	% Acumulado
	T						100,00
N°4	4,75	516,1	545,3	29,2	44,92	55,08	55,08
N°8	2,36	482,2	502,1	19,9	30,62	24,46	24,46
N°10	2	490,7	491,1	0,4	0,62	23,85	23,85
N°40	0,425	371,4	384,4	13	20,00	3,85	3,85
N°60	0,25	361,6	363,6	2	3,08	0,77	0,77
N°80	0,18	353,9	354,1	0,2	0,31	0,46	0,46
N°100	0,15	348,1	348,2	0,1	0,15	0,31	0,31
N°200	0,075	337,4	337,5	0,1	0,15	0,15	0,15
TAPA	0	369,4	369,5	0,1	0,15		0,00
Tota				65			

Diámetro malla(mm)	% Que pasa
4,75	55,08

2,36	24,46
2	23,85
0,425	3,85
0,25	0,77
0,18	0,46
0,15	0,31
0,075	0,15

Parámetro	Valor	Curva prueba 1.
D10	0,7	
D30	2,8	
D60	4,2	
Cu	6,000	
Cc	2,667	

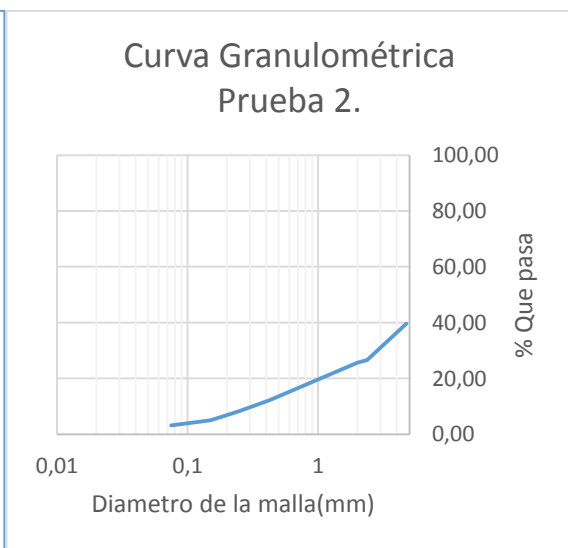


Prueba 2.							
TAMICES	Diámetro malla(mm)	PESO Tamiz g	PESO g con muestra	Peso suelo (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	% Acumulado
	T						100,00
N°4	4,75	516,1	548,6	32,5	60,41	39,59	39,59
N°8	2,36	487,2	494,2	7	13,01	26,58	26,58
N°10	2	490,7	491,2	0,5	0,93	25,65	25,65
N°40	0,425	371,4	378,6	7,2	13,38	12,27	12,27

N°60	0,25	361,6	363,7	2,1	3,90	8,36	8,36
N°80	0,18	353,9	355,1	1,2	2,23	6,13	6,13
N°100	0,15	348,1	348,7	0,6	1,12	5,02	5,02
N°200	0,075	337,4	338,4	1	1,86	3,16	3,16
TAPA	0	369,4	371,1	1,7	3,16		0,00
Tota				53,8			

Diámetro malla(mm)	% Que pasa
4,75	39,59
2,36	26,58
2	25,65
0,425	12,27
0,25	8,36
0,18	6,13
0,15	5,02
0,075	3,16

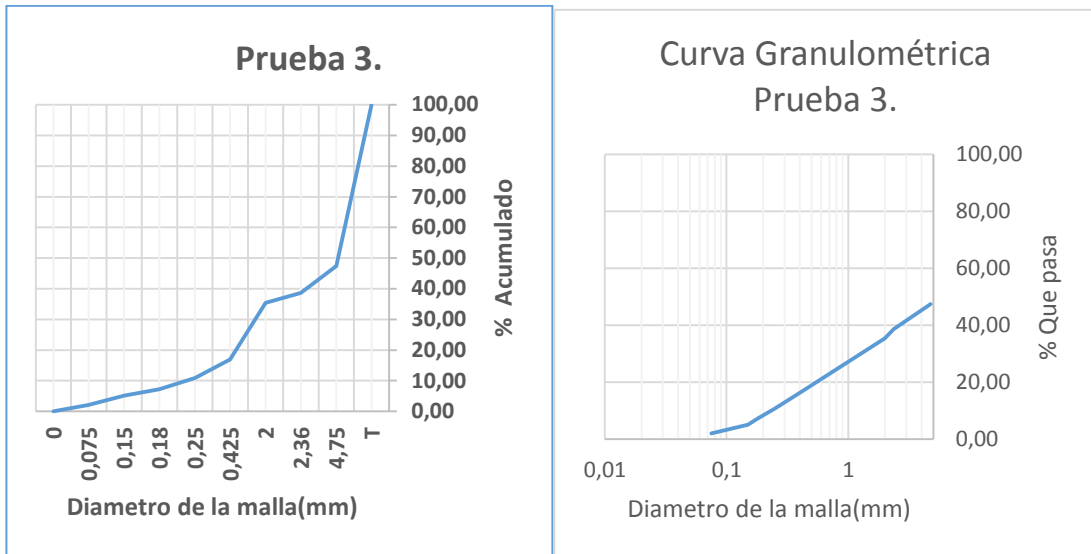
Parámetro	Valor	Curva prueba 2.
D10	0,35	
D30	3	
D60	5	
Cu	14,2857143	
Cc	5,14285714	



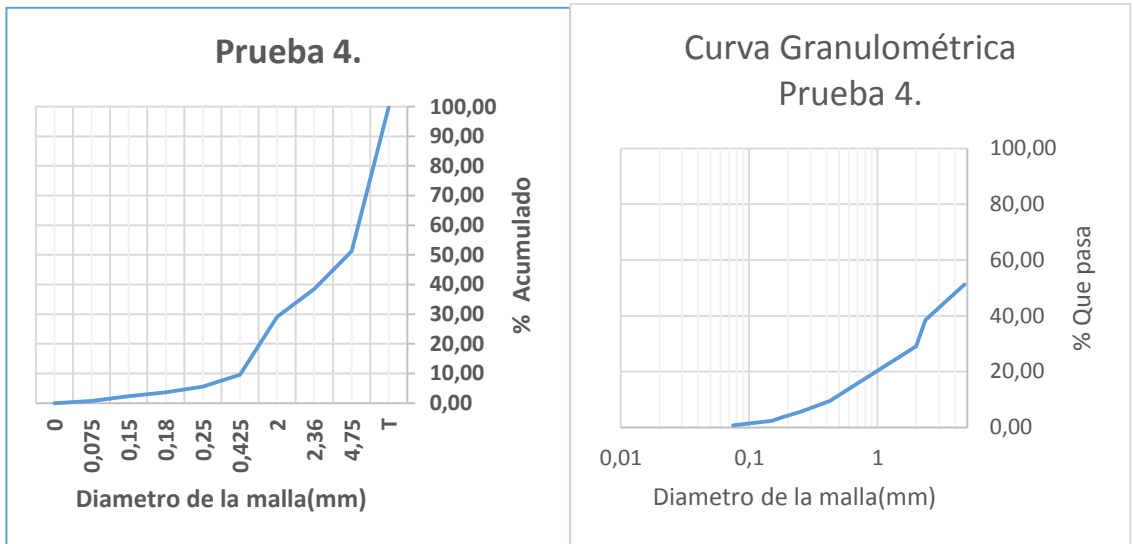
Prueba 3.							
TAMICES	Diámetro malla(mm)	PESO Tamiz g	PESO g con muestra	Peso suelo (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	% Acumulado
	T						100,00
N°4	4,75	516,1	543,7	27,6	52,57	47,43	47,43
N°8	2,36	487,2	491,8	4,6	8,76	38,67	38,67
N°10	2	490,7	492,4	1,7	3,24	35,43	35,43
N°40	0,425	371,4	381,1	9,7	18,48	16,95	16,95
N°60	0,25	361,6	364,8	3,2	6,10	10,86	10,86
N°80	0,18	353,9	355,8	1,9	3,62	7,24	7,24
N°100	0,15	348,1	349,2	1,1	2,10	5,14	5,14
N°200	0,075	337,4	339	1,6	3,05	2,10	2,10
TAPA	0	369,4	370,5	1,1	2,10		0,00
Tota				52,5			

Diámetro malla(mm)	% Que pasa
4,75	47,43
2,36	38,67
2	35,43
0,425	16,95
0,25	10,86
0,18	7,24
0,15	5,14
0,075	2,10

Parámetro	Valor	Curva prueba 3.
D10	2,5	
D30	1,4	
D60	5	
Cu	2	
Cc	0,1568	



Prueba 4.							
TAMICES	Diámetro malla(mm)	PESO Tamiz g	PESO g con muestra	Peso suelo (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	% Acumulado
	T						100,00
N°4	4,75	516,1	543,2	27,1	48,74	51,26	51,26
N°8	2,36	487,2	494,3	7,1	12,77	38,49	38,49
N°10	2	490,7	495,9	5,2	9,35	29,14	29,14
N°40	0,425	371,4	382,3	10,9	19,60	9,53	9,53
N°60	0,25	361,6	363,8	2,2	3,96	5,58	5,58
N°80	0,18	353,9	355	1,1	1,98	3,60	3,60
N°100	0,15	348,1	348,8	0,7	1,26	2,34	2,34
N°200	0,075	337,4	338,3	0,9	1,62	0,72	0,72
TAPA	0	369,4	369,8	0,4	0,72		0,00
Total				55,6			



Diámetro malla(mm)	% Que pasa
4,75	51,26
2,36	38,49
2	29,14
0,425	9,53
0,25	5,58
0,18	3,60
0,15	2,34
0,075	0,72

Parámetro	Valor	Curva prueba 4.
D10	0,45	
D30	2,1	
D60	5	
Cu	11,111	
Cc	1,960	

Parámetro	Valor	Valor Promedio
D10	1	
D30	2,325	
D60	4,8	
Cu	4,800	
Cc	1,126	

Anexo G. Diseño de alternativa de separación físico de los contaminantes que llegan a la PTAR

