

Maestría en Ingeniería Civil

TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE BENEFICIO DE CONEJOS

Diana Marcela Carrillo Parra

Bogotá, D.C., 13 de Enero de 2020



TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE BENEFICIO DE CONEJOS

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis
en Ingeniería Ambiental**

Jairo Alberto Romero Rojas

Director

Bogotá, D.C., 13 de Enero de 2020

La tesis de maestría titulada “**TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE BENEFICIO DE CONEJOS**”, presentada por Diana Marcela Carrillo Parra, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental.

Director de la tesis

Ing. Jairo Alberto Romero Rojas

Jurado

Ing. María Paulina Villegas de Brigard

Jurado

Ing. María Carolina Romero Pereira

Bogotá, D.C., 13 de enero de 2020

Resumen

La cunicultura es un sector productivo que ha evolucionado de forma lenta en el país; sin embargo, la carne de conejo cuenta con un alto potencial de competencia con las principales fuentes de proteínas actuales. El beneficio de conejos es una actividad que consume menor cantidad de agua comparado con otras explotaciones pecuarias; no obstante, genera aguas residuales que al no ser tratadas adecuadamente ocasionan alta contaminación al recurso hídrico y al suelo. Son muy pocas las plantas de beneficio que cumplen con las disposiciones legales en materia de vertimientos, la razón principal es que la mayoría de producciones cunícolas son de pequeña escala y no cuentan con los recursos suficientes para implementar las adecuaciones necesarias para este fin.

En el presente trabajo, se determinó el diseño conceptual del sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes del proceso de beneficio de conejos de una empresa ubicada en El Rosal (C/marca). Para esto, se consultó información secundaria sobre otros sistemas de tratamientos implementados, se identificó la norma aplicable en materia de vertimientos y reúso, se identificaron las etapas del proceso de beneficio de conejos, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual, se compararon los resultados con las disposiciones establecidas en la Resolución 631 de 2015, y en la Resolución 1207 de 2014, y se calcularon las eficiencias de remoción requeridas de cada parámetro respecto a la norma aplicable.

Se formularon tres (3) alternativas conceptuales para el tratamiento de las aguas residuales en estudio, teniendo en cuenta que contienen altas cargas contaminantes de DBO, DQO, grasas y aceites, sólidos suspendidos, coliformes termotolerantes y nitratos, y que el proceso de beneficio de conejos de esta empresa se realiza una vez por semana con una duración de 1 hora, produciendo un caudal de agua residual de 0,21 m³.

Se seleccionó la alternativa 2 compuesta por trampa de grasas, filtro anaeróbico de flujo ascendente y cloración para permitir reúso del agua tratada en riego de cultivos. La alternativa cumpliría con las eficiencias de remoción requeridas por la norma, y con requerimientos de costo beneficio.

Índice general

Introducción	8
Objetivos.....	9
Metodología.....	9
Capítulo I Marco Referencial.....	10
1.1 Contexto mundial de la carne de conejo	10
1.2 La cunicultura en Colombia	10
1.3 Marco Legal.....	10
1.4 Procesos de tratamientos para aguas residuales del beneficio de animales.....	12
Capítulo II Proceso de Beneficio de Conejos	16
2.1 Descripción del proceso.....	16
2.2 Diagrama de flujo del proceso de beneficio de conejos	19
2.3 Balance de residuos del proceso de beneficio de conejos.....	20
2.4 Residuos sólidos generados en el beneficio de conejos	20
2.5 Aguas residuales del beneficio de conejos	22
Capítulo III Caracterización del Agua Residual	24
Capítulo IV Eficiencias requeridas para el Sistema de Tratamiento	25
Capítulo V Diseño Conceptual del Sistema de Tratamiento.....	28
5.1 Alternativa 1: Laguna Facultativa.....	28
5.2 Alternativa 2: Filtro anaerobio y Cloración	29
5.3 Alternativa 3: Cloración.....	31
5.4 Evaluación de alternativas	32
Conclusiones	33
Referencias	34

Índice de tablas

Tabla 1. Normatividad ambiental para Usos del Agua.....	11
Tabla 2. Normatividad ambiental para Aguas Residuales	11
Tabla 3 Proceso de beneficio de conejos.....	16
Tabla 4 Caracterización del agua residual cruda	24
Tabla 5 Eficiencias requeridas para vertimiento a cuerpo de agua superficial	25
Tabla 6 Eficiencias requeridas para reúso en riego a cultivos.....	27
Tabla 7 Eficiencias requeridas para reúso en descarga de aparatos sanitarios	27
Tabla 8 Características de la trampa de grasas	28
Tabla 9 Características de la laguna facultativa	29
Tabla 10 Características del filtro anaerobio de flujo ascendente	30
Tabla 11 Características del tanque de contacto para cloración	30
Tabla 12 Características del tanque de contacto para cloración	31
Tabla 13 Evaluación de alternativas para el sistema de tratamiento.....	32

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de Flujo del proceso de beneficio de conejos	19
Figura 2 Balance de residuos del proceso de beneficio de 30 conejos	20
Figura 3 Proceso de Compostaje.....	21
Figura 4 Manejo y conservación de Pieles de conejos.....	22
Figura 5 Aguas residuales generadas en el proceso	23
Figura 6 Descarga aguas residuales.....	23
Figura 7 Diagrama de flujo Alternativa 1	28
Figura 8 Diagrama de flujo Alternativa 2	29
Figura 9 Diagrama de flujo Alternativa 3	31

Introducción

En Colombia, la cunicultura es un sector que ha ido creciendo lentamente pero que ha logrado encaminarse como un negocio rentable. Según el Ministerio de Agricultura (2018) existieron alrededor de 37.800 unidades productivas a nivel nacional con una cría promedio anual de 735.000 conejos, para una producción promedio al año de 1.000 toneladas de carne de conejo. Según estadísticas del INVIMA, solo existen 7 plantas de beneficio autorizadas e inscritas vigentes a junio del 2019 (dos en Antioquia; una en Bogotá; tres en Cundinamarca: Fusagasugá, Granada y La Calera; una en Valle del Cauca).

La carne de conejo es un alimento de alto nivel nutricional¹ y saludable, pues para el levante de conejos no se utilizan elementos químicos ni hormonas. Por ello, tiene opción para competir con otros procesos productivos que actualmente son las fuentes principales de proteínas.

Dentro de la cunicultura se desarrolla la actividad de beneficio animal, la cual tiene un alto potencial contaminante del recurso hídrico y del suelo principalmente, ya que se generan impactos ambientales por el agotamiento del recurso, por la generación de residuos sólidos, y por la descarga de efluentes con un elevado nivel de carga orgánica. Esto se debe a manejo deficiente de la recolección de la sangre, malas prácticas de lavado de vísceras y de las instalaciones, escaso aprovechamiento y reutilización de subproductos, ausencia de caracterización y control de los residuos líquidos generados, los cuales se descargan directamente sin ningún tratamiento a las fuentes hídricas o sobre el suelo.

Las aguas residuales de esta actividad pueden incluir: trazas de heces y orina, sangre, pelusa, lavazas, residuos de carne y grasas de las canales, del suelo y de los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, y tripas de los animales sacrificados. En efecto, el agua residual se caracteriza por contener altas cargas de DBO, DQO, patógenos, nitratos, grasas y aceites, las cuales requieren de tratamiento y descarga final en vertederos aceptables.

En este trabajo se realiza el diagnóstico conceptual del tratamiento de las aguas residuales en una planta de beneficio de conejos, ubicada en el municipio El Rosal – Cundinamarca. Se determinan las características del agua residual y se presentan tres (3) alternativas de tratamientos eficientes y factibles desde el punto de vista técnico, normativo y económico para este tipo de unidad productiva.

¹ La carne de conejo es magra, tiene bajo contenido de colesterol, no contiene ácido úrico, bajo en grasa saturada, alto en grasa insaturada y poliinsaturada (omegas), bajo contenido de sodio, alto contenido proteico.

Objetivos

Objetivo general:

Formular un diseño conceptual del sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes de un proceso de beneficio de conejos.

Objetivos específicos:

- Conocer los procesos y tratamientos existentes para aguas residuales provenientes del proceso de beneficio de conejos.
- Identificar la normatividad que regula el manejo de vertimientos generados en las actividades de beneficio de animales.
- Evaluar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua residual proveniente del beneficio de conejos.
- Definir 3 alternativas de tratamiento para el agua residual proveniente del beneficio de conejos. Seleccionar la mejor alternativa.

Metodología

- Consultar la información secundaria disponible sobre procesos y sistemas de tratamiento de agua residual generada en el beneficio de animales.
- Identificar la normatividad aplicable para el manejo de vertimientos de aguas residuales no domésticas.
- Conocer e identificar las etapas del proceso de beneficio de conejos.
- Realizar muestreo, análisis y caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual generada en el beneficio de conejos.
- Analizar los resultados obtenidos y diseñar tres (3) alternativas de tratamiento para el agua residual estudiada.
- Seleccionar la mejor alternativa de tratamiento según eficiencia del sistema, costos y cumplimiento de la normatividad de cada una de ellas.

Capítulo I

MARCO REFERENCIAL

1.1 Contexto mundial de la carne de conejo

Según el Ministerio de Agroindustria de Argentina (2018), en el mundo, Asia es el primer productor de carne de conejo con el 72%, seguido de Europa con el 20%, África con el 7% y América con el 1%. Para el año 2016, China se ubicó en el primer lugar de producción de carne de conejo con 849.150 toneladas anuales, seguido de España con 50.552 ton/año, México con 4448 ton/año, Colombia con 3197 ton/año y Argentina con 916 ton/año. De otro lado, Europa es el principal consumidor, seguido de Sudamérica y Asia. China, a pesar de ser el principal productor, presenta un bajo nivel de consumo, debido a que su producción está encaminada al uso del pelo en la elaboración de prendas de vestir. Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2019), España tuvo un consumo per cápita de 1 kg y según Rodríguez (2018) Colombia tuvo un consumo per cápita de 0,25 kg en el año 2018.

1.2 La cunicultura en Colombia

La cunicultura en Colombia se inició, en el año 1960, con un programa cunícola en los departamentos de Antioquia, Valle y Cundinamarca, con el fin de mejorar la alimentación campesina y crear excedentes en su economía; pero este programa fracasó. En vista de lo anterior algunos cunicultores de Antioquia y Cundinamarca toman de nuevo la iniciativa del programa cunícola e importan de Estados Unidos las razas Nueva Zelanda, blanca, roja y negra, y California, principalmente. Para la década del 65 se tiene en nuestro medio una industria más organizada, empleándose una tecnología más especializada, lográndose diversificar la producción de carne, piel y pelo y utilizando excedentes menores en la industria artesanal. En la actualidad se realizan estudios para la utilización industrial de la piel, para lograr con ello una fuente de ingreso al cunicultor y contribuir a la preservación de otros tipos de fauna perseguidos por su piel (Muñoz, 2018).

1.3 Marco Legal

En las Tablas 1 y 2, se muestra la normatividad ambiental vigente en Colombia para usos del agua y vertimientos.

Tabla 1. Normatividad ambiental para Usos del Agua

Norma	Objeto	Norma derogada o modificada
Ley 373 de 1997 (Congreso de la República).	Fija obligaciones sobre ahorro y uso eficiente de agua a quienes administran y/o usan el recurso hídrico.	Deroga el decreto 155 de 2004
Decreto 1076 de 2015 capítulo 4. Registro de usuarios del recurso hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS).	Establece todo lo relativo a permiso para aprovechamiento o concesión de aguas, y normas específicas para los diferentes usos dados al recurso hídrico.	Deroga los decretos 1541 de 1978 y 303 de 2012 que reglamentaron parcialmente el artículo 64 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico.
Decreto 1076 de 2015 capítulo 6, tasas por utilización de agua (MADS).	Reglamentó el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.	Deroga el decreto 155 de 2004.

Fuente: Corantioquia, 2016.

Tabla 2. Normatividad ambiental para Aguas Residuales

Norma	Objeto	Norma derogada o modificada
Resolución 1207 de 2014 (MADS).	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.	
Decreto 1076 de 2015. Capítulo 3 Ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos (MADS).	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	Deroga el decreto 3930 de 2010. Deroga partes del decreto 1594 de 1984 que no habían sido derogadas por el 3930.
Resolución 631 de 2015 (MADS).	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	
Decreto 1076 de 2015: Capítulo 7 Tasas retributivas por vertimientos puntuales al agua (MADS).	Por el cual se reglamentó la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones	Deroga el Decreto 2667 de 2012

Tabla 3. Normatividad ambiental para Aguas Residuales (continuación)

Norma	Objeto	Norma derogada o modificada
Decreto 1076 de 2015: Vertimientos al suelo (MADS).	Por el cual se reglamentó que la infiltración de residuos líquidos requiere de permiso de vertimientos ante la autoridad ambiental.	
Decreto 050 del 2018 (MADS).	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.	
Circular SJUR No. 201214100319 (CAR).	Por la cual se manifiesta que las solicitudes de vertimiento al suelo que presenten ante la CAR no podrán tramitarse y serán negadas, hasta tanto el Ministerio fije la respectiva norma de vertimiento.	

Fuente: Adaptado de Corantioquia, 2016.

1.4 Procesos de tratamientos para aguas residuales del beneficio de animales

Los métodos de tratamiento del agua residual en mataderos se pueden dividir en dos grupos: anaerobios y aerobios. Los tratamientos anaerobios permiten un alto grado de reducción de la DBO en aguas de alta concentración orgánica, producen menor cantidad de lodos y permiten la obtención de biogás que puede ser reutilizado en el propio matadero; los tratamientos aerobios permiten la transformación del nitrógeno orgánico y amoniacal en nitrato y no generan fuertes olores como los anaerobios (Chaux, 2009).

En general, los mataderos usan grandes cantidades de agua en las operaciones de procesamiento de animales y, por ello, producen grandes cantidades de aguas residuales que deben ser tratadas. El tratamiento primario efectivo, antes del tratamiento secundario, aumentará la efectividad y eficiencia general de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. La eliminación física de grasas y sólidos, antes del tratamiento secundario y terciario es objetivo esencial en esta actividad.

Las aguas residuales producidas en las áreas de sacrificio de animales generalmente tienen DBO, sólidos suspendidos, nutrientes y contaminación bacteriana alta. Los siguientes sistemas

se usan comúnmente para tratamiento secundario del efluente del matadero (Department of Agriculture and Rural Development, 2009):

- Lagunas anaerobias o de sedimentación
- Lagunas facultativas
- Lagunas aireadas
- Equipos de flotación por aire disuelto (DAF por sus siglas en inglés);
- Tanques sépticos
- Plantas de tratamiento compactas

Nunca se insistirá lo bastante en que el tratamiento de las aguas residuales comienza en la planta, donde se debe hacer todo lo posible por adoptar una recuperación eficiente de los subproductos y una limpieza en seco, no sólo porque el material recuperado es valioso, sino también porque se disminuye la carga contaminante en el agua y el caudal de agua utilizado, reduciendo de ese modo los costos.

Sistemas de tratamiento primario: Los procedimientos de tratamiento primario comúnmente utilizados son los siguientes: procedimientos de ordenación y de limpieza propiamente dicha seguidos del tamizado para la eliminación de los sólidos pesados y sedimentables, tubos en U para grasas, y depósitos de despumación para la eliminación de los sólidos finos y las grasas y aceites.

En el tratamiento de las aguas residuales de la industria de la carne se utiliza invariablemente el paso por una rejilla para excluir la carne, los huesos, las descarnaduras de pieles y cueros y otros sólidos gruesos de las aguas de desecho. Su función es sumamente importante y produce la eliminación de condiciones perjudiciales, bloqueos de las bombas o de las tuberías aguas abajo, así como el mejoramiento de la eficiencia de los procedimientos de tratamiento posterior. Una serie de rejillas fabricadas localmente podría también resultar adecuada, utilizando dos o tres rejillas de barras con aperturas comprendidas entre los 5 cm y los 0,5 cm.

Las altas concentraciones de grasas que se dan en las aguas residuales de la industria de la carne se pueden reducir mediante trampas de grasas, tubos en U y procesos de flotación por aire disuelto.

La flotación por aire disuelto es un procedimiento muy común en mataderos grandes. El aire se disuelve en el agua residual bajo presión (3 – 4 m³ de aire/hora por m³ de depósito) y posteriormente se transforma en microburbujas (de 50 a 200 mm de diámetro) a presión

atmosférica. La flotación por aire disuelto puede lograr remociones de un 30 a 60% de sólidos suspendidos y de un 50 a 80% de sebos, aceites y grasas.

El tratamiento primario físico químico permite extraer hasta el 95 por ciento de los sólidos en suspensión y posiblemente el 70 por ciento de la demanda bioquímica de oxígeno. Incluye el tratamiento de las aguas residuales, mediante la incorporación de coagulantes y agentes de floculación para lograr la sedimentación de los sólidos en suspensión. Esta fase va seguida de la floculación y la sedimentación. Se debe tener en cuenta que la sangre tiene capacidad para inhibir la formación de flocs en el proceso fisicoquímico de tratamiento del agua residual y tiene un aporte alto de materia orgánica (DBO).

Sistemas de tratamiento secundario: Se requieren generalmente para satisfacer las normas de vertimiento para DBO.

- Lodos activados
- Filtros percoladores
- Lagunas naturales en serie
- Lagunas aireadas
- Tratamiento biológico anaeróbico.

La elección del sistema más adecuado depende de los costos, del nivel de remoción de demanda bioquímica de oxígeno requerido, de la superficie de terreno disponible, del nivel de olores y de los requisitos municipales específicos (FAO, 1993).

Para tratar adecuadamente las aguas residuales de la industria cárnica, la opción más recomendable y ventajosa es un diseño que incluya un pretratamiento del agua que elimine los sólidos gruesos y finos, elimine también los aceites y grasas y amortigüe las fluctuaciones de caudal y/o carga; y a continuación, un tratamiento biológico, el cual será el responsable de eliminar la materia orgánica y el nitrógeno. A continuación, se describen con mayor detalle estas etapas.

Pretratamiento: el primer proceso necesario consiste en un desbaste de gruesos y finos, mediante tamices de 10 mm y 4 mm de tamaño de paso respectivamente. A continuación, también es conveniente separar los aceites y grasas del agua antes del tratamiento biológico, puesto que éstos tienen una demanda de oxígeno elevada. Una forma efectiva de separarlos es mediante flotación. Finalmente, debido a las fluctuaciones de caudal y carga contaminante a lo largo del

ciclo productivo, es conveniente incluir una etapa de homogenización del caudal, que amortigüe los picos que se producen a lo largo del tiempo.

Tratamiento biológico: éste puede estar basado en tecnologías muy diferentes, de las cuales la más favorables son:

Lodos activos de baja carga: mediante un proceso de biomasa en suspensión de baja carga, en la que la parrilla de difusores del sistema de aireación no ocupe la totalidad del biorreactor, es posible tanto eliminar la materia orgánica disuelta como conseguir la desnitrificación. En función de la disposición de los difusores de aire, se establecen zonas aerobias y zonas anóxicas en el reactor, y su alternancia permite la eliminación del nitrógeno.

SBR: mediante un proceso discontinuo secuencial se pueden eliminar tanto la materia orgánica como los nutrientes. En el caso de un reactor SBR todos los procesos se dan lugar en el mismo reactor, pero de forma secuencial en el tiempo. Para trabajar de forma discontinua, es indispensable disponer de un depósito que acumule previamente el agua residual que va llegando al sistema de tratamiento.

Proceso anaerobio: mediante un tratamiento anaerobio de las aguas residuales se puede eliminar tanto la materia orgánica como el nitrógeno, sin consumo de oxígeno. Como producto de la secuencia de transformaciones que se producen en el interior del proceso, parte del carbono del agua residual acaba en forma de biogás, una mezcla revalorizable de dióxido de carbono y metano.

Las tres alternativas de tratamiento biológico son eficientes, robustas y cada una con sus ventajas y restricciones. No obstante, se debe destacar que la opción del tratamiento biológico anaerobio es la que conlleva costo de operación inferior por el menor consumo energético y por la generación de biogás (Tuset).

Capítulo II

PROCESO DE BENEFICIO DE CONEJOS

La empresa en estudio es productora y comercializadora de carne de conejo y de subproductos cunícolas, tiene un periodo de montaje y operación de 5 años, está ubicada en El Rosal, Cundinamarca. Actualmente, cuenta con cerca de 200 conejos en pie (vivos) dentro de la granja, donde son criados, alimentados para su engorde, reproducción, beneficio, comercialización de la carne y aprovechamiento de los subproductos (vísceras, sangre, pelos, cabezas, patas, pelos, etc.).

La actividad de beneficio de conejos generalmente se realiza una vez por semana (los días martes), y la cantidad de conejos depende de la orden solicitada por los clientes. En algunas ocasiones se hace el sacrificio cada quince días. En promedio, en la planta se sacrifican 120 conejos al mes, esta actividad inicia con la selección de los conejos en pie y finaliza con el empaqueo de canales, para su posterior transporte hasta el cliente final. El proceso para sacrificar 30 conejos dura 1 hora aproximadamente, y se describe en la Tabla 3.

La empresa en estudio tiene proyectado ampliar las instalaciones, aumentar la producción y expandirse rápidamente en el mercado, razón por la cual tiene el interés de implementar un sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en el beneficio de conejos, que le permita cumplir con las normas en materia de vertimientos y realizar una actividad ambientalmente sostenible.

2.1 Descripción del proceso

Tabla 4 Proceso de beneficio de conejos


No.	Etapa del proceso	Descripción	Registro fotográfico
1	Selección de conejos	Se selecciona del criadero la cantidad de conejos para sacrificio de acuerdo con la solicitud del cliente (peso, sexo y edad). Los animales deben tener un ayuno de por lo menos 12 horas para disminuir el contenido de evisceración, y se les suministra sólo agua para evitar deshidratación.	

Tabla 5 Proceso de beneficio de conejos (continuación)









No.	Etapa del proceso	Descripción	Registro fotográfico
2	Lavado de utensilios e instalación	El lavado de instalaciones y utensilios (mesón, ganchos, canastillas, baldes, entre otros) se realiza con agua, desinfectante (hipoclorito de sodio al 5.25%) y jabón antes de iniciar el sacrificio de los conejos. También, es primordial el lavado de manos.	
3	Insensibilización	Se toma al animal de las patas posteriores con la mano izquierda del operario, con la mano derecha se toman las orejas y se introduce la cabeza dentro del insensibilizador, se jala con fuerza hacia atrás, y el conejo queda inconsciente.	
4	Degüello o Desangrado	El conejo insensibilizado se cuelga boca abajo fijando las patas traseras en un gancho. Con un cuchillo bien afilado, se corta la yugular y se deja desangrar por completo (2 minutos máximo). Se recoge en canecas la mayor cantidad de sangre posible, la cual se utiliza en el proceso de compostaje. Se estima que un 5% de la sangre de cada conejo va a dar en el vertimiento.	
5	Desollado	Se hacen los cortes necesarios para separar la piel de la canal. Se separan con cuidado los bordes de la piel de la canal y se jala la piel hacia abajo. Se cortan los extremos de las patas delanteras y las orejas, y se depositan en canecas para compostar. Se hace un lavado de la canal para retirar pelos y residuos.	

Tabla 6 Proceso de beneficio de conejos (continuación)

No.	Etapa del proceso	Descripción	Registro fotográfico
6	Eviscerado	Al conejo desollado se le hace un corte longitudinal por la línea media del vientre desde la cola hasta el cuello. Se dejan el hígado y los riñones. Se sacan la cola y los órganos del sistema digestivo, y se depositan en canecas para compostar; el corazón, tráquea y pulmón se depositan en bolsas para darles un uso posterior.	
7	Lavado de canal	La canal eviscerada se lava con agua a presión y un cepillo para eliminar coágulos, bacterias, sangre, pelos y grasa. Posteriormente, se coloca dentro de una canastilla.	
8	Secado y empacado	Las canales se dejan escurriendo hasta que se secan a temperatura ambiente. Posteriormente, se empacan en bolsas de polietileno y se llevan a refrigeración mientras se transportan hasta el cliente final. Algunas canales se empacan al vacío según la necesidad del cliente.	
9	Lavado de utensilios e instalaciones	El lavado de instalaciones y utensilios (mesón, ganchos, canastillas, baldes, entre otros) se realiza con agua, desinfectante (hipoclorito de sodio al 5.25%) y jabón después de realizar el sacrificio de los conejos. También, es primordial el lavado de manos.	

2.2 Diagrama de flujo del proceso de beneficio de conejos

En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo del proceso de beneficio de conejos evaluado.

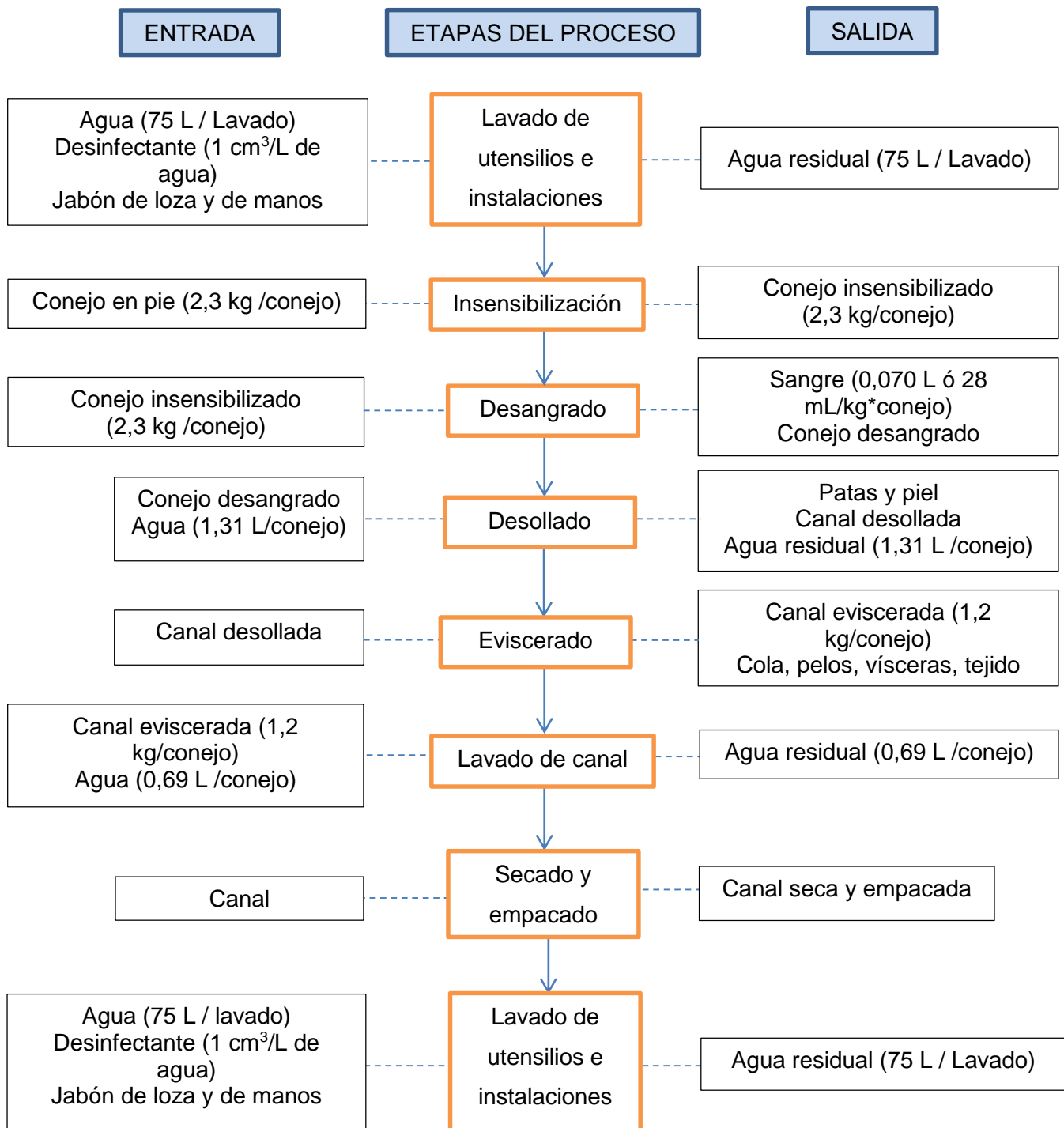


Figura 1 Diagrama de Flujo del proceso de beneficio de conejos

2.3 Balance de residuos del proceso de beneficio de conejos

Para el proceso de beneficio evaluado, 30 conejos por ciclo de operación, se presenta el balance de residuos en la Figura 2.

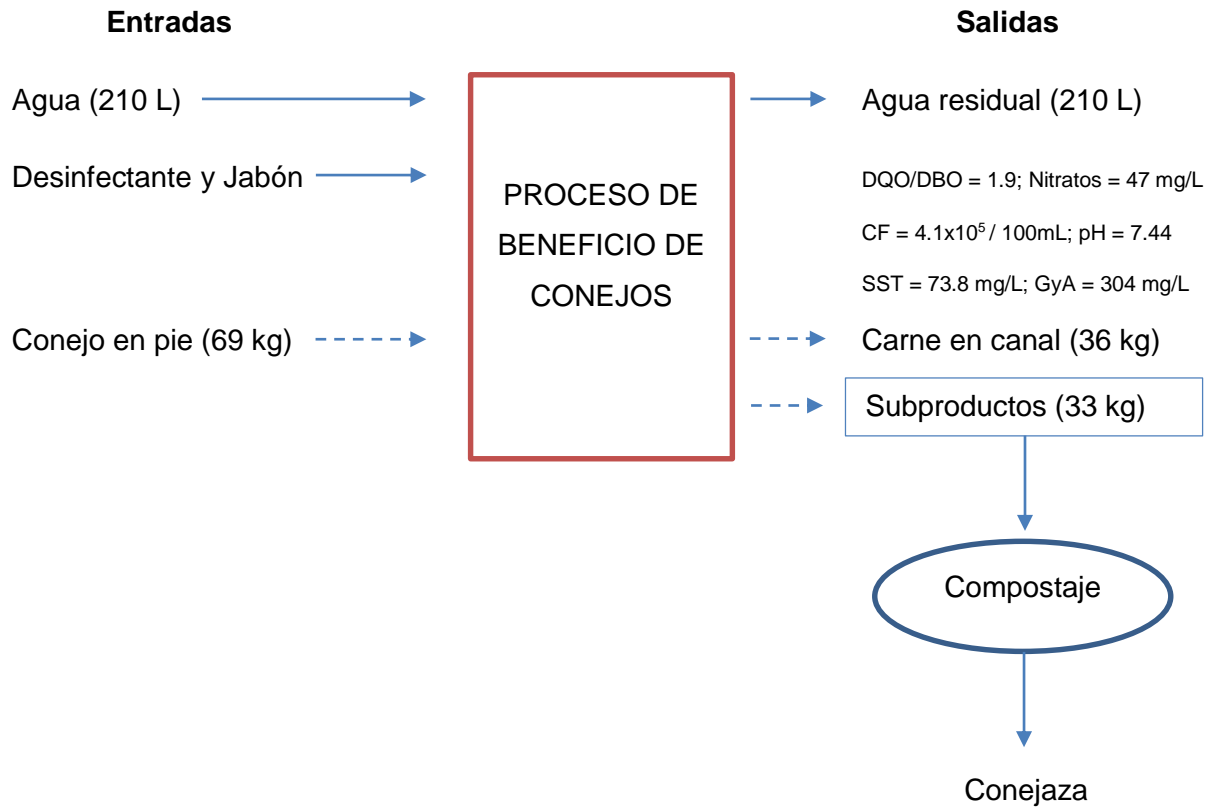


Figura 2 Balance de residuos del proceso de beneficio de 30 conejos

2.4 Residuos sólidos generados en el beneficio de conejos

El sector agropecuario contamina principalmente los recursos suelo y agua. Las prácticas de los pequeños productores contribuyen al deterioro ambiental a diferentes escalas; contaminación del suelo por el manejo inadecuado de los residuos: disposición a campo abierto, enterramiento, uso de ríos como botaderos, vertimientos al suelo de aguas residuales y efluentes generados en los procesos.

Una de las grandes ventajas de la producción de carne de conejo es que la mayoría de salidas del proceso son reutilizables y tienen valor económico para la empresa. Esto contribuye a reducir considerablemente la generación de residuos sólidos y a disminuir la carga contaminante, especialmente orgánica, de las aguas residuales que se generan en el proceso.

La empresa en estudio, ha encontrado e implementado diferentes alternativas para darles uso a todos los residuos sólidos y subproductos que se generan en el proceso. La cola, sangre, patas, algunas pieles, y los órganos del sistema digestivo de los conejos sacrificados se llevan al proceso de compostaje; el corazón, tráquea y pulmón se comercializan para procesamiento como concentrado de animales, y las cabezas se venden como alimento de animales en zoológicos. Los residuos como coágulos de sangre, huesos, pelo, grasas, son descargados con el agua residual.

El estiércol de conejo, es clasificado como uno de los más indicados para cultivos como floricultura, espárragos, hortalizas, viñas; puede utilizarse para abonar tierra donde se ha sembrado batata, papa, yuca, entre otros. Contiene un pH entre 7,2 a 9 mayor que el estiércol de otros animales, lo que lo hace uno de los más adecuados para mezclar con tierras altamente ácidas. Está compuesto de materias orgánicas biodegradables, lo que le facilita el integrarse con la tierra fácilmente. Por sus bondades, este estiércol permite incrementar la reproducción de lombrices, y permite ser suministrado como alimento en forma directa a las mismas, sin previa composta, para convertirlo en humus (Santiago, 2013).

En el proceso de compostaje, el estiércol de conejo es mezclado con cal, cascarilla de arroz, sangre, patas, pieles, cola y órganos del sistema digestivo de los conejos sacrificados. Una vez fermentado y procesado por las lombrices, suele verse idéntico a la tierra mojada y no tiene mal olor.

En la Figura 3 se ilustra el proceso de compostaje utilizado.

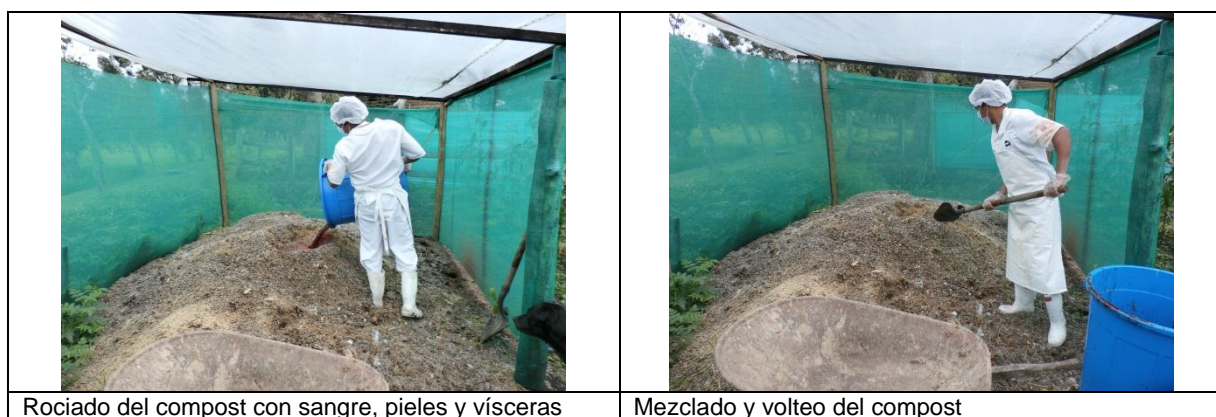


Figura 3 Proceso de Compostaje

Ocasionalmente se procesan las pieles para su comercialización. Para la conservación de las pieles se utiliza sal industrial. Se aplica una capa de sal por el lado de la piel que no tiene pelo,

se apilan unas sobre otras para su secado, y se cubren con un plástico para evitar la exposición directa a la intemperie, permitir un secado uniforme, impedir que bacterias patógenas actúen sobre la piel, y absorber los excesos de humedad presentes sin riesgo a la descomposición.

En la Figura 4 se ilustra el manejo de pieles de conejo.



Figura 4 Manejo y conservación de Pieles de conejos

2.5 Aguas residuales del beneficio de conejos

Las aguas residuales generadas durante el beneficio de conejos, se caracterizan por un contenido con altas cargas de grasas y aceites, DBO, DQO, coliformes termotolerantes, sólidos suspendidos y nitratos. El agua residual es generada durante el lavado de utensilios e instalaciones. Agua sanguinolenta y agua grasa es generada en las etapas de desollado y lavado de canal, respectivamente.

Estas aguas, junto con los residuos de tejido adiposo (grasa), pelo, huesos, sangre, orina, cantidades pequeñas de excremento, y el agua jabonosa o clorada, pasan por una rejilla, y son conducidas por una tubería de PVC de 2 pulgadas, con un volumen de 0,21 m³/h, hasta 6 metros fuera de la planta de beneficio haciendo vertimiento al suelo, sin ningún tratamiento previo. Los residuos sólidos gruesos que quedan atrapados en la rejilla, son recogidos con escoba por el operario y depositados en la caneca de las vísceras blancas para enviarlos posteriormente al proceso de compostaje. La Figura 5 ilustra la generación de aguas residuales en el proceso, y en la Figura 6, se observan las condiciones de su descarga.



Figura 5 Aguas residuales generadas en el proceso

Alrededor del punto de vertimiento, el suelo queda con gran cantidad de residuos de grasa, pelo y agua sangre. Sin embargo, como el suelo tiene buena capacidad de drenaje, el agua residual se infiltra rápidamente. Los residuos de pelo quedan sobre la superficie, siendo transportados por el viento.



Figura 6 Descarga aguas residuales

Capítulo III

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

En la Tabla 4, se presenta la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual cruda generada en el beneficio de conejos de la empresa en estudio. La muestra de agua residual tomada corresponde al sacrificio de 30 conejos.

Inicialmente, se encontró el contenido de cloruros elevado (376 mg/L); por consiguiente, se revisó el proceso de sacrificio de conejos y se corrigió la dosificación del desinfectante en la etapa del lavado de utensilios e instalaciones. Se realizó un segundo análisis de este parámetro, y se encontró que el contenido de cloruros bajó considerablemente. El resultado se presenta en la Tabla 4.

Tabla 7 Caracterización del agua residual cruda

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
Aceites y grasas	mg/L	304	SM 5520 B
Acidez total	mg/L- CaCO ₃	< 5	SM 2310 B
Alcalinidad total	mg/L- CaCO ₃	204	SM 2320 B
Cloruros	mg/L - Cl ⁻	29	SM 4500-CL- B
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	4,1 x 10 ⁵	SM 9223
DBO	mg/L - O ₂	929	SM 5210 B
DQO	mg/L - O ₂	1811	SM 5220 D
Detergentes	mg/L	3,3	SM 5540 C
Calcio	mg/L -CaCO ₃	20	SM 3500-CA B
Dureza total	mg/L -CaCO ₃	21	SM 2340 C
Fósforo total	mg/L - P	1,7	SM 4500-P B,D
Nitratos	mg/L - N	47	SM 4500 NO ₃ - B
Nitritos	mg/L - N	< 0,01	SM 4500 NO ₂ - B
Nitrógeno amoniacal	mg/L - N	< 0,1	SM 4500-NH ₃ B,F
NTK	mg/L - N	< 0,5	SM 450
Ortofosfatos	mg/L - PO ₄ ³⁻	3,8	SM 4500 P D
pH	Unidades	7,44	SM 4500-H + B
Sólidos sedimentables	mL/L	<0,1	SM 2540 F
Sólidos suspendidos totales	mg/L	73,8	SM 2540 D
Sulfatos	mg/L	126	SM 4500-SO ₄ ²⁻ E

Capítulo IV

EFICIENCIAS REQUERIDAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para la definición de la norma aplicable para las aguas residuales generadas en el beneficio de conejos, se realizó una consulta a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR (Anexo 1). Con base en la respuesta, se determinaron las alternativas de disposición final del agua residual y se tomó como criterio objetivo el artículo 15 de la Resolución 631 de 2015 para realizar vertimiento puntual a un cuerpo de agua superficial. Así mismo, se tomó como criterio objetivo el artículo 7 de la Resolución 1207 de 2014, para el reúso del efluente para riego en cultivos o para arrastre de residuos sólidos y líquidos en descarga de aparatos sanitarios.

En las Tablas 5, 6 y 7 se verifica el cumplimiento de los resultados de la caracterización del agua residual cruda (Tabla 4), con respecto a los parámetros y valores límites máximos permisibles para su vertimiento puntual a un cuerpo de agua superficial según el artículo 15 de la Resolución 631 de 2015, y también se verifica el cumplimiento con respecto a las disposiciones establecidas para el uso de aguas residuales tratadas para riego y uso industrial del artículo 7 de la Resolución 1207 de 2014. Además, se presentan las eficiencias requeridas del sistema de tratamiento para remover cada carga contaminante de acuerdo con la caracterización realizada (Tabla 4), y cumplir con la norma de vertimiento y de reúso.

Tabla 8 Eficiencias requeridas para vertimiento a cuerpo de agua superficial

PARÁMETRO	UNIDADES	CONCENTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	Res. 631/2015 Art. 15		Eficiencia requerida % Remoción
			Límite Máx.	Cumple	
Aceites y grasas	mg/L	304	10	No	97
Acidez total	mg/L- CaCO ₃	< 5	Análisis y Reporte	No Aplica	–
Alcalinidad total	mg/L- CaCO ₃	204	Análisis y Reporte	No Aplica	–
Cloruros	mg/L - Cl ⁻	29	250	Si	–
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	4,1 x 10 ⁵	No Aplica	No Aplica	–

**Tabla 9 Eficiencias requeridas para vertimiento a cuerpo de agua superficial
(continuación)**

PARÁMETRO	UNIDADES	CONCENTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	Res. 631/2015 Art. 15		Eficiencia requerida % Remoción
			Límite Máx.	Cumple	
DBO	mg/L - O ₂	929	50	No	95
DQO	mg/L - O ₂	1811	150	No	92
Detergentes	mg/L	3,3	Análisis y Reporte	No Aplica	–
Calcio	mg/L -CaCO ₃	20	Análisis y Reporte	No Aplica	–
Dureza total	mg/L -CaCO ₃	21	Análisis y Reporte	No Aplica	–
Fósforo total	mg/L - P	1,7	Análisis y Reporte	No Aplica	–
Nitratos	mg/L - N	47	Análisis y Reporte	No Aplica	–
Nitritos	mg/L - N	< 0,01	Análisis y Reporte	No Aplica	–
Nitrógeno amoniacoal	mg/L - N	< 0,1	Análisis y Reporte	No Aplica	–
NTK	mg/L - N	< 0,5	No Aplica	No Aplica	–
Ortofosfatos	mg/L - PO ₄ ³⁻	3,8	Análisis y Reporte	No Aplica	–
pH	Unidades	7,44	6,0 -9,0	Si	–
Sólidos sedimentables	mL/L	<0,1	1	Si	–
Sólidos suspendidos totales	mg/L	73,8	50	No	32
Sulfatos	mg/L	126	250	Si	–

Tabla 10 Eficiencias requeridas para reúso en riego a cultivos

PARÁMETRO	UNIDADES	CONCENTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	Res. 1207/2014 Art. 7 (Uso agrícola)		Eficiencia requerida % Remoción
			Límite Máx.	Cumple	
Cloruros	mg/L - Cl ⁻	29	300	Si	–
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	4,1 x 10 ⁵	1x10 ⁵	No	76
Nitratos	mg/L - N	47	5	No	89
pH	Unidades	7,44	6,0 -9,0	Si	–
Sulfatos	mg/L	126	500	Si	–

Tabla 11 Eficiencias requeridas para reúso en descarga de aparatos sanitarios

PARÁMETRO	UNIDADES	CONCENTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	Res. 1207/2014 Art. 7 (Descarga aparatos sanitarios)		Eficiencia requerida % Remoción
			Límite Máx.	Cumple	
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	4,1 x 10 ⁵	1x10 ⁴	No	97.5
pH	Unidades	7,44	6,0 -9,0	Si	–

Capítulo V

DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Teniendo en cuenta la operación de beneficio de conejos en la planta de estudio, se debe considerar la dotación de una PTAR en cochada para caudal de 210 L por proceso, en descarga de un período de 1 hora, que se realiza cada 8 días.

5.1 Alternativa 1: Laguna Facultativa

Incluye una laguna facultativa con pretratamiento de trampa de grasas, para dar cumplimiento al artículo 15 de la Resolución 631/2015, y realizar descarga de vertimiento puntual a un cuerpo de agua superficial (Figura 7). El costo global estimado del proyecto es \$4.896.000.



Figura 7 Diagrama de flujo Alternativa 1

Trampa de grasas: Sus características se presentan en la Tabla 8.

Tabla 12 Características de la trampa de grasas

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal volumétrico (Q)	0,21	m ³ /h
Altura (H)	0,6	m
Longitud (L)	0,8	m
Ancho (b)	0,5	m
Volumen (V)	0,24	m ³
Tiempo de retención	8	d
Área superficial (As)	0,4	m ²
Borde libre (bl)	0,3	m
Carga superficial	12,6	m/d
Eficiencia de remoción de G y A (RAS 2017)	95	%
Eficiencia de remoción de DBO (RAS 2017)	5	%
Eficiencia de remoción de DQO (RAS 2017)	3	%
Eficiencia de remoción de SST (RAS 2017)	15	%

Laguna facultativa: Sus características se muestran en la Tabla 9.

Tabla 13 Características de la laguna facultativa

Parámetro	Valor	Unidad
Carga orgánica (CO)	0,2	kg DBO / descarga
Carga superficial (CS) (RAS 2017: 100 - 350)	200	kg DBO /ha*d
Área superficial	10	m ²
Volumen (V)	10	m ³
Tiempo de retención (θ)	8	d
Ancho (w)	2,5	m
Largo (L)	4	m
Profundidad (d)	1	m
Carga orgánica volumétrica (COV)	20	g DBO/m ³ *descarga
Densidad de coliformes en efluente (N)	3259	CF/100 mL
Eficiencia de remoción de DBO (RAS 2017)	90	%
Eficiencia de remoción de DQO (RAS 2017)	50	%
Eficiencia de remoción de SST (RAS 2017)	75	%
Eficiencia de remoción de GyA (RAS 2017)	90	%
Eficiencia de remoción de Patógenos (RAS 2017)	90	%

5.2 Alternativa 2: Filtro anaerobio y Cloración

Incluye un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) con pretratamiento de trampa de grasas, y cloración, para dar cumplimiento al artículo 7 de la Resolución 1207/2014 para uso agrícola, y realizar riego a cultivos de pastos y forrajes para consumo animal (Figura 8). El costo global estimado del proyecto es \$1.074.378.

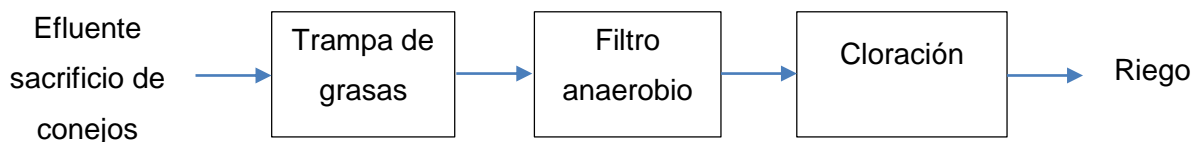


Figura 8 Diagrama de flujo Alternativa 2

Filtro anaerobio de flujo ascendente – FAF: Se adoptan los valores de un filtro anaerobio de flujo ascendente prefabricado de 500 litros. Sus características se presentan en la Tabla 10.

Tabla 14 Características del filtro anaerobio de flujo ascendente

Parámetro	Valor	Unidad
CF en afluente del FA	246.000	CF/100 mL
Volumen unitario (RAS 2017)	0,4	m ³ /(m ³ *d)
Tiempo de retención	8	días
Volumen (V)	0,5	m ³
Diámetro (D)	0,99	m
Altura de medio (H)	0,6	m
Altura de filtro (H)	1,18	m
DBO en el efluente	102	mg/L
Eficiencia de remoción de DBO	89	%
Eficiencia de remoción de Nitratos	100	%
Eficiencia de remoción de DQO (RAS 2017)	80	%
Eficiencia de remoción de SST (RAS 2017)	70	%
Eficiencia de remoción de Patógenos (RAS 2017)	40	%

Tanque de contacto para cloración: Sus características se presentan en la Tabla 11.

Tabla 15 Características del tanque de contacto para cloración

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen (V)	0,5	m ³
Diámetro (D)	1,28	m
Área	1,3	m ²
Altura (h)	0,38	m
Tiempo de retención (θ)	8	d
Dosificación de Cloro	10	mg/L
Dosis de cloro/cochada	2,1	g
Eficiencia de remoción de CT (RAS 2017)	100	%

5.3 Alternativa 3: Cloración

Incluye un tanque de contacto para desinfección con tolva para sedimentación de lodos, para dar cumplimiento al artículo 7 de la Resolución 1207/2014 para uso industrial, y realizar descarga a aparatos sanitarios (Figura 9). El costo global estimado del proyecto es \$578.000.

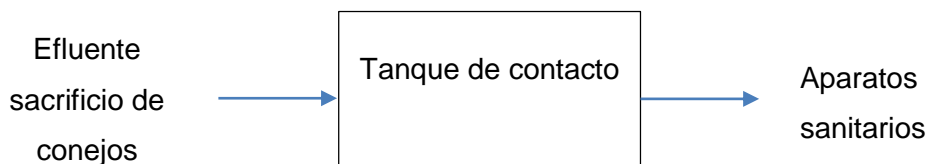


Figura 9 Diagrama de flujo Alternativa 3

Tanque de contacto para cloración: con tolva para lodos para lodos de 2 L (0,10 x 0,10 x 0,20 m), y pendiente en el fondo hacia la tolva del 1%. Sus características se presentan en la Tabla 12.

Tabla 16 Características del tanque de contacto para cloración

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen del tanque (V)	0,5	m ³
Lado del tanque (l)	0,62	m
Área del tanque (A)	0,38	m ²
Altura del tanque (h)	1,3	m
Tiempo de retención (θ)	8	d
Dosificación de Cloro	20	mg/L
Dosis de cloro/cochada	4,2	g
Eficiencia de remoción de CT (RAS 2017)	100	%

5.4 Evaluación de alternativas

En la Tabla 13, se presenta el resumen de las 3 alternativas teniendo en cuenta costo global del proyecto, eficiencia de remoción de los parámetros, y cumplimiento de la normatividad.

Tabla 17 Evaluación de alternativas para el sistema de tratamiento

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo global	\$4.896.000	\$1.074.378	\$578.000
Eficiencia del sistema en DBO	95%	94%	40%
Eficiencia del sistema en CT	90%	100%	100%
Cumplimiento de la Norma	SI	SI	SI

Como se observa en la Tabla 13, la mejor alternativa para tratar el agua residual proveniente del beneficio de conejos, por costo, es la Alternativa 3. Sin embargo, teniendo en cuenta que el caudal disponible es intermitente y no garantiza el abastecimiento seguro del agua requerida para descarga de los aparatos sanitarios; para la empresa es recomendable adoptar la alternativa 2.

Conclusiones

- Para disminuir la concentración de DBO y Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el efluente, la empresa debe: a) hacer recolección en seco de los residuos sólidos caídos al piso durante el beneficio, colocando un anejo metálico por debajo de la rejilla de drenaje existente para retención de los residuos de menor tamaño que puedan escapar al barrido en seco; b) realizar el desangrado dentro de la caneca de desangre, evitando que se vierta la sangre al desagüe.
- Es necesario controlar la dosificación de cloro para la desinfección de utensilios e instalaciones para evitar el exceso de cloruros en el efluente.
- Las características objetables del agua residual proveniente del beneficio de conejos son: DBO, DQO, grasas y aceites, coliformes termotolerantes, nitratos, y sólidos suspendidos.
- Las eficiencias de remoción requeridas para la descarga a cuerpo superficial de agua son: 97% para grasas y aceites, 95% para DBO, 92% para DQO, y 32% para sólidos suspendidos.
- Las eficiencias de remoción requeridas para reúso en riego son: 76% para coliformes termo tolerantes y 89% para nitratos.
- La eficiencia de remoción requerida para la descarga de aparatos sanitarios es de 98% para coliformes termo tolerantes.
- El proceso con trampa de grasas, filtro anaerobio de flujo ascendente y cloración se considera el más recomendable para el tratamiento de las aguas residuales evaluadas y para el reúso del agua tratada en riego de cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, cuyo costo global es de \$1.074.378 aproximadamente.

Referencias

Corporación Autónoma Regional de Antioquia CORANTIOQUIA. (2016). *Manual de Producción y Consumo Sostenible. Gestión del Recurso Hídrico. Plantas de Beneficio Animal*. Recuperado de http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Gesti%C3%B3n%20ambiental/Producci%C3%B3n%20y%20Consumo%20Sostenible/Manuales_GIRH/Plantas_Beneficio.pdf el 28 de agosto de 2019.

Chaux, G. y Rojas, G. (2009). Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades. Caso: Municipio de El Tambo. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol. 7 No. 1. Enero - Junio 2009.

Department of Agriculture and Rural Development. (2009). *Guideline manual for the management of abattoirs and other waste of animal origin*. Recuperado de <https://docplayer.net/7522315-Guideline-manual-for-the-management-of-abattoirs-and-other-waste-of-animal-origin-department-of-agriculture-and-rural-development.html> el 23 de agosto de 2019.

INVIMA. (2019). *Plantas de beneficio y desposte de ovinos y caprinos, conejos, equinos y avestruces autorizadas e inscritas ante el INVIMA*. Recuperado de <https://www.invima.gov.co/documents/20143/426809/PLANTAS-DE-BENEFICIO-Y-DESPOSTE-DE-EQUINOS-OVINOS-CONEJOS-Y-AVESTRUCCES-INSCRITAS-A-MAYO-2019.pdf/165e0454-b928-1497-9119-442336809f6b?t=1559844358074> el 23 de agosto de 2019.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *MinAgricultura busca apoyar a cerca de 39 mil familias productoras de carne de conejo, conformando la cadena productiva*. Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/MinAgricultura-busca-apoyar-a-cerca-de-39-mil-familias-productoras-de-carne-de-conejo,-conformando-la-cadena-productiva.aspx> el 23 de agosto de 2019.

Ministerio de Agroindustria de Argentina. (2018). *Indicadores de Cunicultura*. Recuperado de https://ced.agro.uba.ar/moodle/pluginfile.php/113384/mod_resource/content/1/Clase%201%20p arte%202.pdf el 23 de agosto de 2019.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. (2019). *El sector cunícola en cifras. Principales Indicadores Económicos*. Recuperado de <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados->

[ganaderos/indicadoreseconomicoscunicultura2018comentarios_tcm30-419676.pdf](#) el 23 de agosto de 2019.

Muñoz, L. (2018). *Análisis de viabilidad técnica y de mercado para la implementación de un sistema productivo y de comercialización de carne de conejo en el municipio de San Agustín (Huila)*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Pitalito. Recuperado de <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/20938/1/55181582.pdf> el 28 de agosto de 2019.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1993). *Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo*. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal, 97. Cap 14. Recuperado de <http://www.fao.org/3/T0566S/T0566S14.htm> el 23 de agosto de 2019.

Rodríguez, L. E. (2018). Al Campo. Bogotá. Caracol Radio. Recuperado de https://caracol.com.co/programa/2018/07/28/al_campo/1532741154_738289.html el 23 de agosto de 2019.

Resolución 1207 de 2014, por la cual se adoptan disposiciones con el uso de aguas residuales tratadas. (2014). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia.

Resolución 0631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. (2015). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia.

Resolución 330 de 2017, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). (2017). Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Romero, J. (2008). *Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales*. Bogotá, D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, J. (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá, D.C. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Tuset, S. Tratamiento de las aguas residuales en la industria cárnica. Condorchem Envitech. Recuperado de <https://blog.condorchem.com/tag/industria-carnica/> el 22 de septiembre de 2019.