

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA
CONTAMINACIÓN HÍDRICA EN LA ZONA DE CORRALES DE UNA PLANTA
DE BENEFICIO ANIMAL**

MARÍA ALEXANDRA RAMÍREZ RINCÓN

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2015

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA
CONTAMINACIÓN HÍDRICA EN LA ZONA DE CORRALES DE UNA PLANTA
DE BENEFICIO ANIMAL**

MARÍA ALEXANDRA RAMÍREZ RINCÓN

Proyecto de grado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental

**DIRECTOR
MSc. ÁLVARO ANDRÉS CAJIGAS CERÓN**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2015

Nota de aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

BUCARAMANGA, JULIO 07 DE 2015

A Dios por ser guía camino luz y esperanza.

A mis padres hermanos y sobrinos quienes

son mi mayor motivo de vida.

AGRADECIMIENTOS

Con el pasar del diario vivir, a la espera de un futuro incierto, en buenos y malos momentos, ha brotado en mí la fortaleza inspirada por Dios, el saber que siempre tendrá su mano extendida y será el apoyo para quienes acudan a él. Todo aquello que he construido hasta hoy, ha sido incitado por el amor de Dios, el de mis padres y hermanos, quienes han creído en mí y han colocado su fe, en este árbol que cada día se hace más fuerte con el mayor propósito de servir y ver cosechar sus frutos.

Cuando ingresé a la universidad se me hacía eterno el hecho de pensar en graduarme, hoy cuando se aproxima la fecha tan anhelada, agradezco a Dios por brindarme un hogar, una familia que me ha enseñado a ser persona, hija, compañera y amiga. A mi padre Rito Antonio, gracias por enseñarme el valor de las cosas, por crear en mí el espíritu de la responsabilidad, la independencia y el compartir. A mi madre Martha Inés, gracias por tanto amor, por ser el mejor ejemplo de mamá, por llenarme de valores y querer siempre lo mejor para mí. A mis hermanos, Juan Carlos y Adriana gracias por ser dos grandes pilares en mi vida, por su preocupación, atención y cariño.

A mi querido director de proyecto, el profesor Álvaro Andrés gracias por su tiempo, dedicación y amistad, por sus consejos y por la confianza que depositó en mí para realizar este proyecto. A todos mis profesores que han hecho parte de mi formación personal y profesional gracias por su asistencia en los momentos más necesitados.

A el coro UPB por llenarme de alegrías y de grandes momentos en mi vida. A Edimar por su incondicionalidad, cariño, ternura y paciencia. A Alejandra por ser un pequeño reflejo mío en una versión opuesta y por inspirarme amor maternal, gracias a los dos por su amistad.

A mis compañeros de carrera, gracias por su compañía en este viaje. A Pauli que has sido amiga y compañera de largas noches, en tempestad y calma, espero que nuestra amistad siga creciendo, primero el colegio, luego la universidad y ahora ¿qué sigue? (hay mucho más por compartir). A Tata y a Fabi, gracias por su compañía durante el desarrollo de este proyecto, por su comprensión y entrega. A Kate, Lina, Dani, Andrew y Aleja, gracias por las tardes de estudio, por las risas, por sus buenos deseos. A todos mil gracias por sus enseñanzas y por edificar en mí, el compañerismo, el trabajo en equipo y la perseverancia.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 16 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL..... | 16 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 16 |
| 3. MARCO REFERENCIAL | 17 |
| 3.1. MARCO TEÓRICO | 17 |
| 3.1.1. GENERALIDADES DEL SECTOR | 17 |
| 3.1.2. MARCO INSTITUCIONAL | 20 |
| 3.1.3. NORMATIVIDAD | 21 |
| 3.1.4. FRIGORÍFICOS CÁRNICOS EN COLOMBIA | 25 |
| 3.1.5. IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS EN LOS FRIGORÍFICOS 27 | 27 |
| 3.1.6. PROBLEMAS AMBIENTALES DEL SECTOR GANADERO..... | 28 |
| 3.1.7. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN PARA LA CONTAMINACIÓN CAUSADA POR EL ESTIERCOL DE BOVINO..... | 31 |
| 3.1.8. PROGRAMAS PARA LA MODELACIÓN DE AGUA LLUVIA Y ESCORRENTÍA | 38 |
| 4. METODOLOGÍA | 40 |
| 4.1. ETAPA 1: MOVILIDAD DE CONTAMINANTES EN MEDIO SECO Y ACUOSO..... | 40 |
| 4.1.1. Cuantificación de ganado bovino..... | 40 |
| 4.1.2. Cuantificación de masa generada en las tres subsecciones de corrales y tiempo de ocurrencia..... | 41 |
| 4.1.3. Cuantificación de la producción porcentual de estiércol y orina. 41 | 41 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.1.4. | Verificación del consumo de agua en lavado en las tres subsecciones de corrales..... | 41 |
| 4.1.5. | Establecer puntos críticos de producción de estiércol. | 41 |
| 4.2. | ETAPA 2: MANEJO DE LAS PRECIPITACIONES DE AGUA LLUVIA MEDIANTE EL SOFTWARE STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM) | 41 |
| 4.2.1. | Levantamiento de planos. | 42 |
| 4.2.2. | Estudio de precipitaciones..... | 42 |
| 4.2.3. | Montaje de la información en el programa EPA SWMM 5.1. | 42 |
| 4.2.4. | Montaje de escenario con estructuras de control y tratamiento en el programa EPA SWMM 5.1 | 42 |
| 4.3. | ETAPA 3: VERIFICACIÓN DE LA DINÁMICA DE DILUCIÓN DE SÓLIDOS PRODUCIDA EN CORRALES EN DIFERENTES EVENTOS DE LLUVIA..... | 42 |
| 4.3.1. | Estudio de la dilución en corrales mediante simulación teórica. | 43 |
| 4.3.2. | Estudio de la dilución de estiércol y orina en campo en los corrales. | 43 |
| 4.4. | PROPUESTA DE ALTERNATIVA A PARTIR DE LOS TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPOS DE DIILUCIÓN | 43 |
| 5. | ANÁLISIS Y RESULTADOS..... | 44 |
| 5.1. | ETAPA 1: MOVILIDAD DE CONTAMINANTES EN MEDIO SECO Y ACUOSO | 44 |
| 5.1.1. | Cuantificación de ganado bovino. | 44 |
| 5.1.2. | Cuantificación de masa generada en las tres subsecciones de corrales y tiempo de ocurrencia. | 46 |
| 5.1.3. | Estimación teórica de la producción porcentual de estiércol y orina. | 49 |
| 5.1.4. | Verificación del consumo de agua en lavado en las tres subsecciones de corrales..... | 50 |
| 5.2. | ETAPA 2: MANEJO DE LAS PRECIPITACIONES DE AGUA LLUVIA MEDIANTE EL SOFTWARE STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM) | 55 |

| | |
|--|----|
| 5.2.1. Levantamiento de planos. | 55 |
| 5.2.2. Estudio de precipitaciones. | 56 |
| 5.3. ETAPA 3: VERIFICACIÓN DE LA DINÁMICA DE DILUCIÓN DE SÓLIDOS PRODUCIDA EN CORRALES EN DIFERENTES EVENTOS DE LLUVIA..... | 58 |
| 5.3.1. Estudio de la dilución en corrales mediante simulación teórica. | 58 |
| 5.3.2. Estudio de la dilución de estiércol y orina en campo en los corrales. | 62 |
| 5.4. PROPUESTA DE ALTERNATIVA A PARTIR DE LOS TEMPOS DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPOS DE DILUCIÓN | 63 |
| 5.4.1. Alternativa 1: Sedimentador primario. | 63 |
| 5.4.2. Alternativa 2: Techos | 69 |
| 5.4.3. Alternativa 3: Uso de concreto permeable y cepillos raspadores. 72 | |
| 6. CONCLUSIONES | 76 |
| 7. RECOMENDACIONES | 78 |
| 8. BIBLIOGRAFIA | 79 |
| 9. ANEXOS | 83 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Inventario de ganado bovino 2009 – 2013..... | 17 |
| Tabla 2. Constitucionales. | 21 |
| Tabla 3. Legales parafiscalidad de FOMENTO. | 21 |
| Tabla 4. Reglamentaria parafiscalidad de FOMENTO. | 22 |
| Tabla 5. Legales parafiscalidad de estabilización..... | 22 |
| Tabla 6. Reglamentarias parafiscalidad de estabilización. | 22 |
| Tabla 7. Normatividad cadena cárnica. | 23 |
| Tabla 8. Movilización y comercialización..... | 24 |
| Tabla 9. Normatividad de vertimientos | 25 |
| Tabla 10. Medidas de tendencia central del ingreso diario de ganado bovino. | 44 |
| Tabla 11. Promedio de ingreso máximo diario, semanal y mensual de ganado.... | 45 |
| Tabla 12. Medidas de tendencia central del sacrificio diario de ganado bovino. .. | 45 |
| Tabla 13. Promedio del sacrificio máximo diario, semanal y mensual de ganado. | 46 |
| Tabla 14. Cálculo de estiércol de bovino diario. | 46 |
| Tabla 15. Producción de estiércol máximo diario, máximo semanal, mensual y anual..... | 47 |
| Tabla 16. Producción de estiércol kilogramo/año..... | 49 |
| Tabla 17. Producción diaria de orín vacuno en campo..... | 50 |
| Tabla 18. Caudal de las mangueras de la subsección recepción..... | 50 |
| Tabla 19. Caudal de las mangueras de la subsección comercialización..... | 51 |
| Tabla 20. Caudal de las mangueras de la subsección beneficio..... | 51 |
| Tabla 21. Consumo de agua en la subsección de comercialización. | 52 |
| Tabla 22. Estimación de los puntos críticos de producción de estiércol en las tres subsecciones de corrales. | 53 |
| Tabla 23. Precipitación promedio estación PTAR. *SD: Sin Dato. | 56 |
| Tabla 24. Presupuesto del sedimentador primario rectangular. | 69 |
| Tabla 25. Presupuesto del sedimentador primario rectangular. | 69 |
| Tabla 26. Presupuesto del diseño de los techos sin inclusión de montaje y extractores de gases..... | 72 |
| Tabla 27. Ventajas y desventajas de las tres alternativas. | 74 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | Pág. |
|---|-------------|
| Ilustración 1. Base para pavimento de concreto permeable. | 32 |
| Ilustración 2. Modelo del sistema básico de techos para la recolección de agua lluvia..... | 34 |
| Ilustración 3. Sistema perimetral de canaletas de recolección de la sección de corrales. | 55 |
| Ilustración 4. Montaje y diseño de la sección de corrales de la planta de beneficio animal en el programa EPA SWMM 5.1. | 57 |
| Ilustración 5. Perfil del sistema de modelación de las canaletas de la sección de corrales. | 58 |
| Ilustración 6. Alternativa 1: Diseño del sedimentador primario rectangular. Vista en planta. | 67 |
| Ilustración 7. Alternativa 1: Diseño del sedimentador primario rectangular. Vista en perfil. | 67 |
| Ilustración 8. Alternativa 1: Diseño del sedimentador primario circular. Vista en perfil. | 68 |
| Ilustración 9. Alternativa 1: Diseño del sedimentador primario circular. Vista en planta. | 68 |
| Ilustración 10. Alternativa 2: Diseño de techos. Vista frontal de las subsecciones de recepción y comercialización. | 70 |
| Ilustración 11. Alternativa 2: Diseño de techos. Vista frontal de la subsección de beneficio. | 71 |
| Ilustración 12. Alternativa 2: Diseño de techos. Vista lateral de las tres subsecciones de corrales. | 71 |
| Ilustración 13. Alternativa 3: Uso de concreto permeable en la sección de corrales. | 73 |
| Ilustración 14. Alternativa 3: Prototipo de cepillo raspador de estiércol con cerdas metálicas..... | 73 |

LISTA DE GRAFICAS

| | Pág. |
|--|------|
| Gráfica 1. Sacrificio de bovinos, tasa de extracción y consumo aparente. | 18 |
| Gráfica 2. Estructura cadena de producción industrial cárnicos..... | 19 |
| Gráfica 3. Comercialización de ganado bovino. | 20 |
| Gráfica 4. Proceso de transformación realizado en plantas de sacrificio. | 26 |
| Gráfica 5. Contaminación generada en corrales. | 28 |
| Gráfica 6. Efectos del estiércol..... | 29 |
| Gráfica 7. Metodología para el estudio del comportamiento de la escorrentía superficial en corrales. | 40 |
| Gráfica 8. Concentración vs el tiempo. | 43 |
| Gráfica 9. Meses de mayor ingreso de ganado bovino. | 44 |
| Gráfica 10. Meses de mayor sacrificio de ganado bovino..... | 45 |
| Gráfica 11. Puntos críticos de producción de estiércol. | 53 |
| Gráfica 12. [] SST teórica después de lavado de corrales vs Tiempo de lluvia intensa. | 60 |
| Gráfica 13. [] SST teórica con corrales sucios vs Tiempo de lluvia intensa. | 61 |
| Gráfica 14. [] SST en medio seco y acuoso en la sección de corrales vs tiempo. | 62 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Anexo 1. Días de entrada de bovinos 2014. | 84 |
| Anexo 2. Meses de entrada de bovinos 2014. | 85 |
| Anexo 3. Días de beneficio de ganado 2014. | 86 |
| Anexo 4. Meses de sacrificio 2014..... | 87 |
| Anexo 5. Pruebas de laboratorio en medio seco..... | 88 |
| Anexo 6. Pruebas de laboratorio en medio acuoso..... | 90 |
| Anexo 7. Monitoreo en la subsección de corrales de recepción. | 92 |
| Anexo 8. Monitoreo en la subsección de corrales de comercialización. | 95 |
| Anexo 9. Monitoreo en la subsección de corrales de beneficio. | 95 |
| Anexo 10. Muestreo de caudal en el tubo de conducción de corrales hacia la PTAR | 96 |
| Anexo 11. Levantamiento de planos. | 99 |
| Anexo 12. Perfiles de las estructuras hidráulicas del sistema perimetral de canaletas de recolección de agua lluvia..... | 100 |
| Anexo 13. Cálculo de los caudales que pasan por cada una de las estructuras hidráulicas de la sección de corrales. | 103 |
| Anexo 14. Cálculo de la masa de arrastre por medio de la simulación del escenario limpio con lluvia intensa. | 104 |
| Anexo 15. Cálculo de la masa de arrastre por medio de la simulación del escenario limpio con baja lluvia..... | 105 |
| Anexo 16. Cálculo de la masa de arrastre por medio de la simulación del escenario sucio con lluvia intensa. | 105 |
| Anexo 17. Cálculo de la masa de arrastre por medio de la simulación del escenario sucio con baja lluvia..... | 106 |

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Estudio de alternativas para la prevención de la contaminación hídrica en la zona de corrales de una planta de beneficio animal.

AUTOR(ES): María Alexandra Ramírez Rincón.

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Álvaro Andrés Cajigas Cerón.

RESUMEN

Este estudio fue realizado en la sección de corrales de una planta de beneficio animal, con el fin de dar solución a la actual problemática ambiental causada por las deyecciones del ganado, manejando diferentes alternativas para la prevención de la contaminación, producto de las precipitaciones de agua lluvia. En el proyecto se evaluó la movilidad y producción del estiércol de ganado bovino diario, semanal, mensual y anual en medio seco y en eventos de precipitación, como principal contaminante generado en la sección de corrales. Con balances de masa, cálculo de la concentración de sólidos totales y los eventos de lluvia presentados en la zona, se llevó a cabo la simulación del sistema de canales recolectores de agua lluvia en el programa Storm Water Management Model (SWMM), con el fin de calcular la cantidad de arrastre de las deyecciones fecales en cuatro escenarios (limpio con lluvia intensa, limpio con baja lluvia, sucio con lluvia intensa y sucio con baja lluvia) obteniendo como resultado arrastres de 69,3 Kg, 4,5 Kg, 742,5 Kg y 48,6 Kg respectivamente. Así mismo, se verificó la dinámica de dilución de los sólidos en diferentes eventos de lluvia. Con base en los datos recolectados se realizó la propuesta de tres alternativas preventivas y de mitigación de la contaminación, escogiendo las opciones más viables que satisfacen la necesidad actual del frigorífico. Se propuso el diseño de un sedimentador primario circular o rectangular para favorecer la separación líquido-sólido, la implementación de techos con canales conductores al actual sistema de recolección de agua lluvia y finalmente el uso de concreto permeable con cepillos raspadores de estiércol.

PALABRAS CLAVES:

Escorrentía, deyecciones, ganadería, contaminación hídrica, modelación, dilución y sólidos totales.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Study for alternatives to prevent hydric pollution in the stables within a slaughterhouse.

AUTHOR(S): María Alexandra Ramírez Rincón.

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Álvaro Andrés Cajigas Cerón.

ABSTRACT

This study was conducted in the stables section at a slaughterhouses, in order to solve the current environmental problems caused by livestock waste, handling alternatives for the prevention of pollution as a result of the rainfall water. In order to fulfill this Project, the study of mobility and production of bovine manure were perform daily, weekly, monthly and annual in dry conditions and rainfall events, as a principal contaminant in the stables section within a slaughterhouse. From a mass balance study, the calculated total of concentration of solids and rainfall events presented in the area, was conducted a simulation in the rainwater collection system in the software Storm Water Management Model (SWMM), in order to calculate the amount of fecal droppings dragged in four scenarios, clean with high rainfall, clean with low rainfall, dirty with high rainfall and dirty with low rainfall, obtaining the following results 69,3 Kg, 4,5 Kg, 742,5 Kg and 48,6 Kg, respectively. Also, the dynamic dilution of solid was checked at different rain events, Based on this data, it has been proposed three alternatives for the prevention and mitigation of water pollution that meet the current need at the slaughterhouse. Firstly, the design of a circular or rectangular sedimenter to promote liquid-solid separation, as a second option, to implement ceilings with conductive channels to the current system of rainwater collection to avoid direct contact with cattle droppings, and for the third option, the use of permeable concrete with manure scraping brushes, allowing to separate urine and contributing to the optimization of a dry pick up.

KEYWORDS:

Runoff, fecal droppings, livestock, water pollution, modeling, dilution, total solids.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de beneficio animal son grandes generadoras de contaminación, las deyecciones fecales de ganado producidas en corrales pueden convertirse en peligro potencial de contaminación del suelo, de fuentes superficiales y subterráneas por escorrentía y filtración, y de la atmosfera. Los vertimientos provenientes de las plantas, contienen altas cargas de materia orgánica que llegan a fuentes hídricas, aportando grandes concentraciones de nitrógeno y fosforo que aumentan la cantidad de nutrientes necesarios para los organismos productores, generando la aceleración del crecimiento de biomasa y de su actividad metabólica. Por tanto, el consumo de oxígeno disuelto aumenta por parte de los organismos productores, debido a la descomposición de la materia orgánica, disminuyendo la disponibilidad de oxígeno disuelto para la vida acuática y ocasionando el proceso de eutrofización del ecosistema. Las cargas orgánicas aportan patógenos, que vehiculizados por el agua pueden ocasionar enfermedades en las personas¹.

Considerando lo anterior, las plantas de beneficio animal están ceñidas al cumplimiento de la normatividad correspondiente a calidad, el INVIMA exige parámetros de operación y producción con la misión de proteger y promover la salud y bienestar de la población. A nivel ambiental, los frigoríficos cárnicos están regidos por una Guía Ambiental para las Plantas de Beneficio de Ganado propuesta por el Ministerio de Ambiente en el año 2000 y por la normatividad de vertimientos. En el país, el 99% de los frigoríficos carece de sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados.

En aras de promover y valorar la calidad del ambiente, especialmente del recurso agua, este proyecto se realizó con el fin de buscar alternativas para la mitigación y prevención de la contaminación hídrica de una fuente superficial aledaña a una planta de beneficio animal, donde el arrastre de deyecciones fecales por escorrentía se ha convertido en unos de los principales factores contaminantes. Partiendo de esta problemática, se evaluó la movilidad del estiércol en temporadas de precipitación por los canales recolectores de agua lluvia por medio del software Storm Water Management Model (SWMM) y se realizó el estudio de la producción másica diaria, semanal y anual en la sección de corrales, lo cual permitió establecer tres propuestas preventivas diseñadas estratégicamente para satisfacer la necesidad requerida por el frigorífico.

¹ GIL, Susana.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer alternativas para el manejo de la contaminación hídrica producto de las precipitaciones de agua lluvia sobre la zona de corrales en una planta de beneficio animal.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la movilidad de los contaminantes en medio seco y acuoso en la zona de corrales.
- Simular el manejo de las precipitaciones de agua lluvia mediante el software Storm Water Management Model (SWMM).
- Verificar la dinámica de dilución de sólidos producida en corrales en diferentes eventos de lluvia.
- Proponer alterativas para el manejo de la contaminación en eventos de lluvia.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. MARCO TEÓRICO

3.1.1. GENERALIDADES DEL SECTOR

La ganadería es uno de los motores de la economía nacional, contribuyendo con el 20% del PIB agropecuario y con el 1,7% del PIB nacional². En América, Colombia ocupa el sexto lugar de producción. (Tomado de la tabla Producción de carne en el mundo [ton], FAOSTAT, FAO, Dirección de Estadística 2011)³. El consumo de carne bovina tiene varios sustitutos. Entre los más importantes se encuentran la carne de pollo y de cerdo. En el 2009, el consumo de pollo en Colombia fue de 22,7 kg por persona, mayor que el de res (18 kg por persona) y que el de cerdo (4,1kg por persona), indicando que la demanda de carne bovina es elástica⁴.

- **Inventario de ganado bovino.**

La Tabla 1 muestra una relación del inventario ganadero en los departamentos donde la ganadería está distribuida mayoritariamente:

Tabla 1. Inventario de ganado bovino 2009 – 2013.

| INVENTARIO DE GANADO BOVINO | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fecha | Antioquia | Casanare | Cesar | Córdoba | Meta | Santander |
| 2009 | 2.587.993 | 1.698.939 | 1.625.978 | 2.053.803 | 1.534.602 | 1.460.885 |
| 2010 | 2.657.188 | 1.802.880 | 1.605.633 | 2.071.647 | 1.552.956 | 1.525.550 |
| 2011 | 2.567.260 | 1.858.580 | 1.521.856 | 2.075.996 | 1.630.752 | 1.472.622 |
| 2012 | 2.558.511 | 1.830.750 | 1.458.274 | 2.000.038 | 1.638.504 | 1.399.291 |

² Superintendencia de Industria y Comercio, 2009-2011.

³ JIMÉNEZ, Yesid, 2011.

⁴ RAMÍREZ, Andrés y LONDOÑO, Edwar, 2009.

| | | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2013 | 2.492.512 | 1.871.200 | 1.425.238 | 1.925.314 | 1.633.668 | 1.407.807 |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|

Fuente: Subgerencia de Sanidad y Bienestar Animal - Fedegán FNG.

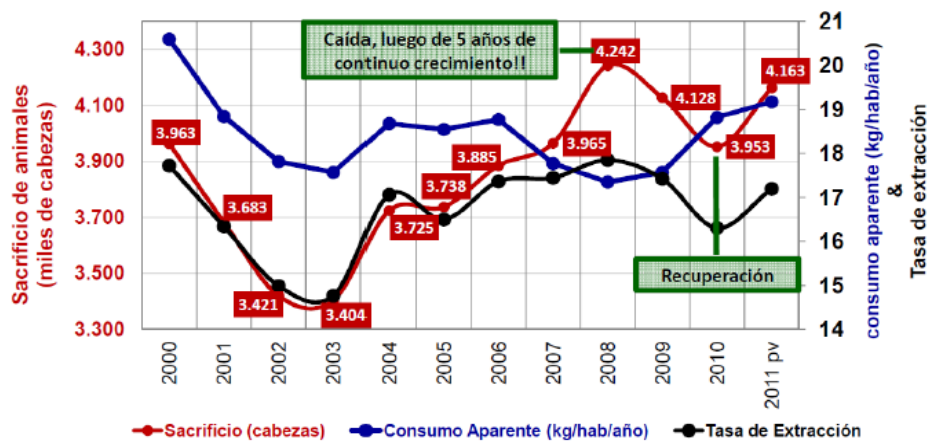
- **Mercado bovino en Santander.**

El departamento de Santander tiene gran participación en la producción de carne bovina del país, caracterizada por presentar una economía de aglomeración de beneficios, sin ser esta la región con mayor ganado en pie⁵. Santander cuenta con 74 plantas de sacrificio animal reconocidas ante la ley⁶. En el área metropolitana de Bucaramanga se localizan dos plantas de beneficio animal tipo I, el frigorífico Vijagual y el frigorífico Rio frio, siendo grandes eslabones del sector ganadero del departamento.

- **Producción y consumo de carne bovina.**

La fuente oficial de información de sacrificio de ganado bovino es Fedegán, con base en la cuota de recaudo parafiscal y en las brigadas de vacunación anual realizadas. Así mismo, provee de información estadística para cualquier usuario⁷.

Gráfica 1. Sacrificio de bovinos, tasa de extracción y consumo aparente.



Fuente: Estudios de Mercado. Estudio sectorial carne bovina en Colombia (2009-2011). Superintendencia de Industria y Comercio.

⁵ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012.

⁶ Resolución número 2008018777.

⁷ Fedegán, 2006.

Pese al incremento en la producción de carne bovina, el consumo tiene una tendencia decreciente entre 2004 y 2008, pasó de 18,7 kg por habitante a 17,3 kg. En 2010 alcanzó los 18,8 kg por habitante².

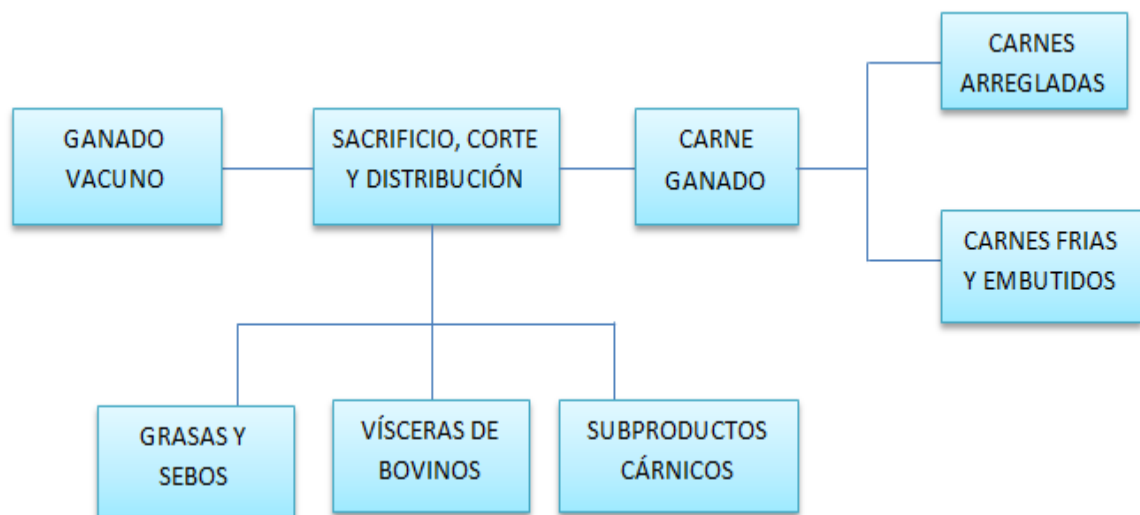
- **Cadena industrial de la carne bovina.**

La cadena de carne bovina está constituida por cinco grandes eslabones dos que corresponden a los subproductos obtenidos en el proceso. A continuación se menciona la distribución de la producción desde la cría de ganado hasta su transformación como materia prima:

- Producción de ganado en fincas distribuidas en el territorio nacional.
- La comercialización de ganado en pie.
- La industrialización en plantas de sacrificio y procesadoras de alimentos.
- Los canales de distribución de carne fresca y sus derivados.
- La transformación de los productos cárnicos.
- Materias primas para la industria manufacturera (cueros, grasas, sebo).
- Procesamiento del cuero para prendas de vestir y calzado⁸.

La gráfica 2 muestra la producción industrial de los frigoríficos cárnicos, iniciando desde el ganado en pie hasta su distribución comercial en el mercado.

Gráfica 2. Estructura cadena de producción industrial cárnicos.



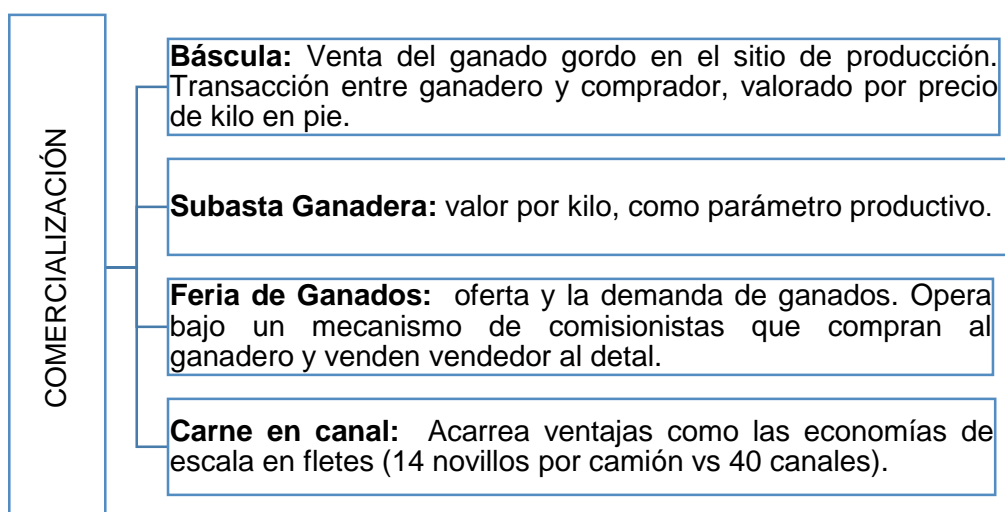
Fuente: DNP (2004a, p. 126).

Los productos cárnicos son distribuidos a través de plazas de mercado, supermercados, hipermercados, famas, puntos de venta especializadas y tiendas detallistas, o pueden ser puestos a la venta por restaurantes, hoteles y otros sitios donde se ofrezca el producto ya preparado⁸.

- **Comercialización cárnica.**

La comercialización cárnica inicia desde el pesaje del ganado en pie hasta su venta como carne de canal, en la gráfica 3, se muestran los cuatro pasos típicos para la comercialización del ganado

Gráfica 3. Comercialización de ganado bovino.



Fuente: Extraído de Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario-FINAGRO.

3.1.2. MARCO INSTITUCIONAL

La normatividad es de carácter necesario para el avance y la estandarización de las buenas prácticas ganaderas, permitiendo alcanzar el nivel de los países líderes en ganadería bovina del mundo. A continuación se muestran las principales instituciones de control en el sector ganadero⁹.

⁸ ESPINAL, Carlos, 2005.

⁹ Fedegán, 2015.

- **Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGÁN).**

Es una organización gremial sin ánimo de lucro, creada el 13 de diciembre de 1963 con sujeción al derecho privado colombiano y como decisión del IX Congreso Nacional de Ganaderos. En su condición de gremio cúpula de la ganadería colombiana⁹.

- **Parafiscalidad.**

La expedición de la Ley 89/93, por la cual se creó la Cuota de Fomento Ganadero y Lechero CFGL y el “Fondo Nacional del Ganado” marcó un hito en la historia de la ganadería de los últimos años. El recaudo y administración de los recursos de los ganaderos es una responsabilidad de FEDEGÁN, con estos recaudos se han logrado avances significativos en el control epidemiológico y también tecnológico⁹.

3.1.3. NORMATIVIDAD

El sector ganadero está regido por la normatividad estipulada por las instituciones encargadas del control y calidad agropecuaria. Desde la tabla 2 hasta la 9, se encuentran contenidos los aspectos más relevantes de la industria, a nivel legal del Fondo Nacional del Ganado y la Normatividad Fondo de Estabilización de Precios.

- **Normatividad Fondo Nacional del Ganado.**

Tabla 2. Constitucionales.

| CONSTITUCIONALES | |
|-------------------------|--------------------------------|
| | Artículo 150 Numeral 12 |
| | Artículo 338 |

Fuente: Fedegán2015.

Tabla 3. Legales parafiscalidad de FOMENTO.

| LEGALES PARAFISCALIDAD DE FOMENTO | |
|--|--|
| Ley 89 de 1993 | Por la cual se establece la Cuota de Fomento Ganadero y Lechero y se crea el Fondo Nacional del Ganado |

| | |
|------------------------------------|--|
| Ley 395 de 1997 | Por la cual se declara de interés social nacional la erradicación de la fiebre aftosa y se dictan otras medidas. |
| Ley 101 de 1993, Capítulo V | Contribuciones Parafiscales Agropecuarias y Pesqueras. |

Fuente: Fedegán 2015.

Tabla 4. Reglamentaria parafiscalidad de FOMENTO.

| REGLAMENTARIA PARAFISCALIDAD DE FOMENTO | |
|--|---|
| Decreto 2255 de 2007 | Por el cual se modifica el Decreto 696 de 1994 que reglamenta la Ley 89 de 1993. |
| Decreto 3044 de 1997 | Por el cual se reglamenta la Ley 395 de 1997. |
| Decreto 2025 de 1996 | Se reglamenta parcialmente la Ley 101/93, y las Leyes 67/83,40/90, 89/93 y 114, 117, 118 y 138/94. |
| Decreto 696 de 1994 | Por el cual se reglamenta la Ley 89 del 10 de diciembre de 1993, (ganado las especies bovina y bufalina). |

Fuente: Fedegán 2015.

- **Normatividad Fondo de Estabilización de Precios.**

Tabla 5. Legales parafiscalidad de estabilización.

| LEGALES PARAFISCALIDAD DE ESTABILIZACIÓN | |
|---|---|
| Ley 395 de 1997, artículo 16 | Por la cual se declara de interés social nacional y como prioridad sanitaria la erradicación de la fiebre aftosa. |
| Ley 101 de 1993, Capítulo VI | Fondos de Estabilización de Precios de Productos Agropecuarios y Pesqueros. |

Fuente: Fedegán 2015.

Tabla 6. Reglamentarias parafiscalidad de estabilización.

| REGLAMENTARIAS PARAFISCALIDAD DE ESTABILIZACIÓN | |
|--|--|
| Decreto 1187 de 1999 | Por el cual se organiza el Fondo de Estabilización para el fomento de la exportación de carne leche y sus derivados. |

Fuente: Fedegán 2015.

- **Cadena Cárnica.**

FEDEGÁN ha enfocado su acción al apoyo para que los requisitos sanitarios se cumplan en las plantas de beneficio animal. La tabla 7 contiene los principales 6 decretos y resoluciones que rigen el sector.⁹

Tabla 7. Normatividad cadena cárnica.

| NORMATIVIDAD CADENA CÁRNICA | |
|------------------------------------|--|
| Decreto 1500 de 2007 | Por la cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de Carne, Productos Cárnicos Comestibles y derivados Cárnicos destinados para el consumo humano. |
| Resolución 072 de 2007 | Se establece el manual de buenas prácticas para la obtención de piel de ganado bovino y bufalino. |
| Resolución 2905 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 bovinas y bufalinas destinados para el consumo humano. |
| Resolución 18119 de 2007 | Por la cual se reglamentan los requisitos del Plan Gradual de Cumplimiento para las plantas de beneficio y desposte de bovinos y bufalinos |
| Decreto 2278 de 1982 | Por la 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. |
| Resolución 2341 de 2007 | Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado bovino y bufalino destinado al sacrificio para consumo humano. |

Fuente: Fedegán 2015.

- **Movilización y Comercialización.**

Para el transporte de bovinos es necesario el buen uso del sistema de movilización y comercialización, permitiendo actuar frente al robo de ganado y la toma de decisiones estratégicas en cuanto a centros de abastecimiento, de producción,

consumo, y control de enfermedades, entre otras. En la tabla 8 se muestra la normatividad de movilización y comercialización del sector. ⁹

Tabla 8. Movilización y comercialización.

| MOVILIZACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN | |
|--|--|
| Ley 914 de 2004 | Por la cual se crea el Sistema Nacional de Identificación e Información de Ganado Bovino. |
| Decreto 3149 de 2006 | Dicta las disposiciones sobre la comercialización, transporte, sacrificio de ganado bovino y bufalino y expendio de carne en el territorio nacional. |
| Decreto 414 de 2007 Modificatorio | Dicta las disposiciones sobre la comercialización, transporte, sacrificio de ganado bovino y bufalino y expendio de carne en el territorio nacional. |
| Resolución 0070 de 2007 | Determina los requisitos que habilitan a las organizaciones gremiales ganaderas para expedir Bonos de Venta y Registros de Hierros |
| Resolución 00071 de 2007 | Por la cual se determinan las condiciones y forma de expedición del Bono de Venta. |
| Resolución 00185 de 2007 | Determina las condiciones y forma de expedición de los Bonos de Venta. |
| Resolución 005131 de 2007 | Donde se establecen las condiciones para el registro de los Transportadores de Ganado Bovino y Bufalino y la Guía de Transporte Ganadero |
| Resolución 003278 de 2008 | Por la cual se establece la Expedición de Guías Sanitarias de Movilización Interna mediante el Sistema Nacional Web de Movilización y Comercialización Ganadera. |

Fuente: Fedegán 2015.

- **Normatividad en calidad ambiental**

Los frigoríficos cárnicos están llamados a contribuir con la calidad del medio ambiente, en especial del cuidado del recurso hídrico. En la tabla 9 se encuentra contenida la normativa más representativa para la protección de la calidad del agua.

Tabla 9. Normatividad de vertimientos

| NORMATIVIDAD DE VERTIMIENTOS | |
|--|--|
| Decreto 3930 de 2010 | 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. CAPÍTULO VI. De los vertimientos, CAPÍTULO VII. De la obtención de los permisos de vertimiento y planes de cumplimiento. |
| Resolución 0631 de 2015 (Vigente) | Por el cual se establecen los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Art 9. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustrial y ganadería (beneficio). |

Fuente: MINAMBIENTE, 2015.

3.1.4. FRIGORÍFICOS CÁRNICOS EN COLOMBIA

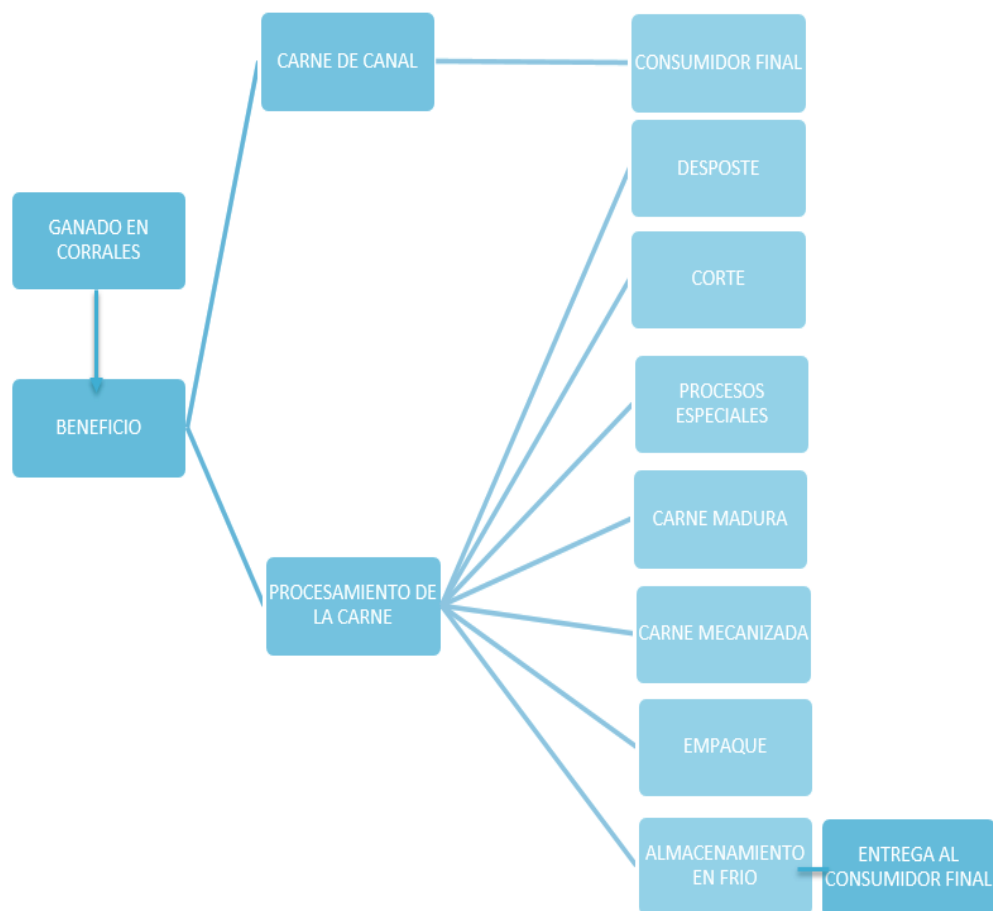
Los frigoríficos cárnicos prestan las actividades de beneficio, preparación y conservación de carnes, así como el aprovechamiento de subproductos (vísceras, pieles, cálculos, harina de sangre, plasma y sebo), conservación de carne, producción de embutidos, extracción y refinación de manteca de cerdo y otras grasas comestibles; producción de harinas y sémolas a base de carnes o despojos de carnes, animales de caza menor con frigorífico o sin este¹⁰.

Un alto porcentaje de los frigoríficos del país utilizan técnicas de beneficio tradicionales debido a que no existe una verdadera gestión frente a la capacitación del personal en el oficio. La maquinaria es escasa y obsoleta, no obstante a partir de los 90's las principales plantas de beneficio a nivel nacional han querido ofrecer servicios de alta calidad, con procesos certificados y métodos que garantizan la calidad organoléptica y sanitaria del producto, siendo estos los factores más relevantes para el aseguramiento de calidad del producto cárnico.

¹⁰ ROJAS, E. 2005.

Un ejemplo tangible presentado por Fedegán, que promovió la construcción y operación de una red de modernas plantas de sacrificio ubicadas en las principales zonas productoras de ganado de ceba en el país. Estas plantas poseen tecnología de punta para el procesamiento y conservación de la carne, manejo de subproductos y residuos líquidos y sólidos. Así mismo, cuentan con un equipo humano de alta cualificación técnica y cuentan con la certificación del sistema de aseguramiento de calidad HACCP. Estos frigoríficos clasifican las canales procesadas de acuerdo con la norma técnica nacional. El sistema de identificación y registro de información a lo largo del proceso permite la trazabilidad de los ganados de origen, la identificación de los cortes y el embalaje se han tecnificado para la adaptación a estándares internacionales¹¹. La gráfica 4 describe el proceso de transformación de una planta de beneficio animal.

Gráfica 4. Proceso de transformación realizado en plantas de sacrificio.



Fuente: Extraído de Santana 2009.

¹¹ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005.

- **Distribución y comercialización final del producto.**

Se distribuye a las famas, las grandes superficies, restaurantes y plantas de procesos de transformación¹² y se comercializa en el momento en que los cortes, están refrigerados y la carne ya está madurada, lista para el consumo¹³.

- **Requerimientos de calidad y salubridad.**

En esta cadena, la tecnología implica la mecanización y automatización de los procesos, los sistemas de aseguramiento de calidad sanitaria y ambiental, y el desarrollo de productos de valor agregado a partir de productos básicos y subproductos de la carne. Colombia se encuentra atrasada en contraste con países desarrollados, a pesar de contar con equipos hidráulicos, neumáticos, electromecánicos, con transporte aéreo automático de canales, cortadores eléctricos e hidráulicos, otros países utilizan robots y contadores automáticos de canales procesadas y detectoras de contaminantes¹⁴.

3.1.5. IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS EN LOS FRIGORÍFICOS

La industria frigorífica genera residuos como el estiércol y la orina animal, producidos por la defecación y eyección en los corrales, corredores de matanza y durante el sacrificio; sangre, grasas y pelos producidos en el desollado, en el proceso de tratamiento del cuero y en el proceso de evisceración, resaltando que en la mayoría de plantas de beneficio animal no se aplican medidas preventivas para mitigar la contaminación.

El lavado continuo durante el proceso, se dirige a las tuberías de vertimiento y desagüe hasta llegar a grandes tanques de almacenamiento situados en las zonas de tratamiento de aguas residuales. La mayoría de frigoríficos se localizan cerca a fuentes hídricas superficiales y vierten sus residuos en estas sin realizarles un tratamiento previo, debido a que carecen en su mayoría, de plantas de tratamiento de aguas residuales que cumplan con los parámetros de vertimiento exigidos por la autoridad ambiental¹⁵.

¹² Fedegán, 2012.

¹³ ACERO René, RIAÑO Guillermo y CARDONA, Diego, 2013.

¹⁴ SANTANA, A. 2009.

¹⁵ VEALL, Frederick 1993.

Gráfica 5. Contaminación generada en corrales.



Fuente: Extraído de Veall 1993.

Respecto a los olores, en las zonas de corrales, algunos frigoríficos aplican desinfección y manejos biológicos en forma rotativa conforme se desocupan las secciones de corrales.

En el caso de los residuos biológicos, se tienen empresas especializadas contratadas para retirar y disponer estos residuos. El consumo de agua en los frigoríficos de mayor capacidad se realiza control con medidores situados por secciones o líneas de proceso y son localizados dependiendo del tamaño de la instalación y de los animales sacrificados por día. En los países en desarrollo se estima la utilización de 1700 litros de agua por res procesada, más 25% si se realiza tratamiento de los productos no comestibles¹⁴.

3.1.6. PROBLEMAS AMBIENTALES DEL SECTOR GANADERO

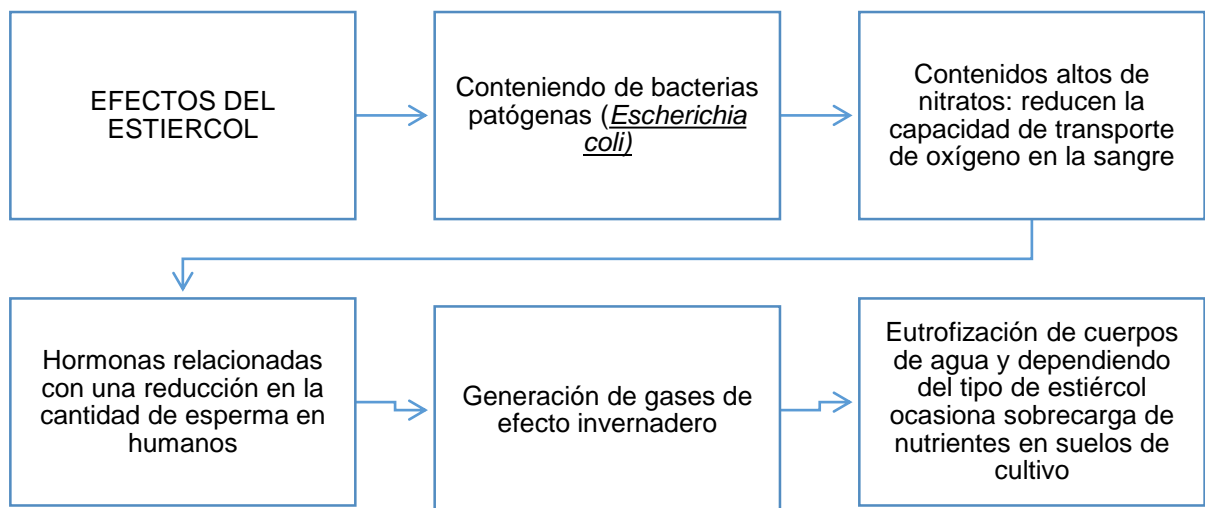
La industria pecuaria es una de las grandes responsables del calentamiento global por la generación de contaminantes que afectan directa e indirectamente al suelo,

agua y atmósfera¹⁶. Con base en dicha problemática ambiental se darán a conocer los mayores impactos ambientales causados por la industria ganadera.

- **Impactos ambientales del estiércol.**

El estiércol de ganado ocasiona enfermedades para la población humana y problemas ambientales, por ello su control debe ser riguroso. A continuación se presentan los principales efectos del estiércol sobre la salud y el ambiente.

Gráfica 6. Efectos del estiércol.



Fuente: Extraído de LeJeune y Wetzell, 2007, Miner et al. 2000 y Sharpe y Skakkebaek, 1993.

La aplicación de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo¹⁷. Los volúmenes promedio de estiércol fresco generados cada día son 0.102 kg/pollo de engorda, 0.270 kg/pavo, 4.7 kg/cerdo de engorda, 22 kg/ bovino de engorda, 38 kg/vaca seca y 68 kg/vacas lactante.

¹⁶PINOS, Juan, et al. 2012.

¹⁷ MINER, J. et al. 2000.

Efectos en el suelo. El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno, fósforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endócrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas)¹⁸. Los aportes de materia orgánica conducen a crear un equilibrio en el contenido del suelo en materia orgánica (humus), cuando se aportan residuos orgánicos es alterado el equilibrio existente dando lugar a uno nuevo y es precisamente este cambio el que puede alterar la calidad del suelo receptor. Indudablemente en suelos pobres en humus estable el incremento será positivo, pero en suelos con un humus elevado dará lugar a problemas tanto en cuanto a fertilidad como de contaminación¹⁹. Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas¹⁷.

Efectos en el agua. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas. El nitrógeno contamina las aguas subterráneas por la lixiviación de nitratos a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol contamina las aguas superficiales²⁰. El fósforo tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque vertido directamente en las corrientes, estimula el proceso de eutrofización el cual aumenta las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua²¹. Sobre las aguas superficiales y subterráneas produce el aumento de toxicidad por el aporte de iones amonio y nitratos, aumentan la Demanda Biológica o Bioquímica de Oxígeno (DBO) y facilitan la transmisión de enfermedades, y sobre la atmósfera, emite olores y gases de efecto invernadero, principalmente el metano y el óxido nitroso²².

Efectos en el aire. Las descargas a la atmósfera provenientes del estiércol incluyen polvo, olores y gases producto de la digestión anaerobia y descomposición aerobia. El olor no presenta riesgos a la salud, pero la mayoría de la gente encuentra inaceptable los olores emitidos por el estiércol en zonas urbanas¹⁶. Entre los contaminantes liberados por el estiércol hacia la atmósfera destaca el amoniaco, así como otros gases de efecto invernadero (GEI) que incluyen metano y óxido nitroso. El metano emitido por el estiércol proviene de la fermentación entérica capturado en las heces, y de la digestión anaeróbica de la materia orgánica del

¹⁸ POWERS, W. 2009.

¹⁹ RODRÍGUEZ, Claudia, 2002.

²⁰ MILLER, J. 2001.

²¹ EPA 2000.

²² GARCÍA, Lisbeth, *et al.* 2009.

estiércol²³, contribuyendo con el 50 % del total de emisiones de amoníaco hacia la atmósfera, porque su tasa de volatilización es mayor a 23 %²⁴.

3.1.7. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN PARA LA CONTAMINACIÓN CAUSADA POR EL ESTIÉRCOL DE BOVINO

Las instalaciones de producción animal afectan negativamente a la calidad del agua. La contaminación por el escurrimiento incluye sedimentos, agentes patógenos y nutrientes que pueden llegar hasta fuentes acuíferas y ocasionar efectos negativos en los ecosistemas y en el ambiente en general. A continuación se presentan tres tipos de alternativas para prevenir la contaminación causada por el estiércol de bovino.

- **Concreto permeable.**

El concreto permeable es un nuevo material que se encuentra en periodo de estudio, nació de la necesidad de encontrar una alternativa que contribuya a la recirculación del ciclo del agua. Está fabricado a partir de cantidades controladas de cemento, agregado grueso, agua y aditivos para crear una masa de partículas de agregado cubierta con una capa delgada de pasta. Una mezcla de este tipo de concreto contiene poca arena, lo que crea un contenido de vacío substancial, logrando una configuración en su estructura que permite ciertas ventajas de funcionalidad como son la resistencia y permeabilidad²⁵. El concreto permeable posee las siguientes características físicas:

Características físicas.

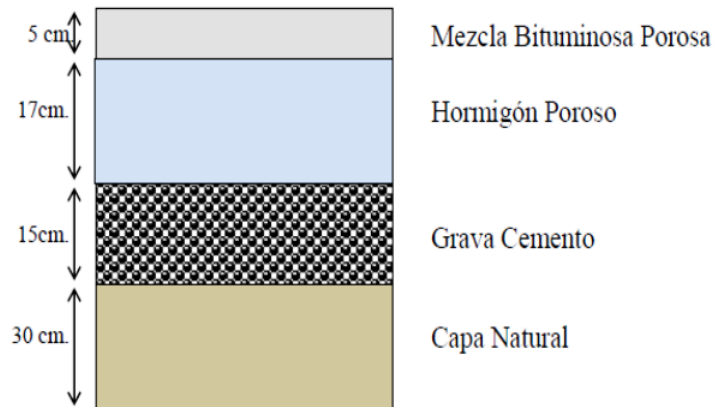
- Capacidad para absorber agua (contenido de vacíos entre 18%-35%).
- Capacidad de infiltración que varía entre 81 a 731 L/min/m².
- Resistencia de 400 - 4000 psi (2.8- 28 Mpa).
- Rango del agregado grueso que se puede usar menor a un tercio del espesor de la capa de pavimento.

²³ KLEIN, C. *et al.*, 2008.

²⁴ BANR y BEST, 2003.

²⁵ AGUILUZ, Barahona, *et al.*, 2013.

Ilustración 1. Base para pavimento de concreto permeable.



Fuente: AGUILUZ, Barahona *et al.* 2013.

El concreto permeable es un material que se está utilizando cada vez más en las zonas urbanas para la reducción de escorrentía. También se ha demostrado que tiene el potencial de mejorar la calidad del agua pluvial o residual que pasan a través de la matriz de hormigón²⁶.

▪ **Uso del concreto permeable en establecimientos de producción animal.**

Actualmente, el concreto permeable es un nuevo producto que se encuentra en investigación. En la búsqueda de la implementación de este nuevo material en diferentes campos como medida de tratamiento del agua, ha llegado a la industria ganadera a medida de estudio. Uno de los problemas con las prácticas operacionales de producción animal, es el uso del hormigón u otras superficies impermeables. Se han estudiado nuevas estrategias para el control de la escorrentía superficial a través de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, más conocidos como SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) en el Reino Unido, BMPs (Best Management Practices) en Estados Unidos o Mejores Prácticas de Control (MPC). Los SUDS minimizan los impactos en el ciclo hidrológico por medio de prácticas de control en la fuente, reduciendo la entrada de contaminantes a las aguas lluvias de escorrentía, y de prácticas que incentivan el manejo del agua lluvia en el lugar donde se producen, realizando tratamientos temporales, fomentando la detención y la infiltración²⁷. Los beneficios de estas prácticas de tratamiento

²⁶ LUCK, Joe, *Et al.* 2009.

²⁷ CASTRO, Mario, 2011.

incluyen el control de la escorrentía, la retención de partículas sólidas en las cuencas, mantiene las estructuras y los alrededores secos, la reducción de los nutrientes en las aguas residuales y evitan la acumulación excesiva de agua en charcas o cualquier otra estructura ²⁸. El concreto permeable permite la retención de estiércol de ganado vacuno como soporte en la superficie, filtrando el agua a través de los agregados y el concreto²⁹. En los Países Bajos, pisos de concreto con ranuras y perforaciones abiertas han sido probados para su uso en edificios de ganado³⁰.

En este sistema de piso, como líquidos drenados en un compartimiento inferior, más material sólido se retiene en la superficie. Así mismo, permite el paso de 120 – 320 Litros de agua a través de cada metro cuadrado, con una tasa de flujo típica de 3.4 mm/s, esta tasa de flujo es mayor a cualquier evento de lluvia lo que permite el agua fluir a través de este. Cuando se usan pavimentos de concreto permeable el agua lluvia se filtra en el suelo y es allí, donde se encuentran microorganismos descomponedores de materia orgánica las cuales están encargadas de degradar contaminantes orgánicos³¹. El concreto permeable cuenta con ciertas características que favorecen su implementación en zonas urbanas.

Ventajas.

- Reducción de la escorrentía, superficies duraderas para la operación del equipo.
- Las aguas residuales separación sólido / líquido y el tratamiento.
- Reducción de nutrientes como resultado de la actividad microbiana.
- Reduce los contaminantes en los suelos.
- Eficiencias de remoción entre 10 a 98% según carga contaminante.

Desventajas.

- Grietas debido a las pérdidas de sub-rasante causadas por hundimiento.
- Necesidad de investigación para extender su uso en otras aplicaciones y para verificar su desempeño en diferentes ambientes.
- La exposición al congelamiento y descongelamiento tiende a dañar el concreto.
- La resistencia a la compresión es muy baja comparada a la del concreto convencional.
- Alto costo de mantenimiento.

²⁸ GONZALEZ, Carmen.

²⁹ LUCK J. *et al.* 2006.

³⁰ SWIERSTRA J. *et al.* 2001.

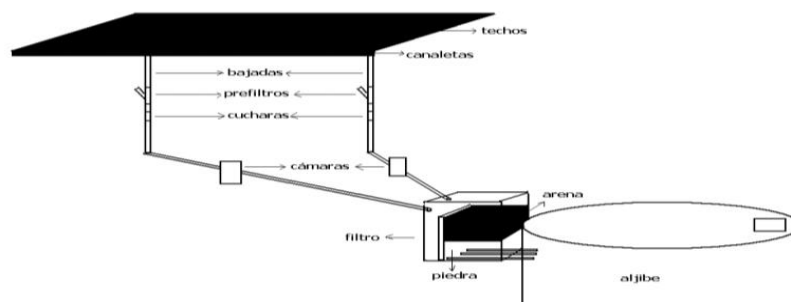
³¹ SUBRAMANIAN, N. 2008.

- **Techos.**

El uso de techos en corrales de producción animal debe prever algunas características importantes para la adecuada instalación de los mismos, como la correcta elección del terreno (preferiblemente alto), y que el lugar en donde se va a implementar dicho sistema proporcione el máximo movimiento de aire. Esto no sólo mejorará el bienestar humano y animal, sino que contribuirá a secar el interior del corral, lo que siempre constituye un grave problema. Es primordial realizar la correcta orientación y ubicación de sombras así como la altura de las mismas. La orientación Norte-Sur es la más indicada pero no la única. En corrales altos la sombra debe ser ubicada hacia el centro para que se proyecte a lo largo del día a todo el ancho del corral. Los techos se deben construir con 3m de alto hasta 4.5m en torno a toda el área de descanso y no debe haber más entradas que las del corral de inspección, ni ninguna salida salvo la que conduce a los establos³². En los climas templados es necesario proporcionar cobijo contra la lluvia, la nieve y la radiación solar. En zonas tropicales, el objetivo de la construcción de los techos es conseguir la máxima ventilación natural por medio de aleros abiertos y caballetes abiertos en un tejado en declive o tablillas de bambú en los tejados planos³³. Los sistemas para la recolección de agua lluvia en techos de corrales constan básicamente de:

- Un área de captación y un sistema de canaletas y bajadas.
- Un sistema de pre filtrado y filtrado, cucharas y cámaras de inspección.
- Un depósito de almacenamiento con bombeo para extraer el agua.

Ilustración 2. Modelo del sistema básico de techos para la recolección de agua lluvia.



Fuente: Normas básicas para el manejo de los recursos hídricos en el ámbito rural para consumo humano.

³²GASQUE, Ramón. 2002.

³³CHAUX, G. *et al*, 2009.

El área de captación pueden ser techos existentes reacondicionados o superficies nuevas, compuestas por chapas de zinc con sistemas de soporte que permitan un desnivel adecuado para el escurrimiento superficial. La superficie a utilizar está determinada por el análisis de las lluvias del lugar, siendo recomendable contar con series de precipitaciones anuales lo suficientemente extensas (30 a 40 años como mínimo) para contemplar períodos hidrológicos secos, húmedos y medios³⁴.

- **Recolección de estiércol por dilución en el escurrimiento.**

El manejo de efluentes líquidos y estiércol requiere del diseño de estructuras de recolección, procesamiento y reutilización de las excretas. La información sobre la escala del feedlot (cantidad de animales a contener) y sobre las características topográficas, hidrológicas y climáticas del sitio, adicional el volumen a contener constituyen la base del diseño. Los diseños a proponer deben satisfacer las necesidades propias de los lugares donde serán implementados, buscando optimizar a nivel de sustentabilidad donde se examine obtener un beneficio económico, social y ambiental. El objetivo debe ser la contención y manejo de los efluentes líquidos y sólidos para reducir la contaminación y facilitar el escurrimiento controlado en corrales. En los feedlots a cielo abierto, los efluentes líquidos son generados a partir de las deyecciones y el aporte de agua de las precipitaciones³⁵.

Manejo de líquidos. Las instalaciones para el manejo de efluentes se componen de un sistema de recolección del escurrimiento superficial a través de una estructura de drenajes primarios y secundarios colectores y su captura se realiza en sistemas de tratamiento tales como sedimentadores primarios y secundarios que favorezcan la decantación de sólidos, reducción de materia orgánica y evaporación de agua y almacenamiento para su posterior uso (riego).

Área de captura y drenajes. En algunos casos, el área de corrales recibe los efluentes del almacenamiento y procesado de alimentos, por lo que sus escurrimientos deben ser conducidos por vía independiente hacia las lagunas de decantación y almacenamiento. El sistema de drenajes debería ser concebido para:

- Evitar el ingreso de escurrimientos superficiales al área del feedlot.
- Crear un área de escurrimiento controlado.

³⁴Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.

³⁵ NSW Agriculture, 1998.

- Colectar el escurrimiento del área del feedlot y transferirlo, vía sistemas de sedimentación, a lagunas o sectores de decantación y sistemas evaporación.
- Proveer sistemas de sedimentación para remover sólidos en el efluente y proteger el recurso hídrico evitar la formación de barros y sectores sucios.

Sistema de almacenamiento. En la totalidad de la superficie del feedlot las pérdidas por infiltración deberían ser mínimas y las producidas por evaporación dependerán del tiempo de permanencia del agua en la superficie y en las lagunas precedentes. Desde la laguna de sedimentación el líquido fluye hacia los sistemas de evaporación y finalmente hacia las lagunas de almacenamiento. Estas lagunas se diseñan para contener los líquidos y sus funciones son:

- Captura de la escorrentía del feedlot para minimizar la contaminación del suelo y los recursos hídricos.
- Almacenamiento del agua de escurrimiento para su posterior uso en riego
- Tratamiento del agua recogida antes de su aplicación.
- Recolección del agua efluente para continuar evaporación.

Sistemas alternativos para el manejo de efluentes. La utilización de franjas de vegetación que operen de filtro verde de los efluentes se ha difundido como una alternativa de menor costo, comparada con el almacenaje y bombeo y riego por aspersión o traslado en tanques regadores a predios agrícolas. En estos sistemas, se construyen lagunas de sedimentación y almacenamiento para corto tiempo y volúmenes limitados, las cuales drenan por desborde de vertedero regulable a sectores cultivados con especies vegetales de alta tasa de crecimiento y captura de nutrientes. Luego de pasar por estos filtros llega con menos del 10% de los sólidos totales con los que ingresara al filtro y el 1 % del nitrógeno y el fósforo iniciales³⁶.

Manejo del estiércol. Dependiendo de la digestibilidad de la dieta, un feedlot de 5000 cabezas puede producir entre 6000 y 9000 toneladas de estiércol anualmente. Un novillo de 450 kg produce un promedio de 38 litros o 27 kg de excrementos húmedos (orina y heces) por día, con una variación del 25% dependiendo del clima, el consumo de agua y el tipo de dieta. La reducción de la producción total de heces es el primer factor reductor de contaminación. Las dietas de baja fibra se caracterizan por digestibilidades mayores y menores emisiones.

³⁶ KOELSCH, R. *et al*, 2006.

Limpieza de los corrales. La remoción frecuente del estiércol y su aplicación directa en la tierra maximizan el valor fertilizante, reduce los riesgos de polución de aguas y aire. Cargadores con pala frontal se utilizan comúnmente para limpiar los corrales. En feedlots grandes suelen utilizarse autocargadores con cepillos raspadores frontales. Normalmente se limpian los corrales cuando están vacíos entre salidas y entradas de lotes de animales. Se deberían limpiar dentro de los 5 días luego de salido el lote de animales para evitar el encostrado con la humedad diaria y lluvias eventuales. Si la cantidad de material acumulado excede los 15 o 20 cm de altura y ocurren lluvias, puede comenzar un flujo masal de las excretas generando escurrimientos contaminantes.

Fertilización con líquidos y estiércol.

- **Riego con efluentes líquidos.** El objeto de establecer áreas a regar con los efluentes consiste en minimizar los riesgos de contaminación con los líquidos emanados del feedlot a través de la generación de un uso económico del agua, nutrientes y materia orgánica almacenados en la laguna de almacenamiento.
- **Abonado con estiércol.** En términos estimados, una tonelada de excrementos de bovinos de feedlot contiene cerca de 5 kg de nitrógeno, 1 kg de fósforo y 4 kg de potasio. Si no se considera la fracción líquida, el excremento resulta en 2,5 kg de nitrógeno, 1 kg de fósforo y 0,8 kg de potasio (1kg K₂O) aportando grandes cantidades de nutrientes³⁷.

Tanques de almacenamiento. El método de control del escurrimiento de estiércol implica el almacenamiento temporal en un gran estanque o laguna. Con el tiempo, los nutrientes pueden lixiviar por el suelo al agua subterránea. También, el mantenimiento del estanque es costoso y difícil, sin mencionar que el olor deja mucho que desear. John Nienaber, líder de la investigación ARS señala, "realmente nadie quiere ver ni oler un estanque de almacenamiento de estiércol". El escurrimiento del contenido sólido del estiércol en pozos de almacenamiento temporal en la base de un corral de engorde inclinado permite soportar el escurrimiento durante varias horas facilitando que los desperdicios sólidos puedan caerse al fondo. El líquido remanente es entonces drenado a través de tubos de distribución, favoreciendo una dispersión uniforme sobre el "área de tratamiento vegetativo", o VTA (por sus siglas en inglés). La distribución del líquido es muy controlada por lo que una laguna llena se vaciaría en 6 a 8 horas, aunque el proceso se inicia tan pronto como el líquido se separa de los sólidos en la laguna³⁸.

³⁷ ANÍBAL J.

³⁸ BAVERA, Guillermo, 2007.

3.1.8. PROGRAMAS PARA LA MODELACIÓN DE AGUA LLUVIA Y ESCORRENTÍA

Los modelos lluvia escorrentía con base en hidrógrafas sintéticas permiten hallar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno utilizando los parámetros geomorfológicos de cada subcuenca en área de estudio. Las hidrógrafas unitarias sintéticas permiten construir un hidrograma de escorrentía superficial para una lluvia de duración y profundidad unitaria para una cuenca sin registros de caudal. Los componentes principales que definen cada hidrógrafa son: el tiempo de rezago, el tiempo de concentración, el tiempo base y el tiempo al pico, dichas componentes son estimadas en función de parámetros morfométricos de la cuenca tales como el área, la pendiente promedio, cota máxima, cota mínima, distancia al centroide, entre otras. Variando la forma de cálculo entre diferentes metodologías³⁹. La modelación de las aguas lluvias y residuales se ha enfocado en el drenaje a nivel de cantidad, donde el principal objetivo de los trabajos de modelación, es evaluar las alternativas para evacuar rápidamente y de manera segura, las aguas de las áreas urbanas hacia los cuerpos receptores.⁴⁰ Como el Storm Water Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) de la EPA (SWMM) es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental. Estos módulos y sus correspondientes objetos de SWMM son los siguientes:

- Funciona con una serie de subcuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía.
- El transporte de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores.
- La calidad permite seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada subcuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la concentración de un compuesto en cada tubería y canal en múltiples intervalos de tiempo.

- **Objetivos de EPA SWMM 5.1.**

³⁹ ROJO, Julián.

⁴⁰ ESTUPIÑAN, Hugo, 2009.

- Diseño de diversos elementos de una red de drenaje urbano.
- Estudio y creación de modelos de cuenca urbana.
- Control de vertidos en tiempo de lluvia desde redes unitarias, y de redes separativas.
- Evaluación de BMPs y LIDs (Low Impact Developments) para cumplir con objetivos de sostenibilidad.

- **Capacidades hidrológicas de EPA SWMM 5.1.**

- Precipitación variable en tiempo y espacio.
- Simulación de procesos de evaporación, acumulación y derretimiento de nieve, e interceptación por encharcamiento.
- Simulación de la infiltración.
- Simulación de la escorrentía superficial mediante modelo de depósito no lineal.
- Aporte de escorrentía superficial entre subcuencas⁴¹.

- **Pasos para la simulación.**

- Especificar un conjunto de opciones de trabajo y de propiedades de los objetos por defecto.
- Dibujar una representación gráfica de los objetos físicos del sistema que se va a estudiar.
- Editar las propiedades de los objetos que componen al sistema.
- Seleccionar el conjunto de opciones para el análisis.
- Ejecutar la simulación.
- Ver los resultados de la simulación⁴².

- **Componentes físicos y datos de entrada.**

- Estaciones pluviométricas (Rain gage) y subcuencas (Subcatchment).
- Tipo NODE (Nodo), Tipo LINK (Conector) y tipo LINK (Conector).
- Descargas y unidad de almacenamiento.
- Divisores de flujo (Bombas, orificios, vertederos y climatología).

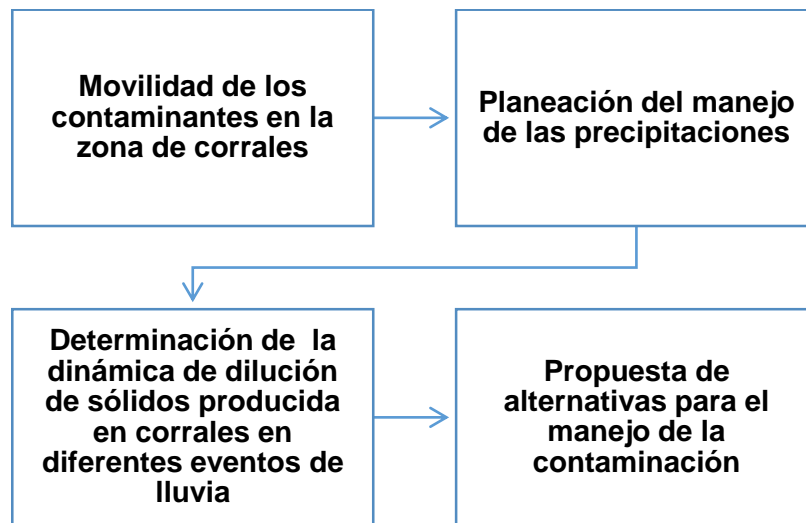
⁴¹ CONCHA, R.

⁴² MENÉNDEZ, Ángel. y RE, Mariano. 2009.

4. METODOLOGÍA

El desarrollo del análisis del comportamiento de la escorrentía superficial en los corrales de la planta de beneficio animal se llevará a cabo en cuatro etapas para establecer alternativas para el manejo de la contaminación hídrica producto de las altas precipitaciones de agua lluvia. A continuación se mostrará la estructura específica de cada una de ellas.

Gráfica 7. Metodología para el estudio del comportamiento de la escorrentía superficial en corrales.



Fuente: Autor.

4.1. ETAPA 1: MOVILIDAD DE CONTAMINANTES EN MEDIO SECO Y ACUOSO

Para determinar la movilidad de los contaminantes en medio seco y acuoso se realizará todo el estudio sobre muestras (lote conformado por 10 bovinos) de reses con seis repeticiones y se escalará a condiciones totales teniendo en cuenta los siguientes componentes:

4.1.1. Cuantificación de ganado bovino.

La cuantificación de bovinos por día de producción se realizará a partir de estadísticas suministradas por la planta de beneficio animal.

4.1.2. Cuantificación de masa generada en las tres subsecciones de corrales y tiempo de ocurrencia.

Se realizará la cuantificación de masa generada en las tres subsecciones de la zona de corrales (recepción, comercialización y ante – mortem) a partir de: 1) la diferencia de peso de una muestra entre la entrada de corrales y salida de los mismos y 2) por medio de la observación de cada muestra se estimara la masa depositada en cada subsección y el tiempo de generación de las mismas.

4.1.3. Cuantificación de la producción porcentual de estiércol y orina.

Debido a la dificultad para medir en campo la producción de orina y estiércol, se hará una revisión bibliográfica para definir el porcentaje de orina y estiércol.

4.1.4. Verificación del consumo de agua en lavado en las tres subsecciones de corrales.

Se aforará el caudal de cada una de las mangueras utilizadas para el lavado en las subsecciones, en especial en la zona de comercialización y se realizarán mediciones horarias para determinar las variaciones de flujo durante el día.

4.1.5. Establecer puntos críticos de producción de estiércol.

Siguiendo la metodología de estudio de tiempos y la frecuencia de llegada de lotes, se determinará el llenado de corrales para establecer puntos críticos de generación.

4.2. ETAPA 2: MANEJO DE LAS PRECIPITACIONES DE AGUA LLUVIA MEDIANTE EL SOFTWARE STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)

La modelación del comportamiento del agua lluvia sobre los corrales, permitirá establecer las necesidades de estructuras de control y dimensionamiento de las

estructuras de tratamiento, con el fin de planificar el manejo de aguas lluvias bajo diferentes eventos de precipitación. Para la modelación es necesario realizar:

4.2.1. Levantamiento de planos.

Se efectuará la recolección de información del sistema actual de canales a partir de los planos suministrados por la planta de beneficio animal.

4.2.2. Estudio de precipitaciones.

Se hará la recolección de información acerca de la precipitación del lugar a través de la estación hidrométrica más cercana.

4.2.3. Montaje de la información en el programa EPA SWMM 5.1.

Con base en la información recolectada se graficarán en el programa EPA SWMM 5.1, los eventos de precipitación y el actual diseño de canales para la recolección de agua lluvia con el fin de determinar la hidrodinámica de la escorrentía superficial y proponer una alternativa de mejoramiento.

4.2.4. Montaje de escenario con estructuras de control y tratamiento en el programa EPA SWMM 5.1

Se realizará el montaje de las estructuras hidráulicas correspondientes a la zona de corrales en el software EPA SWMM.

4.3. ETAPA 3: VERIFICACIÓN DE LA DINÁMICA DE DILUCIÓN DE SÓLIDOS PRODUCIDA EN CORRALES EN DIFERENTES EVENTOS DE LLUVIA

La dinámica de dilución en eventos de lluvia está comprendida por dos factores principales: 1) el estado de limpieza de los corrales y 2) la magnitud de la precipitación. Para establecer la incidencia en estos dos elementos se realizará dos estudios:

4.3.1. Estudio de la dilución en corrales mediante simulación teórica.

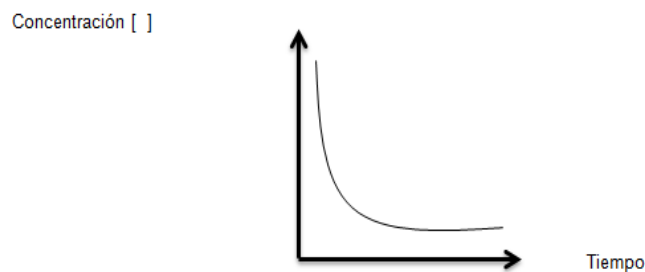
Se realizará la simulación teórica en del comportamiento de la escorrentía y el arrastre de contaminantes mediante el software EPA SWMM 5.1 en corrales, evaluando los siguientes escenarios:

- **ESCENARIO 1:** limpio con lluvia intensa.
- **ESCENARIO 2:** limpio con baja lluvia.
- **ESCENARIO 3:** sucio con lluvia intensa.
- **ESCENARIO 4:** sucio con baja lluvia.

4.3.2. Estudio de la dilución de estiércol y orina en campo en los corrales.

Se llevará a cabo buscando condiciones similares a la propuesta en la simulación teórica, teniendo en cuenta que el estudio depende de los eventos de precipitación presentados en el margen del proyecto. Solo se realizará en los eventos que se presenten. Para la obtención de esta simulación se realizarán aforos que permitan plasmar una curva de lavado de corrales en eventos de precipitación como se muestra en la gráfica 8, a fin de determinar la concentración y el estado de dilución de sólidos por escorrentía a partir del análisis de los mismos.

Gráfica 8. Concentración vs el tiempo.



Fuente: Autor.

4.4. PROPUESTA DE ALTERNATIVA A PARTIR DE LOS TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPOS DE DIILUCIÓN

Con base en la información recolectada se formulará y diseñaran las alternativas necesarias para el manejo de la contaminación en corrales en varios eventos de lluvia.

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1. ETAPA 1: MOVILIDAD DE CONTAMINANTES EN MEDIO SECO Y ACUOSO

5.1.1. Cuantificación de ganado bovino.

- Ingreso de ganado bovino.

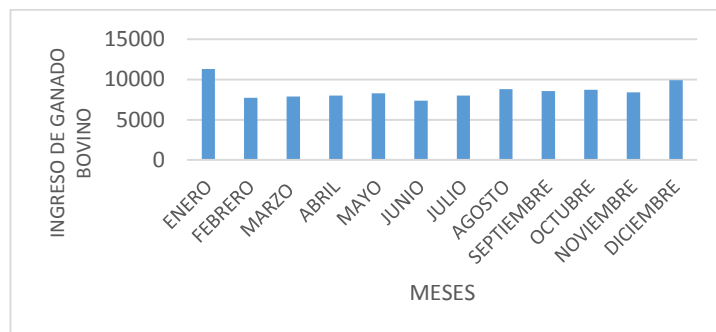
Se realizó la cuantificación diaria y mensual de ganado bovino a partir de la información estadística del año 2014 suministrada por la planta de beneficio animal (Anexos 1 y 2). A partir de esta información se llevó a cabo un análisis de tendencia como se muestra en la tabla 10. Los días de mayor ingreso de ganado bovino durante un año son los miércoles, jueves y viernes.

Tabla 10. Medidas de tendencia central del ingreso diario de ganado bovino.

| | LUNES | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | SABADO | DOMINGO |
|-----------------|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| MEDIANA | 275 | 260 | 333 | 446 | 404 | 163 | 60 |
| PROMEDIO | 294 | 278 | 334 | 440 | 395 | 167 | 70 |
| MINIMO | 153 | 76 | 0 | 0 | 0 | 55 | 0 |
| MAXIMO | 733 | 673 | 628 | 752 | 748 | 336 | 327 |

Fuente: Extraído de la información estadística de una planta de beneficio animal.

Gráfica 9. Meses de mayor ingreso de ganado bovino.



Fuente: Autor.

Los meses de mayor ingreso de ganado bovino son enero y diciembre.

En la tabla 11 se encuentran registrados los valores máximos de ingreso de ganado, diario, semanal y mensual.

Tabla 11. Promedio de ingreso máximo diario, semanal y mensual de ganado.

| | |
|---|------|
| Promedio del ingreso máximo diario de ganado bovino: | 599 |
| ingreso máximo semanal de ganado bovino: | 4197 |
| Promedio del ingreso mensual de ganado bovino: | 8589 |

Fuente: Autor.

- **Sacrificio de ganado bovino.**

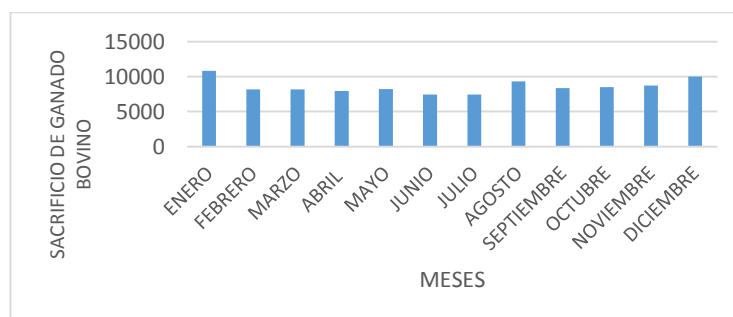
Con base en los anexos (3 y 4) diarios y mensuales de beneficio durante el año 2014, se identificaron los días de mayor sacrificio de ganado bovino a partir del promedio de beneficio diario, siendo los días viernes y sábado los de mayor sacrificio.

Tabla 12. Medidas de tendencia central del sacrificio diario de ganado bovino.

| | LUNES | MARTES | MIERCOLES | JUEVES | VIERNES | SABADO | DOMINGO |
|-----------------|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| MEDIANA | 241 | 243 | 266 | 261,5 | 353 | 359,5 | 222,5 |
| PROMEDIO | 253 | 267 | 265 | 263 | 357 | 341 | 226 |
| MINIMO | 183 | 177 | 64 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MAXIMO | 451 | 580 | 424 | 479 | 496 | 561 | 405 |

Fuente: Extraído de la información estadística de una planta de beneficio animal.

Gráfica 10. Meses de mayor sacrificio de ganado bovino.



Fuente: Autor.

Los meses de mayor sacrificio de ganado bovino son enero y diciembre.

En la tabla 13 se encuentran registrados los valores máximos de ingreso de ganado, diario, semanal y mensual.

Tabla 13. Promedio del sacrificio máximo diario, semanal y mensual de ganado.

| | |
|--|------|
| Promedio máximo de sacrificio de ganado: | 485 |
| Máximo sacrificio semanal de ganado bovino: | 3395 |
| Promedio mensual de sacrificio de ganado: | 8597 |

Fuente: Autor.

Por medio de la información suministrada acerca de la entrada de bovinos y sacrificio diario de los mismos, se identificaron los días de mayor ingreso y los días de mayor sacrificio en cada uno de los meses del año 2014 en el frigorífico. A partir de ello se realizó un estimativo promedio del ingreso y del sacrificio de ganado bovino máximo diario, máximo semanal y mensual. Los meses de mayor ingreso y sacrificio de ganado bovino son enero y diciembre.

5.1.2. Cuantificación de masa generada en las tres subsecciones de corrales y tiempo de ocurrencia.

Se realizó el repesaje de una muestra de 10 bovinos para calcular la diferencia de peso y analizar qué cantidad de masa húmeda (estiércol) queda depositada en los corrales por los días de estadía de cada bovino. Teniendo en cuenta que cada animal antes de llegar al frigorífico, durante el viaje en los camiones ya ha realizado deyecciones líquidas y fecales, el primer pesaje de entrada se asume como peso en pie más el porcentaje atribuido al rumen y al estiércol diagnosticado a partir del segundo pesaje.

Tabla 14. Cálculo de estiércol de bovino diario.

| PESO INICIAL (Kg) | PESO FINAL (Kg) | DIFERENCIA (Kg) | ESTADÍA EN CORRALES (Días) | ESTIERCOL DE BOVINO DIARIO (Kg) |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| 489 | 461 | 28 | 6 | 4,6 |
| 431 | 388 | 43 | 13 | 3.3 |
| 408 | 402 | 6 | 3 | 2 |

| | | | | |
|-----|-----|----|---|-----|
| 433 | 412 | 21 | 3 | 7 |
| 410 | 399 | 11 | 3 | 3.6 |
| 422 | 410 | 12 | 3 | 4 |
| 435 | 414 | 21 | 3 | 7 |
| 403 | 390 | 13 | 3 | 4.3 |
| 454 | 439 | 15 | 3 | 5 |
| 409 | 399 | 10 | 3 | 3.3 |

Fuente: Autor.

El promedio de kilogramos de estiércol de la muestra de 10 bovinos con estadía entre 3 y 13 días en corrales es de 5 Kg/día.

- **Estimación de la producción de estiércol en corrales de comercialización.**

Para realizar la estimación de la producción de estiércol de bovino en corrales, se asumió que el porcentaje de orina es indiferente dentro de la diferencia de peso de la muestra de ganado utilizada, debido a que durante la estadía de las reses el consumo de agua es proporcional a la deyección de orines diaria en cada corral; tomando así, de manera total la diferencia de peso como deyección neta de estiércol de bovino.

Tabla 15. Producción de estiércol máximo diario, máximo semanal, mensual y anual.

| PRODUCCIÓN DE ESTIERCOL | PROMEDIO DE ESTIERCOL PRODUCIDO POR CANTIDAD DE BOVINOS INGRESADOS | TOTAL (Kg) PESO HÚMEDO |
|--------------------------------|---|-------------------------------|
| DIARIA | 5X599 | 2995 |
| SEMANAL | 5X4197 | 20985 |
| MENSUAL | 5X8589 | 42945 |
| ANUAL | 5X103068 | 515340/515,340 Ton |

Fuente: Autor.

- **Cálculo de la concentración de sólidos totales en lavado de corrales.**

Se efectuó la toma de muestras durante el inicio de lavado de corrales (8:50 am) en la caja de inspección de la sección de corrales y en el tubo de conducción hacia la PTAR (Anexo 5). Al iniciar el lavado de corrales por parte de los vaqueros, se evidencia una concentración de 33100 mg de sólidos totales/L en el agua proveniente de la sección de comercialización, debido a que se genera el primer arrastre de deyecciones del día, resaltando que durante la noche se acumula estiércol ganado. Así mismo, se obtuvo una concentración de 17328 mg de sólidos totales/L en la PTAR, correspondiente a la conducción procedente de corrales. Los valores obtenidos de sólidos totales son altos, dentro de los rangos estipulados en las características de las aguas residuales industriales de mataderos o frigoríficos cuyo valor máximo es de 800 mg/L.⁴³

Durante el lavado la concentración de sólidos totales de las muestras tomadas en corrales y a la conducción hacia la PTAR es menor que al inicio de la misma actividad, obteniéndose valores de 3916 y 886 mg/L, debido a la dilución generada en el transcurso del tiempo de lavado. Después de una jornada de lavado, se obtuvieron concentraciones de 2996 y 6366 mg de sólidos totales/L en corrales y en la conducción hacia la PTAR, siendo estos valores menores a los calculados en el inicio del lavado (33100 y a 17328 mg de sólidos totales/L).

- **Cálculo de la concentración de sólidos totales en eventos de lluvia.**

Se realizó la toma de muestras en un día de lluvia con el fin de formalizar un análisis comparativo de las concentraciones de sólidos totales en eventos de precipitación. A continuación se evidenciarán diferentes escenarios presentados en el muestreo de un día lluvioso después de una noche de lluvia constante (Anexo 6).

Toma de muestras iniciando lluvia (alta con corto tiempo). Se evidenció un mayor arrastre de deyecciones al finalizar el evento, obteniéndose concentraciones de sólidos totales iniciales de 4650 y finales de 7430 mg/L.

Toma de muestras iniciando lluvia (media constante). Se evidenció un mayor arrastre de deyecciones al finalizar el evento obteniéndose concentraciones de sólidos totales iniciales de 3520 y finales de 4920 mg/L.

Toma de muestras iniciando lluvia (alta constante). Se evidenció un mayor arrastre de deyecciones al finalizar el evento obteniéndose concentraciones de sólidos totales iniciales de 5980 y finales de 6060 mg/L.

⁴³ COLLAZOS, Carlos 2008.

Toma de muestras después de toda una noche de lluvia (lluvia alta). La lluvia permite la dilución de las deyecciones del ganado disminuyendo las concentraciones de sólidos totales hasta 620 mg/L después de 12 horas de rocío alto y constante.

La variación del fenómeno de lluvia (alta con tiempo corto, alta constante y media constante) es directamente proporcional al arrastre de deyecciones de ganado bovino, es decir, entre mayor sea la cantidad de lluvia mayor será la concentración de sólidos totales en el agua residual. Sin embargo, después de un lavado mayor de lluvia intensa y constante con un tiempo superior a 12 horas, la concentración de sólidos totales disminuye debido a la alta dilución ocasionada por la alta cantidad de agua lluvia.

- **Estimación de la masa depositada en corrales a partir de la observación.**

Se realizaron tres monitoreos diarios en las tres subsecciones de corrales (recepción, comercialización y beneficio) con el fin de cuantificar el número de deyecciones (masa húmeda) en un intervalo de tiempo (Anexos 7,8 y 9). Se llevó a cabo la cuantificación del ganado presente en los días de monitoreo y la cantidad de deyecciones depositadas por las reses, obteniéndose para cada subsección una estimación secuencial de estiércol de 74, 50 y 16 deposiciones respectivamente.

5.1.3. Estimación teórica de la producción porcentual de estiércol y orina.

Para la estimación de la producción porcentual de estiércol y orina de bovino se realizó la siguiente revisión bibliográfica contenida en la tabla 16:

Tabla 16. Producción de estiércol kilogramo/año

| ESTIERCOL | PRODUCCIÓN (Kg/año) | MATERIA SECA (g/Kg) | MATERIA ORGÁNICA (g/Kg) |
|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| Purín de ganado vacuno | 20200 | 95 | 68 |

Fuente: Extraído de El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente.

Tabla 17. Producción diaria de orín vacuno en campo.

PRODUCCIÓN DE ORINA (L/día)

22.2

Fuente: Extraído de Manual de mejora ambiental de las explotaciones lecheras de Cantabria.

La producción anual de estiércol de ganado vacuno adulto (vacas de 550 Kg de peso en pie) es de 20200 Kg, siendo una producción diaria de 55 Kg, no obstante cabe aclarar que este valor se notifica para ganado en campo y en granjas donde diariamente se están alimentando, en el caso de un frigorífico, el ganado no es alimentado, únicamente se les suministra agua. La producción de orina diaria de una vaca es de 22,2 litros, sin embargo el porcentaje de estiércol y orina de un bovino equivale al 7% de su peso en pie⁴⁴.

Asumiendo que la demanda de agua para consumo del ganado es igual al orín producido por el mismo y con base en los 22,2 Litros de orín referenciados en la literatura, se estimó un gasto de agua potable para consumo animal de 13297 Litros/día para una muestra de 599 bovinos.

5.1.4. Verificación del consumo de agua en lavado en las tres subsecciones de corrales.

La verificación del consumo de agua en la zona de corrales se realizó por medio del conteo y aforo de caudal de cada una de las mangueras presentes en las tres subsecciones: recepción, comercialización y beneficio. Igualmente, se cuantificó el tiempo de consumo de agua en el lavado de corrales. A continuación se presentan las tablas 18,19 y 20 con el registro concerniente a cada subsección:

- **Toma de caudal de las mangueras presentes en los corrales de recepción.**

Tabla 18. Caudal de las mangueras de la subsección recepción.

| MANGUERA | BOQUILLA | VOLUMEN (L) | TIEMPO (s) | CAUDAL (L/s) |
|----------|----------|-------------|------------|--------------|
| 1 | NO | 0,77 | 1,04 | 0,740 |
| 2 | NO | 0,81 | 1,37 | 0,591 |
| 3 | NO | 0,6 | 0,94 | 0,638 |

Fuente: Autor.

⁴⁴ Rodríguez, Claudia.

- **Toma de caudal de las mangueras presentes en los corrales de comercialización.**

Tabla 19. Caudal de las mangueras de la subsección comercialización.

| MANGUERA | BOQUILLA | VOLUMEN (L) | TIEMPO (s) | CAUDAL (L/s) |
|----------|----------|-------------|------------|--------------|
| 1 | NO | 0,95 | 1,28 | 0,742 |
| 2 | SI | 0,4 | 0,8 | 0,500 |
| 3 | NO | 0,9 | 1,71 | 0,526 |
| 4 | SI | 0,5 | 1,47 | 0,340 |
| 5 | NO | 0,84 | 1,28 | 0,656 |

Fuente: Autor.

- **Toma de caudal de las mangueras presentes en los corrales de beneficio.**

Tabla 20. Caudal de las mangueras de la subsección beneficio.

| MANGUERA | BOQUILLA | VOLUMEN (L) | TIEMPO (s) | CAUDAL (L/s) |
|----------|----------|-------------|------------|--------------|
| 1 | DIRECTO | 0,6 | 6,15 | 0,098 |
| 2 | DIRECTO | 0,6 | 6,15 | 0,098 |
| 3 | DIRECTO | 0,33 | 0,43 | 0,767 |

Fuente: Autor.

La cantidad total de mangueras presentes en las tres subsecciones de corrales es 11. Al realizar la sumatoria de los caudales individuales de las mangueras se obtuvo un caudal total de 5,7 L/s. Se encontró que únicamente dos de las mangueras cuentan con el sistema de boquilla y el valor restante representa aquellas con acceso directo.

- **Consumo de agua en corrales de comercialización.**

Atendiendo a la frecuencia de lavado de corrales, se escogió la subsección de comercialización como la principal zona de lavado, debido a que en las otras dos subsecciones (recepción y beneficio) no se lleva a cabo dicha actividad diariamente. En la tabla 21 se encuentra registrado el volumen de consumo de agua para dicha sección.

Durante un intervalo de muestra de tres horas de lavado de corrales por vaqueros, desde las 10:00 am hasta la 1:00pm, se calculó el consumo de agua en la subsección de comercialización puesto que en esta zona se realiza limpieza y

lavado diario con agua potable, mientras que en las otras dos subsecciones, se efectúa limpieza y recolección en seco (sin uso de agua potable) y en ciertas ocasiones, si se efectúa lavado de las mismas con agua potable.

Tabla 21. Consumo de agua en la subsección de comercialización.

| MANGUERA | TIEMPO DE LAVADO (h) | TIEMPO DE LAVADO TOTAL (s) | CAUDAL MANGUERA (L/s) | CONSUMO DE AGUA (L) |
|--------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | 2,11 | 7596 | 0,74 | 5636,23 |
| 2 | 1,49 | 5364 | 0,50 | 2682,00 |
| 3 | 0,27 | 7524 | 0,53 | 3957,62 |
| | 1,29 | | | |
| | 0,53 | | | |
| 4 | 1 | 7524 | 0,34 | 2558,16 |
| | 1,09 | | | |
| 5 | 0,31 | 1872 | 0,66 | 1228,03 |
| | 0,21 | | | |
| TOTAL | | | | 16062,05 |

Fuente: Autor.

El consumo de agua en la sección de corrales depende del tiempo en el cual esté disponible el servicio. En la subsección de comercialización se estimó un consumo de 16062 Litros durante tres horas de lavado de corrales. Sin embargo, al calcular el caudal total (5,7 L/s) de la sumatoria de cada caudal proveniente de las mangueras de la sección de corrales y asumiendo un tiempo de servicio de 3 horas de lavado, se estimó un consumo de 61560 Litros.

En vista del alto dispendio de agua en un tiempo corto de servicio, se hace ineludible la implementación de un plan de producción más limpia para el ahorro del agua. Debidamente, se propone la implementación de boquillas ahorradoras para cada una de las 11 mangueras que favorezcan el lavado de corrales en un menor tiempo, así como la regulación y estipulación del tiempo verdaderamente necesario de lavado.

Por medio de tres muestreos de aforo de caudal, uno de 24 horas y dos de 12 horas realizados en el tubo de conducción de corrales hacia la PTAR (Anexo 10) y tomando en cuenta el inicio del lavado de corrales hasta su finalización en cada

caso, se obtuvo un caudal promedio de 2,5 L/s, el cual equivale a un consumo de 36000 Litros en un tiempo de 4 horas. En comparación con el consumo de agua para el lavado de una sola subsección (16062 Litros) se puede finalizar que diariamente, se realiza el lavado del 44% de la zona de corrales, así como el uso de agua para la limpieza física del ganado.

- **Estimación de puntos críticos de producción de estiércol.**

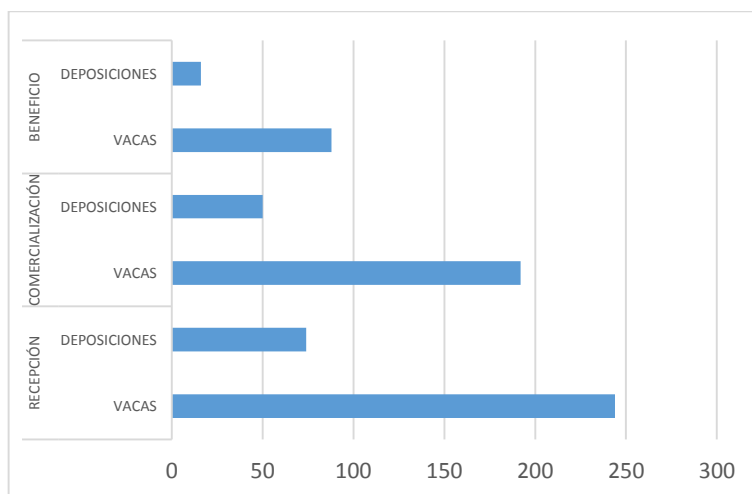
A partir de la información recogida de la estimación de la masa húmeda depositada en las subsecciones de corrales, se realizó la cuantificación del ganado presente en cada una de las subsecciones de recepción, comercialización y beneficio, con el propósito de considerar en cuál de las subsecciones se genera mayor producción de estiércol vacuno. En la tabla 22 se exhiben los datos recolectados de las deposiciones en cada una de las subsecciones de corrales.

Tabla 22. Estimación de los puntos críticos de producción de estiércol en las tres subsecciones de corrales.

| RECEPCIÓN | | COMERCIALIZACIÓN | | BENEFICIO | |
|-----------|--------------|------------------|--------------|-----------|--------------|
| VACAS | DEPOSICIONES | VACAS | DEPOSICIONES | VACAS | DEPOSICIONES |
| 244 | 74 | 192 | 50 | 88 | 16 |

Fuente: Autor.

Gráfica 11. Puntos críticos de producción de estiércol.



Fuente: Autor.

La mayor producción de estiércol se genera en la subsección de recepción.

- **Cálculo de la masa recogida en corrales.**

Por medio de la masa húmeda diaria (deyecciones fecales) generada en la sección de corrales, las concentraciones de sólidos totales y el consumo de agua, se calculó la masa de estiércol recogida en la limpieza en seco (sin presencia de agua para el lavado) y la masa en medio líquido, arrastrada durante la limpieza y lavado de corrales con agua potable.

$$\text{Masa seca} = \text{Volumen} * []$$

$$\text{Masa seca} = 16062 (L) * 4000 \left(\frac{mg}{L}\right)$$

$$\text{Masa seca} = 64.248Kg$$

$$\text{Masa húmeda} = \frac{64.248}{0.05}$$

$$\text{Masa húmeda} = 1284,96 Kg$$

$$\text{Masa recogida en corrales} = \text{Masa diaria en corrales} - \text{masa húmeda}$$

$$\text{Masa recogida en corrales} = 2995 - 1284,96$$

$$\text{Masa recogida en corrales} = 1710 Kg = 57\%$$

En la sección de corrales se realiza limpieza en seco por parte del personal encargado de la planta. La limpieza en seco consiste en el barrido y arrastre de deyecciones del ganado con utensilios adecuados para su respectiva recolección sin hacer uso del agua potable. El porcentaje de masa recogida en seco en la sección de corrales es del 57%, no obstante dicha recolección no alcanza a cubrir la limpieza total en las tres subsecciones de corrales.

Al evaluar la movilidad del estiércol en medio seco y acuoso, se obtuvieron concentraciones de sólidos totales finales que oscilan entre 2996 mg/L y 7430 mg/L. Para cumplir la nueva normatividad de vertimientos (Resolución 0631 / Marzo 17 de 2015), la cual establece parámetros máximos de vertimiento para la actividad ganadera de beneficio de bovinos en sólidos totales no superiores a 200 mg/L, se debe tener remociones superiores al 93%.

Es necesario implementar un programa de producción más limpia para el ahorro de agua en la zona de corrales, incluyendo el cambio de boquillas y el establecimiento de un tiempo de lavado. Como se evidencio que el lavado afecta directamente el aumento de caudales de agua residual que llega a la PTAR.

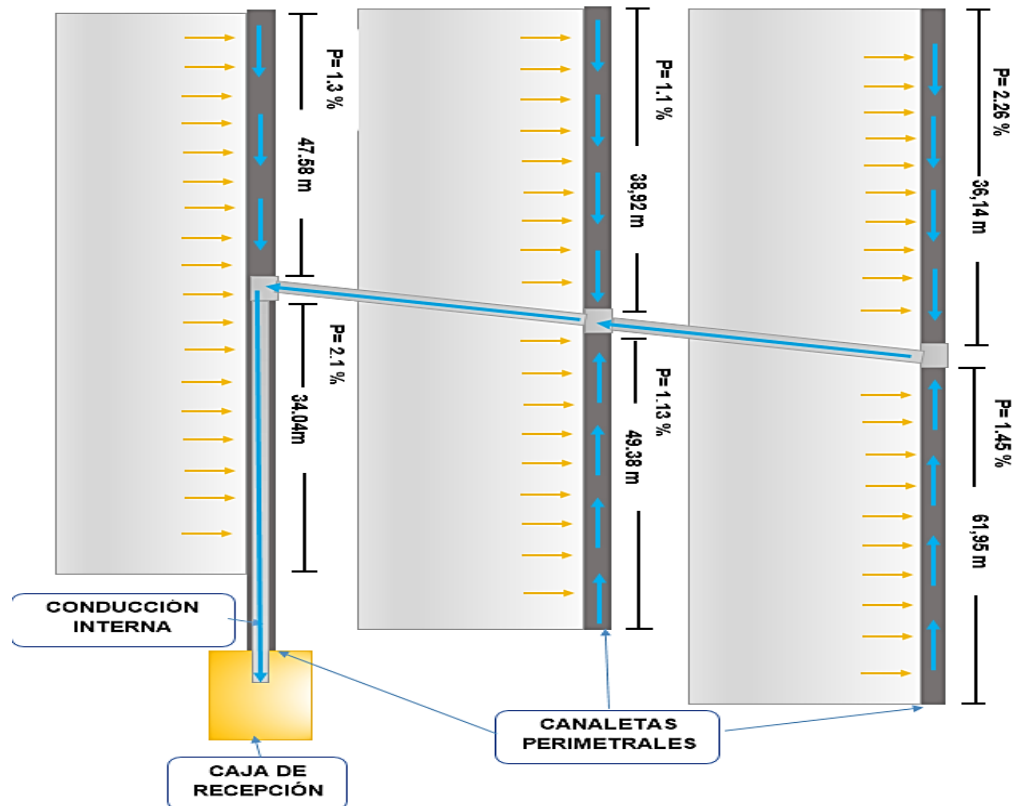
La limpieza y recolección en seco (sin uso de agua potable) debe ser optimizada, con el fin de alcanzar porcentajes mayores al actual (57%), permitiendo mitigar la contaminación desde su generación que contribuirían a disminuir las concentraciones de sólidos en el agua.

5.2. ETAPA 2: MANEJO DE LAS PRECIPITACIONES DE AGUA LLUVIA MEDIANTE EL SOFTWARE STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)

5.2.1. Levantamiento de planos.

Se realizó el levantamiento de planos a partir de la información actual de las estructuras hidráulicas presentes en el sistema perimetral de canaletas de recolección en la zona de corrales. Así mismo, se extrajo información pertinente para la modelación de los planos de la planta física del frigorífico (Anexo 11).

Ilustración 3. Sistema perimetral de canaletas de la sección de corrales.



Fuente: Autor.

La sección de corrales, cuenta con tres canaletas de recolección que se encuentran conectadas por un tubo colector de 12”, atravesando las tres subsecciones y conduciendo las aguas residuales hacia la caja de recepción principal. El escurrimiento de los corrales es opuesto a la pendiente del terreno, adicionalmente la dirección del flujo en las canaletas de las subsecciones de recepción y comercialización se encuentran entre sí de manera opuesta, descargando en su correspondiente nudo o caja receptora. En la canaleta de beneficio, la dirección del flujo es directa hacia la caja de recepción principal, tanto del tubo de conducción interno como la terminación de la canaleta perimetral.

5.2.2. Estudio de precipitaciones.

Se recolectó la información mensual y anual de las precipitaciones registradas por la estación hidrométrica PTAR debido a que es la más cercana a la zona de intervención.

Tabla 23. Precipitación promedio estación PTAR. *SD: Sin Dato.

| AÑO | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2011 | 2012 | PROMEDIO MENSUAL | DIAS |
|------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------------------|------|
| MES | | | | | | | | | | |
| ENERO | - | 50,4 | 45,4 | 73,4 | 201,5 | 55,5 | 39,5 | 277 | 106,1 | 10 |
| FEBRERO | 86,1 | 169,6 | 120,6 | 300,2 | 66,5 | 141,5 | 101,5 | 270 | 157 | 14 |
| MARZO | 57,2 | 125 | 172 | 41,2 | 150,5 | 237,5 | 324,5 | 196 | 163 | 14 |
| ABRIL | 81,8 | 1179,8 | 14 | 141,6 | 11 | 209,5 | 435 | SD | 296,1 | 17 |
| MAYO | 211,2 | 66,4 | 86,4 | 115 | 163 | 242,5 | 365 | SD | 178,6 | 18 |
| JUNIO | 79,8 | 89,8 | 36,6 | 57,8 | 71 | 174 | 333 | SD | 120,3 | 20 |
| JULIO | 94,8 | 139,6 | 104,8 | 22,6 | 146,5 | 159,5 | 191 | SD | 122,7 | 24 |
| AGOSTO | 61 | 94 | 69,8 | 55,4 | 166,5 | 185 | 256,5 | SD | 126,9 | 20 |
| SEPTIEMBRE | 49,6 | 189,2 | 81,8 | 102,6 | 194 | 212,5 | 205 | SD | 147,8 | 19 |
| OCTUBRE | 57,8 | 179,2 | 106,6 | SD | 294 | 212 | 727 | SD | 225,2 | 18 |
| NOVIEMBRE | 101,8 | 147,6 | 159,6 | SD | 133 | SD | 86,5 | SD | 104,8 | 14 |
| DICIEMBRE | 17,4 | 50 | 76,8 | 77,5 | 14 | SD | 1 | SD | 39,5 | 11 |

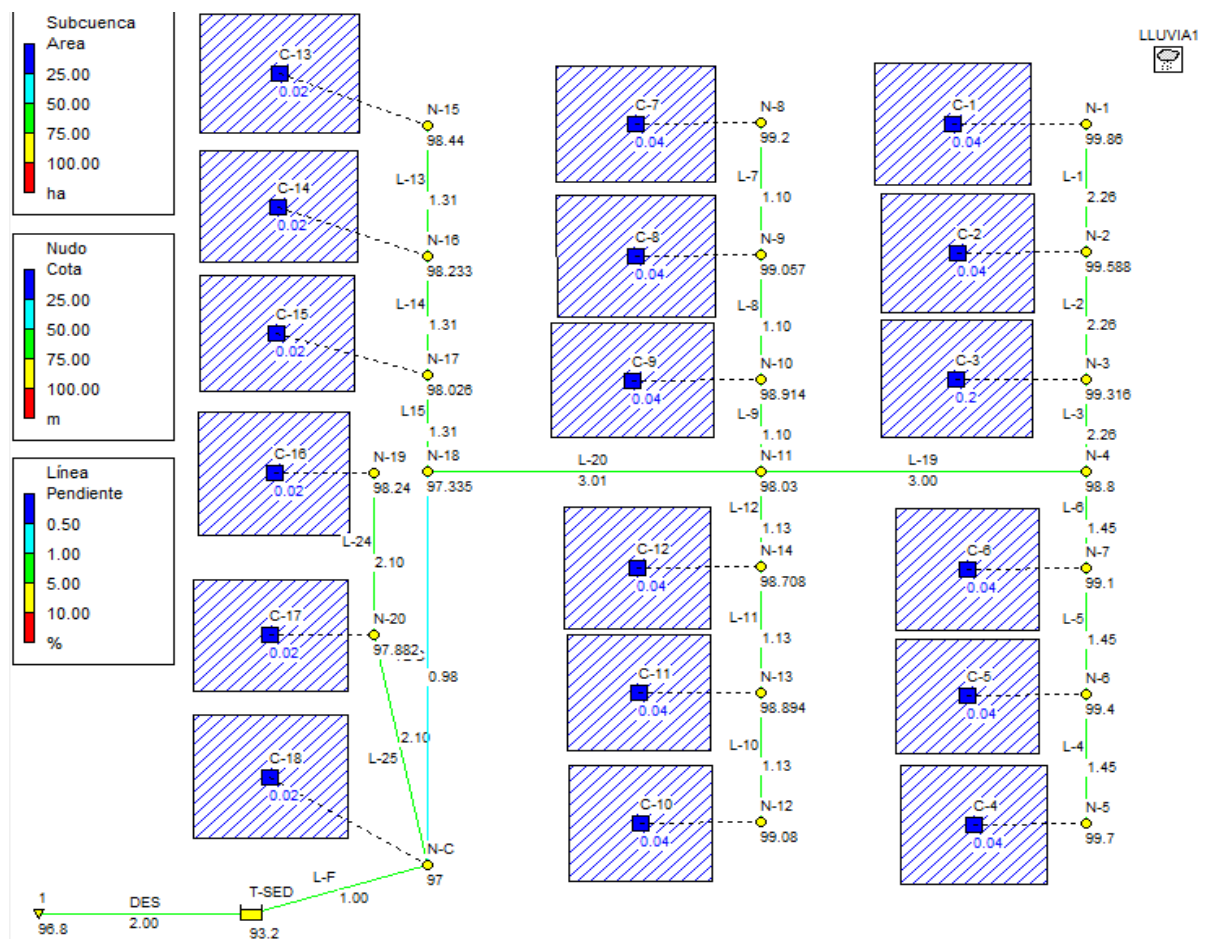
Fuente: Extraído de Manejo integral del recurso hídrico para el aprovechamiento en riego de Zona Franca Santander.

A partir de la información promedio de la estación PTAR, se escogió el valor mayoritario de precipitación (296,1 mm/mes) y se dividió en los días con eventos de lluvia, con ello se obtuvo un valor de 17,14 mm/día para utilizarlo en la simulación del escenario con lluvia intensa en un corto tiempo. Igualmente, se escogió un valor minoritario de precipitación (122,7 mm/mes) y se obtuvo un valor de 5,11 mm/día para utilizarlo en el escenario con baja lluvia en largo tiempo.

5.2.3. Montaje de la información en el programa EPA SWMM 5.1.

Con base en la información recolectada se realizó el montaje y diseño de la sección de corrales de la planta de beneficio animal en el programa EPA SWMM 5.1.

Ilustración 4. Montaje y diseño de la sección de corrales de la planta de beneficio animal en el programa EPA SWMM 5.1.

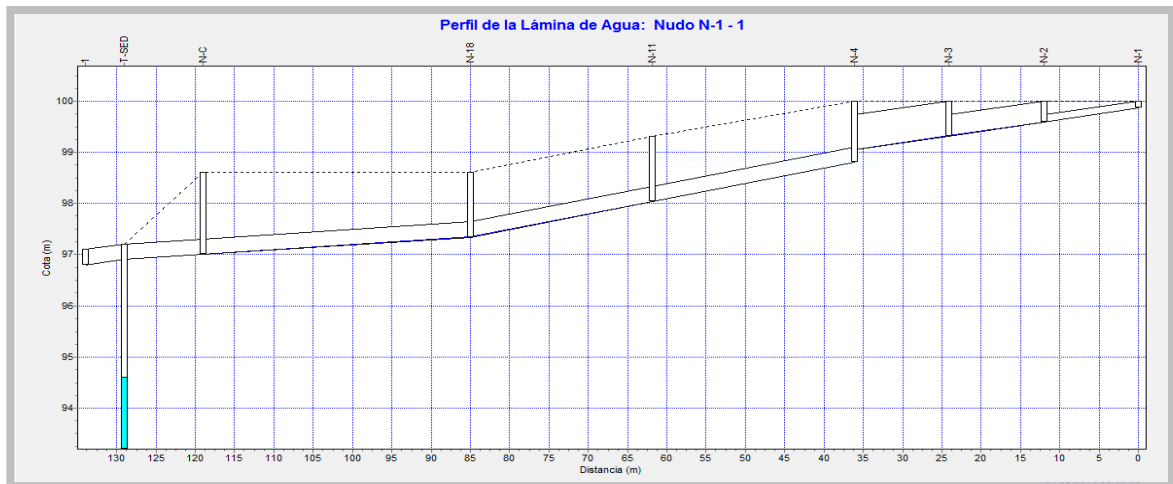


Fuente: Autor.

5.2.4. Montaje de escenario con estructuras de control y tratamiento en el programa EPA SWMM 5.1.

Se realizó el montaje de las estructuras hidráulicas pertenecientes a las canaletas perimetrales de recolección de agua lluvia de la sección de corrales como se muestra en la ilustración 5. Además se adicionaron 3 nodos o cajas que seccionaron cada una de las canaletas a fin de simular más puntos de escorrentía, favoreciendo la aproximación al escenario real. (Anexo 12).

Ilustración 5. Perfil del sistema de modelación de las canaletas de la sección de corrales.



Fuente: Autor.

Con base en los escenarios de precipitación y el montaje de las estructuras hidráulicas, se calcularon los caudales que fluyen en cada una de las canaletas perimetrales, identificando las líneas críticas de conducción (Anexo 13). Los principales puntos de mayor flujo de caudal, se evidenciaron en las líneas TDC (18,9 L/s) y L-F (7,88 L/s) en condiciones de lluvia intensa. A partir del caudal proveniente de la línea TDC se realizó el diseño de la respectiva alternativa de tratamiento.

5.3. ETAPA 3: VERIFICACIÓN DE LA DINÁMICA DE DILUCIÓN DE SÓLIDOS PRODUCIDA EN CORRALES EN DIFERENTES EVENTOS DE LLUVIA

5.3.1. Estudio de la dilución en corrales mediante simulación teórica.

Mediante el software EPA SWIMM se realizó la simulación teórica en cuatro escenarios como se muestra a continuación:

- **ESCENARIO 1: limpio con lluvia intensa.**

Se realizó la simulación con una concentración de sólidos totales de 3000 mg/L debido a que al finalizar el lavado y limpieza de corrales se obtuvo una concentración de este valor. Así mismo, se simuló con una lluvia diaria de 17,14 mm siendo esta una precipitación de carácter alto, puesto que el comportamiento de las precipitaciones en el área metropolitana de Bucaramanga es baja, entre 1000 y 1300 mm anuales⁴⁵.

- **Cálculo del coeficiente de decaimiento.**

El comportamiento de la dilución del estiércol durante los eventos de precipitación se simuló mediante el cálculo del coeficiente de decaimiento. La concentración de sólidos totales utilizada fue de 3000 mg/L en un tiempo de lluvia de 6 horas para el escenario limpio con lluvia intensa. El cálculo se realizó como se muestra a continuación:

$$C = C_0 * e^{-kt}$$

$$1000 = 3000 * e^{-k0,25}$$

$$1000/3000 = e^{-k0,25}$$

$$K = \ln(0,33)/0,25$$

$$k = 4,39$$

C= Concentración (mg/L).

Co= Concentración inicial (mg/L).

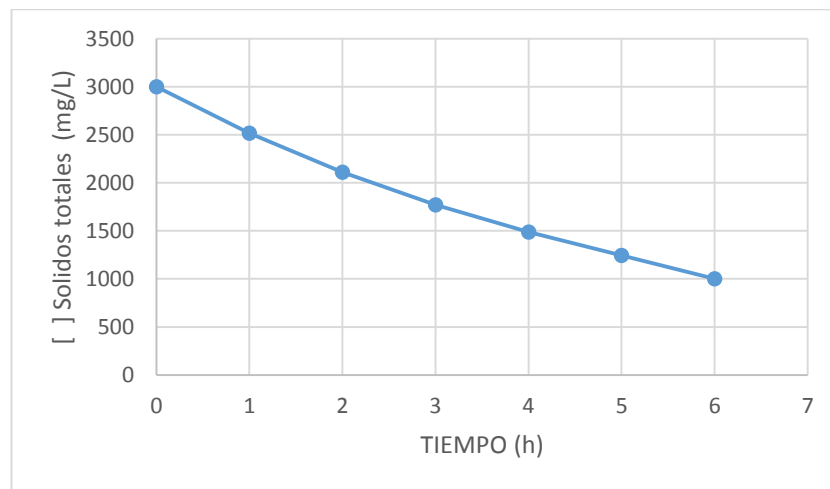
K= Coeficiente de decaimiento.

t= Tiempo (d).

⁴⁵ BENAVIDES, Henry. y AYALA, Leonardo.2010.

En la simulación del escenario limpio con lluvia intensa, se obtuvo un arrastre de 69,3 Kg en la sección de corrales (Anexo 14). Después de una noche de lluvia intensa, la concentración inicial de sólidos totales en la jornada de la mañana es igualmente representativa a la concentración de sólidos totales final obtenida después del lavado de corrales (3000 mg/L). La gráfica 13 muestra el comportamiento de dilución de la concentración de sólidos totales en el escenario de lluvia intensa.

Gráfica 12. [] Sólidos totales teórica después de lavado de corrales vs Tiempo de lluvia intensa.



Fuente: Autor.

- **ESCENARIO 2: Limpio con baja lluvia.**

En el escenario limpio con baja lluvia (concentración de 3000 mg/L de sólidos totales y precipitación de 5,11 mm diarios) se obtuvo un arrastre de 4,5 Kg en la sección de corrales (Anexo 15).

- **ESCENARIO 3: Sucio con lluvia intensa.**

Se realizó la simulación con una concentración de sólidos totales de 33100 mg/L obtenida al inicio del lavado y limpieza de corrales. Igualmente, se simuló con una lluvia diaria de 17,14 mm siendo esta una precipitación de carácter alto.

▪ **Cálculo del coeficiente de decaimiento.**

Nuevamente se realizó el cálculo del coeficiente de decaimiento para el escenario sucio con lluvia intensa, con concentración de sólidos totales de 33100 mg/L en un tiempo de 6 horas.

$$C = C_0 * e^{-kt}$$

$$1000 = 33100 * e^{-k0,25}$$

$$1000/33100 = e^{-k0,25}$$

$$K = \ln(0,03)/0,25$$

$$k = 14$$

C= Concentración (mg/L).

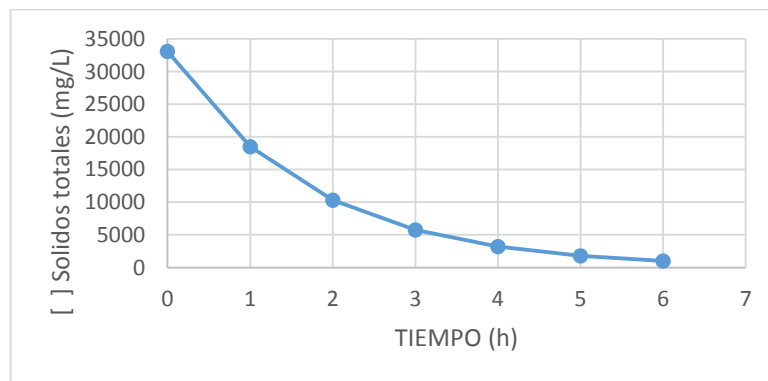
Co= Concentración inicial (mg/L).

K= Coeficiente de decaimiento.

t= Tiempo (d).

En el escenario Sucio con lluvia intensa se obtuvo un arrastre de 742,5 Kg de estiércol (Anexo 16). En la gráfica 14 se exhibe el decaimiento de la concentración de sólidos totales frente al escenario con lluvia intensa.

Gráfica 13. [] Sólidos totales teórica con corrales sucios vs Tiempo de lluvia intensa.



Fuente: Autor.

Teóricamente, la dilución de las concentraciones del estiércol de bovino al final de un evento de lluvia intensa (17,14 mm/d) en los escenarios limpio después de lavado

de corrales (3000 mg/L) y corrales sucios (33100 mg/L) es de 1000 mg/L. A pesar de la buena dilución que se da en un evento de lluvia intensa, la concentración no alcanza a ser menor de 1000 mg/L de sólidos totales, lo cual demuestra la necesidad de tratar el agua proveniente de la sección de corrales, a fin de disminuir las concentraciones de sólidos totales a valores menores a 200 mg/L siendo este, el valor permitido por la nueva norma.

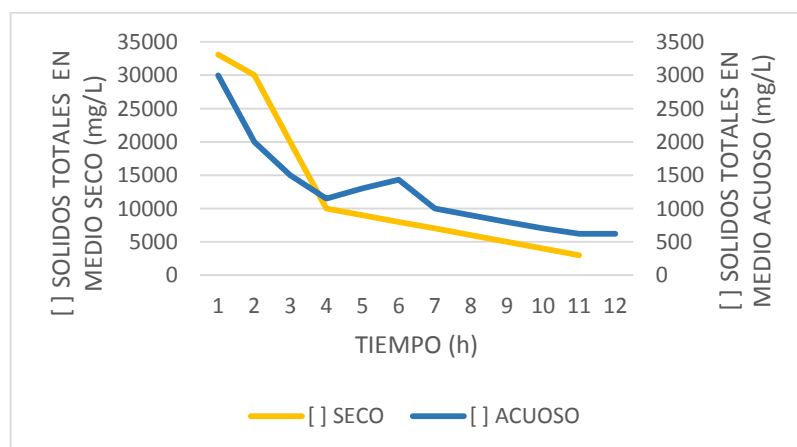
- **ESCENARIO 4: Sucio con baja lluvia.**

En el escenario sucio con baja lluvia (concentración de 33100 mg/L de sólidos totales y precipitación de 5,11 mm diarios) se obtuvo un arrastre de 48,6 Kg en la sección de corrales (Anexo 17).

5.3.2. Estudio de la dilución de estiércol y orina en campo en los corrales.

Para realizar el estudio de la dilución de estiércol en campo, se llevó a cabo la toma de muestras desde el inicio hasta el final del lavado de corrales y durante un evento de lluvia intensa que inició después del lavado de los mismos. En la Gráfica 16 se muestra el decaimiento de las concentraciones de sólidos totales en medio seco (durante lavado de corrales) y en medio acuoso (evento de precipitación con lluvia intensa). En medio seco, se inició con una concentración de 33100mg/L y finalizó con 3000 mg/L. Debido a que el evento de lluvia intensa se presentó después del lavado de corrales, la concentración inicial en medio acuoso es de 3000 mg/L y la final obtenida fue de 620 mg/L.

Gráfica 14. [] SST en medio seco y acuoso en la sección de corrales vs tiempo.



Fuente 15: Autor.

Con base en la masa seca (64,24 Kg) calculada durante la limpieza y lavado de corrales y del cálculo de masa arrastrada (69,3 Kg) en la simulación del escenario limpio con lluvia intensa, se identificó de manera experimental y teórica, que a concentraciones de sólidos totales de 3000 mg/L hay una escorrentía superficial que oscila entre 64 y 69 Kg.

La simulación en el programa EPA SWIMM permitió analizar el comportamiento del contaminante (estiércol) en diferentes escenarios (limpio con lluvia intensa, limpio con baja lluvia, sucio con lluvia intensa y sucio con baja lluvia) arrojando los valores de la escorrentía superficial que se pueden presentar (69,3 Kg, 4,5 Kg, 742,5 Kg y 48,6 Kg).

El estudio de la movilidad del estiércol y de la simulación del mismo en programas como EPA SWIMM, no se ha realizado hasta el momento. A partir del presente estudio se demostró la importancia de hacer uso de herramientas sistemáticas que favorezcan la comparación con los resultados en campo, y con ello, permitir el desarrollo de alternativas preventivas. Al verificar la dinámica de dilución del estiércol en eventos de precipitación, se corroboró la necesidad de implementar una alternativa de tratamiento, debido a que la escorrentía generada por el agua lluvia no alcanza a diluir las concentraciones de sólidos totales hasta 200 mg/L, valor exigido por la norma vigente.

5.4. PROPUESTA DE ALTERNATIVA A PARTIR DE LOS TEMPOS DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPOS DE DILUCIÓN

Con base en el estudio realizado en los diferentes escenarios de precipitaciones con arrastre de deyecciones ganaderas y su respectiva dilución en eventos de lluvia, se llevó a cabo la propuesta de tres alternativas para la mitigación y prevención de la contaminación del recurso hídrico en la zona de corrales en la planta de beneficio animal. A continuación se darán a conocer los diseños pertenecientes a cada una de las alternativas planeadas.

5.4.1. Alternativa 1: Sedimentador primario.

La separación sólido-líquido favorece el tratamiento independiente de los nuevos subproductos (lodo de estiércol y líquido con alta carga de nutrientes). Igualmente, les otorga potencial como “materia prima” para el uso en compostaje en el caso de la fase sólida o para riego de cultivos en el caso de la fase líquida (Ilustraciones 6, 7,8 y 9).

- **Cálculo de la estructura de aforo en la entrada al sistema.**

Se propone utilizar vertederos triangulares de entrada al sistema para la toma de aforo, así mismo, estos deberán ser calibrados de manera in situ. La estimación teórica de la carga sobre el vertedero se realizará a partir de la ecuación de Gourley y Crimp de la siguiente forma:

$$Q = 1,32 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{2,48}$$

Q= Caudal de diseño (m³/s).

θ= Ángulo del vertedero (grados).

h=lámina de agua o carga sobre el vertedero (m).

Partiendo del caudal de diseño estimado, se optó por utilizar un vertedero de 45°. Despejando de la ecuación anterior la variable h y reemplazando los valores de caudal y ángulo del vertedero, se obtiene:

$$h = \left(\frac{0,019}{1,32 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right)^{0,4032}$$

$$h = 0,18 \text{ m}$$

- **Diseño del sedimentador primario en eventos de precipitación.**

Se propone el diseño de un sedimentador primario circular y rectangular, enterrado o semi-enterrado, para efectuar la separación física de los sólidos sedimentables del total de las aguas residuales provenientes de la sección de corrales en eventos de lluvia intensa. Para mejorar la calidad del vertimiento es necesario contar con un tratamiento secundario con floculador de manto de lodos. Igualmente, se recomienda mantener sellado el sistema para evitar el escape de olores.

- **Dimensionamiento.**

Para el dimensionamiento del sedimentador primario se determinaron los siguientes aspectos: 1) volumen total y 2) medidas internas.

1. Volumen Total

Volumen útil de sedimentación (V_u).

El tiempo de retención hidráulico asumido para el cálculo del volumen útil en un evento de lluvia extremo fue de 2 horas, partiendo de las recomendaciones de la literatura. Sin embargo el agua residual a tratar tiene un alto contenido de material orgánico rápidamente sedimentable que favorece la disminución de los tiempos de retención hidráulicos hasta de 1 hora con capacidad doble de tratamiento en eventos de precipitación no extrema, siendo el tiempo necesario para precipitar un alto porcentaje del contenido de estiércol durante el lavado y limpieza de corrales. Para el cálculo del volumen útil se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$V_u = Q * TRH$$

Q = Caudal (m^3/s).

TRH = tiempo de retención hidráulico (s).

$$V_u = 136,8 m^3$$

Volumen de almacenamiento de lodos (V_L).

El volumen de almacenamiento de lodos se calculó a partir de una producción media de estiércol de 3000Kg por día, asumiendo la no ejecución de limpieza en la sección de corrales y con una capacidad de almacenamiento de lodos de 5 días. Para la producción de lodos (V_L) generada en cinco días (tiempo estimado para purga) se emplea la siguiente expresión:

$$V_l = T_p * \delta * M_l$$

M_L =Masa de lodo producida por día (Kg / d).

d =Densidad (se asume $1000Kg/m^3$ por el alto contenido de humedad).

T_p =Tiempo para purga.

$$V_l = 15 m^3$$

Volumen total (V_T).

Corresponde a la suma del volumen útil de sedimentación y del volumen de almacenamiento de lodos.

$$VT = 151,8 \text{ m}^3$$

2. Medidas Internas

Las medidas internas mínimas se establecieron de acuerdo a las recomendaciones de la literatura.

Área superficial (A_s).

El área superficial del tanque séptico se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$A_s = \frac{Q}{SOR}$$

Q=Caudal (m^3 / d).

SOR=Carga superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$) (se asume $20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, según McGhee).

$$A_s = 82,08 \text{ m}^2$$

Profundidad útil (h).

El valor se asume de acuerdo al volumen total calculado y el área superficial.

$$h = 1,85 \text{ m (Se asume } 1,9 \text{ m)}$$

▪ **Sedimentador rectangular.**

Ancho (b) y Largo (L): El cálculo del ancho y largo del sedimentador se calculó teniendo en cuenta que la relación largo ancho es de 4.0 ($L=4b$).

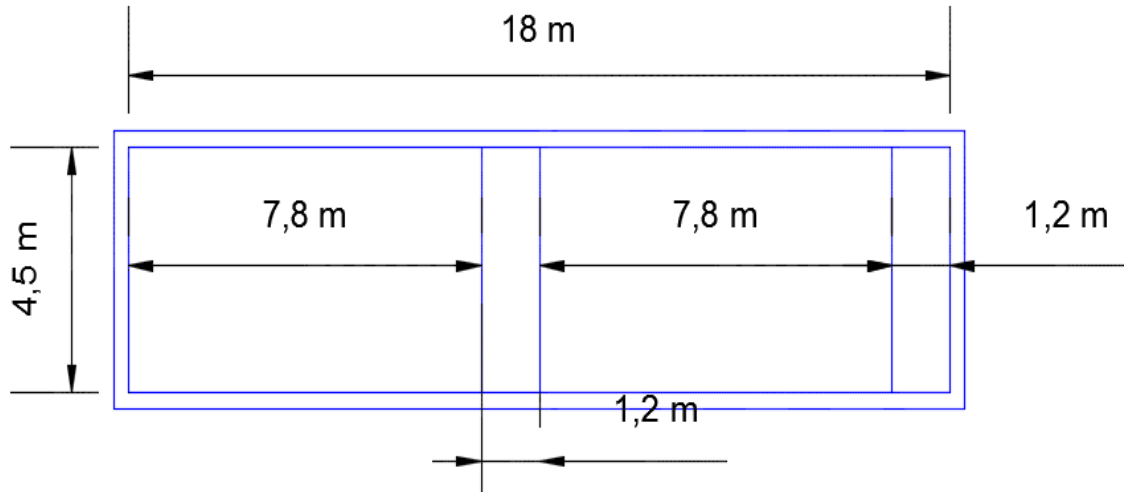
$$A_s = 4b * b$$

$$b = \sqrt{\frac{A_s}{4}} \quad b = 4,5 \text{ m}$$

$$L = 4 * 4,5$$

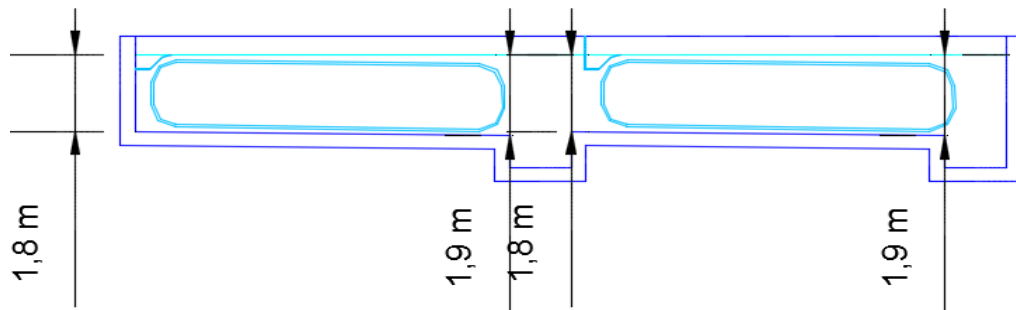
$$L = 18 \text{ m}$$

Ilustración 6. Alternativa 1: Diseño del sedimentador primario rectangular. Vista en planta.



Fuente: Autor.

Ilustración 7. Alternativa 1: Diseño del sedimentador primario rectangular. Vista en perfil.



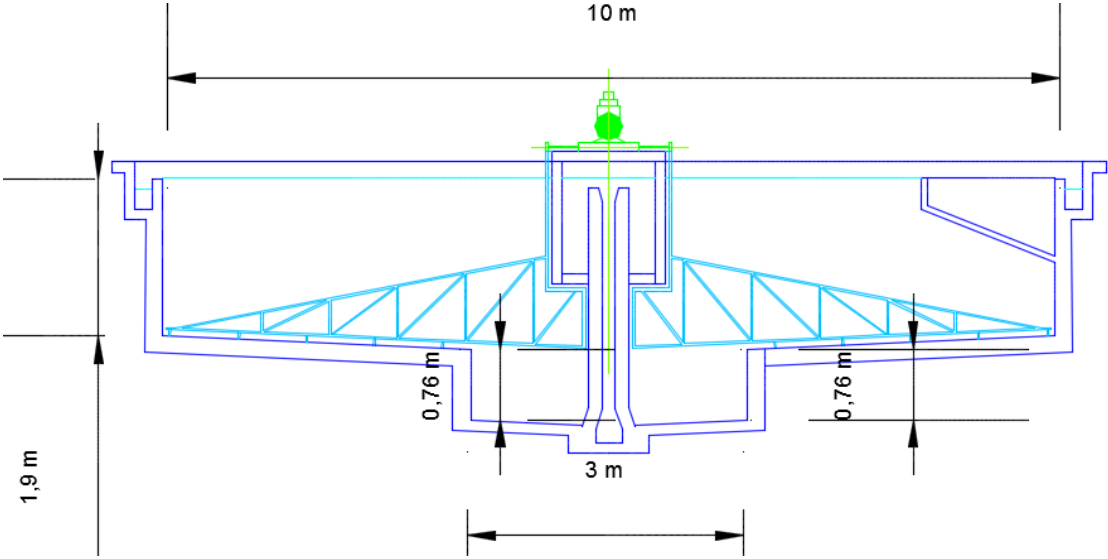
Fuente: Autor.

▪ **Sedimentador circular.**

Diámetro (d).

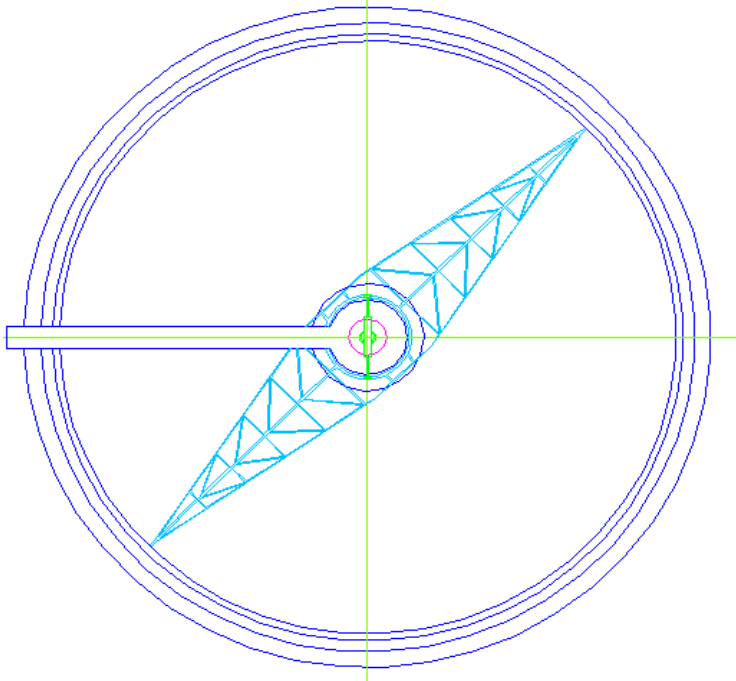
$$A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad d = 10,22 = 10 \text{ m}$$

Ilustración 8. Alternativa 1: Diseño del sedimentador primario circular. Vista en perfil.



Fuente: Autor.

Ilustración 9. Alternativa 1: Diseño del sedimentador primario circular. Vista en planta.



Fuente: Autor.

Basándose en el estudio previamente realizado, se quiso dar un estimativo del valor monetario que conlleva la implementación de un sedimentador primario como alternativa preventiva. En la tabla 24 y 25 se muestran los presupuestos de los dos diseños de sedimentador.

Tabla 24. Presupuesto del sedimentador primario rectangular.

| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|-----------------|-----------------------------------|----------------|---------------|
| 1 | Obra civil | \$152.000.000 | \$152.000.000 |
| 1 | Sistema de arrastre de sólidos. | \$255.000.000 | \$255.000.000 |
| 1 | Sistema de extracción de sólidos. | \$30.000.000 | \$30.000.000 |
| 1 | Sistema hidráulico. | \$25.000.000 | \$25.000.000 |
| SUBTOTAL | | | \$462.000.000 |
| IVA | | | \$73.920.000 |
| TOTAL | | | \$535.920.000 |

Fuente: Autor.

Tabla 25. Presupuesto del sedimentador primario rectangular.

| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|-----------------|--|----------------|---------------|
| 1 | Obra civil | \$226.000.000 | \$226.000.000 |
| 1 | Sistema de arrastre de sólidos mecánico. | \$180.000.000 | \$180.000.000 |
| 1 | Motores y otros. | \$60.000.000 | \$60.000.000 |
| SUBTOTAL | | | \$466.000.000 |
| IVA | | | \$74.560.000 |
| TOTAL | | | \$540.560.000 |

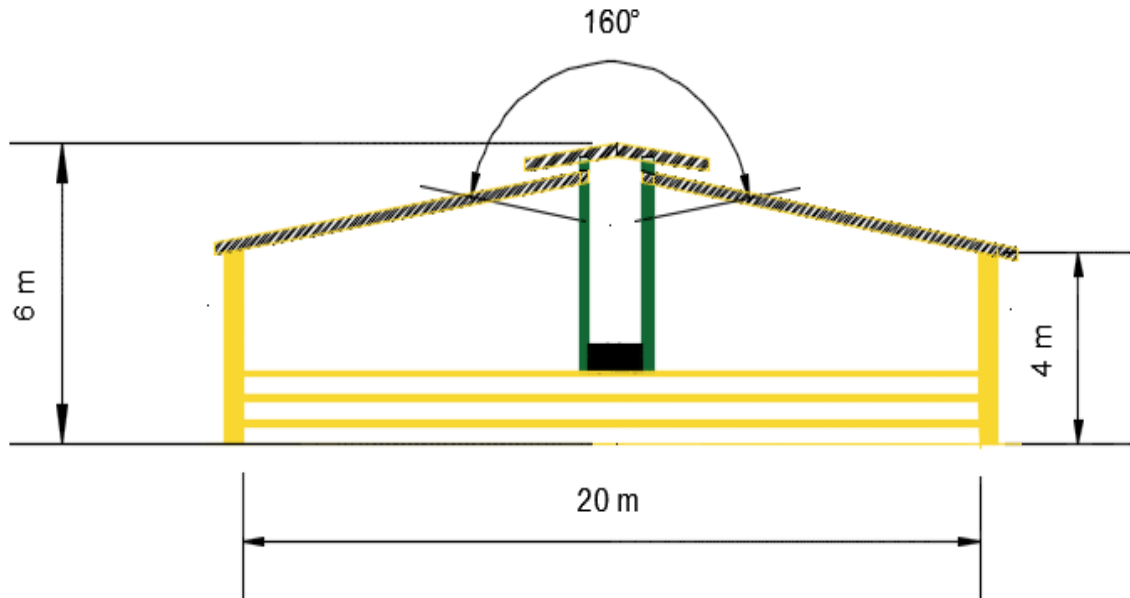
Fuente: Autor.

5.4.2. Alternativa 2: Techos

La implementación de techos en la zona de corrales es una alternativa preventiva contra el arrastre de deyecciones de ganado por escorrentía, evitando la contaminación hídrica en eventos de precipitación. Partiendo de la literatura, se realizó el diseño de los techos para cada una de las subsecciones de corrales teniendo en cuenta la estructura y el diseño físico actual de la planta.

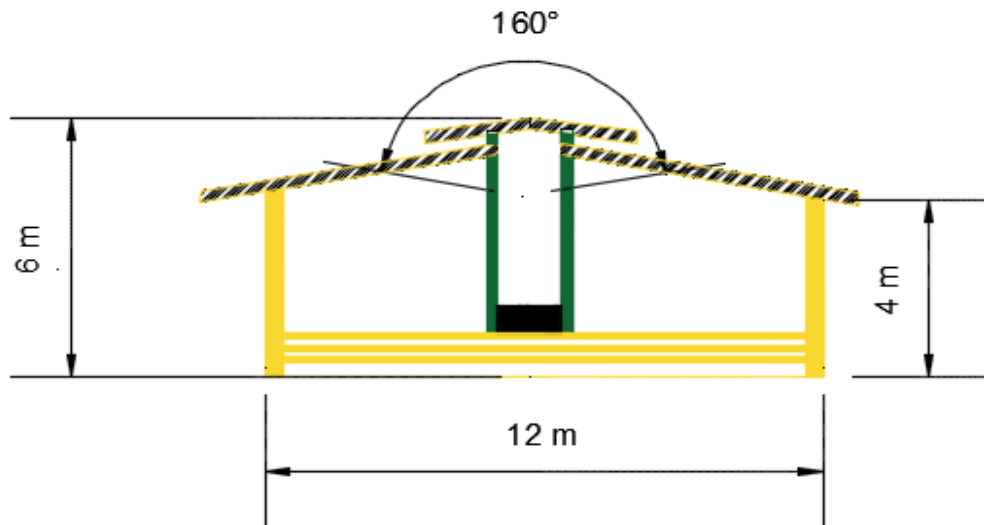
Cada subsección tiene un pasillo peatonal ubicado sobre los corrales, a una distancia de 2 metros desde el piso. Con base en esto, la altura total de los techos desde el piso es de 6 m y desde el pasillo peatonal es de 3,5 m acotando el rango de altura típico de 3 a 4,5 m para el diseño de techos que permitan la correcta circulación y ventilación del aire, así como la distribución uniforme de luz dentro de los corrales para evitar el hacinamiento de ganado en determinadas partes del corral. Para la adecuada circulación del aire, se diseñó un sobre techo que favorece la salida del aire evitando su acumulación en el interior del mismo, permitiendo el paso del aire hacia los otros corrales. Igualmente, se diseñaron unas canaletas recolectoras y de conducción de agua lluvia en los laterales de los techos que van dirigidas hacia el sistema perimetral de canaletas de recolección de la sección de corrales (Ilustración 10).

Ilustración 10. Alternativa 2: Diseño de techos. Vista frontal de las subsecciones de recepción y comercialización.



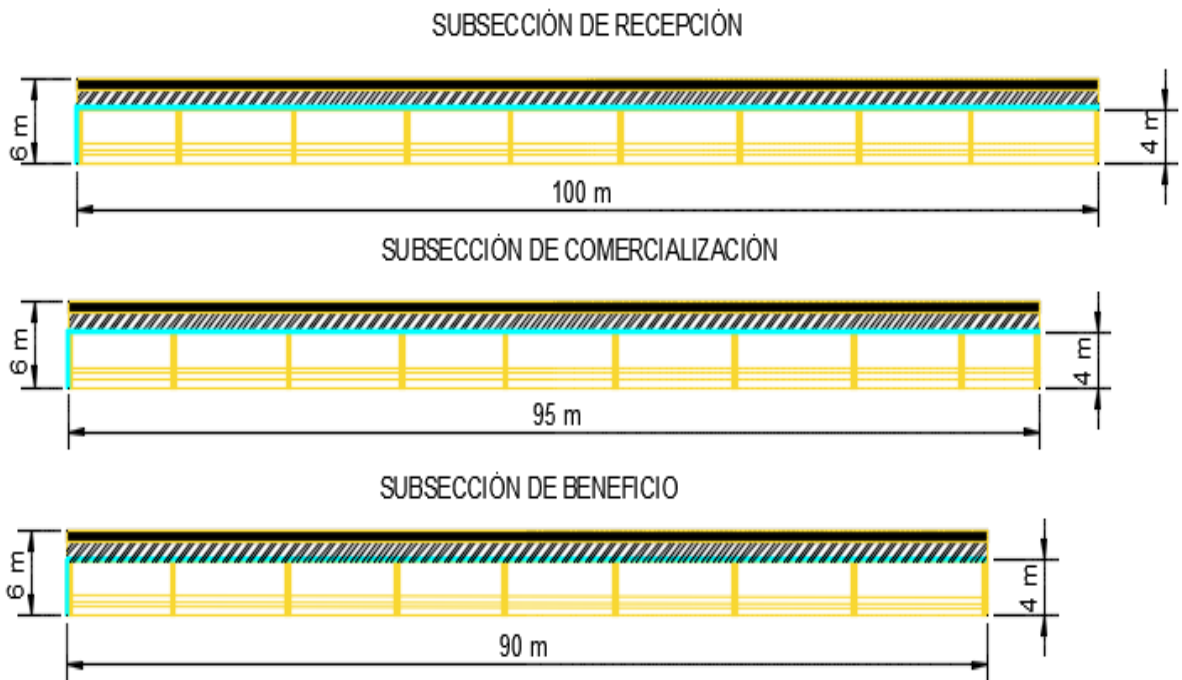
Fuente: Autor.

Ilustración 11. Alternativa 2: Diseño de techos. Vista frontal de la subsección de beneficio.



Fuente: Autor.

Ilustración 12. Alternativa 2: Diseño de techos. Vista lateral de las tres subsecciones de corrales.



Fuente: Autor.

Se realizó el presupuesto del diseño de los techos en la zona de corrales como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Presupuesto del diseño de los techos sin inclusión de montaje y extractores de gases.

| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|-----------------|----------------------------------|----------------|----------------------|
| 5080 | Techo cercha (m2) | \$65.000 | \$330.200.000 |
| 387 | Columnas (ML) | \$35.000 | \$13.545.000 |
| 590 | Canaletas para aguas lluvia (ML) | \$10.000 | \$5.900.000 |
| 48 | Bajantes | \$12.000 | \$576.000 |
| SUBTOTAL | | | \$350.221.000 |
| IVA | | | \$56.035.360 |
| TOTAL | | | \$406.256.000 |

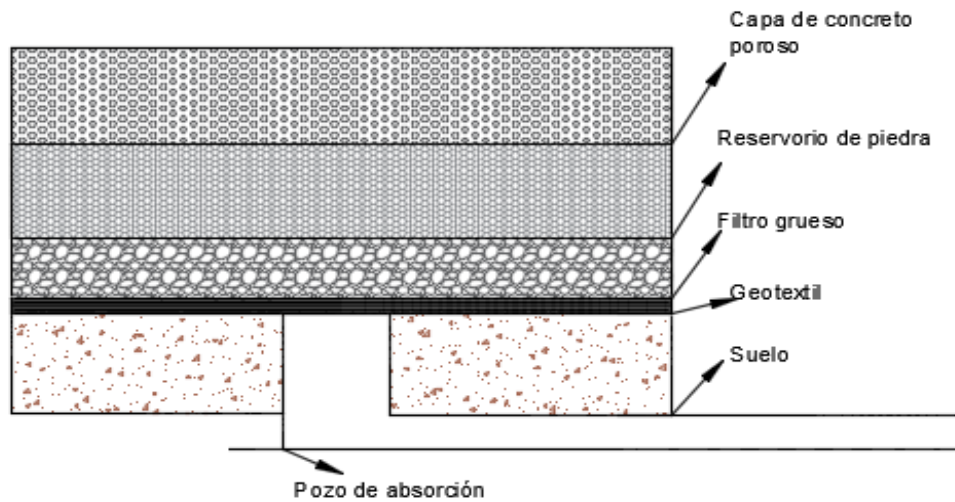
Fuente: Autor.

5.4.3. Alternativa 3: Uso de concreto permeable y cepillos raspadores.

El uso de concreto permeable reduce la escorrentía superficial y contribuye con la depuración del agua lluvia. La implementación de este tipo de concreto en la sección de corrales permitiría la recolección del agua lluvia y orín del ganado conducido hacia la PTAR del frigorífico para su tratamiento. Para el diseño de la estructura del concreto permeable se debe tener en cuenta el tipo de tráfico, en el caso del ganado se considera como tráfico pesado, respecto a esto se pueden diseñar pavimentos de concreto permeable utilizando un procedimiento de pavimento estándar o utilizando números estructurales derivados de un procedimiento flexible de diseño de pavimento.

Sin reparar en el procedimiento utilizado, se deben tomar en consideración las pautas para las propiedades del subsuelo, las características de los materiales del concreto permeable y las cargas de tráfico. Se sugiere que el módulo para la reacción de subsuelo, k , del suelo de soporte no debería exceder 54 MPa/m y con frecuencia los valores de 40 a 48 MPa se usan para propósitos de diseño³⁰.

Ilustración 13. Alternativa 3: Uso de concreto permeable en la sección de corrales.



Fuente: Autor.

Para evitar obstrucciones de estiércol en la porosidad del concreto permeable se debe optimizar la recolección en seco, implementando el uso de cepillos raspadores con el fin de recolectar de manera manual más del 57% siendo este el porcentaje actual, y poder lograr una meta correspondiente al 80% en la recolección y evitar el encostramiento del estiércol.

Ilustración 14. Alternativa 3: Prototipo de cepillo raspador de estiércol con cerdas metálicas.



Fuente: Extraído de <http://www.solutionsjunin.com.ar>

Para poder seleccionar la mejor alternativa que satisfaga las necesidades actuales del frigorífico se realizó un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de las alternativas plasmado en la tabla 25.

Tabla 27. Ventajas y desventajas de las tres alternativas.

| TECNOLOGIA | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--|---|--|
| Sedimentador primario rectangular | <ul style="list-style-type: none"> ▪ El frigorífico cuenta con un área disponible en la planta baja de la PTAR que satisface el espacio necesario para el diseño propuesto (terreno de 20X5 m). ▪ La limpieza se realizará de forma mecánica mediante un recolector con barrido de sólidos y sedimentos, adicionalmente se llevará a cabo cada cinco días. ▪ La separación líquido-sólido proporciona dos tipos de materia prima, el primero puede utilizarse como fertilizante y el segundo para el proceso de compostaje. ▪ Se realizará mantenimiento cada vez que sea necesario. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ No tiene. ▪ Alta producción de lodo. ▪ No tiene. ▪ No tiene. |
| Sedimentador primario circular | <ul style="list-style-type: none"> ▪ El frigorífico cuenta con un área disponible en la planta baja de la PTAR que satisface el espacio necesario para el diseño propuesto (terreno de 10X10 m). ▪ La limpieza se realizará de forma mecánica mediante un recolector con barrido de sólidos y sedimentos, adicionalmente se llevará a cabo cada cinco días. ▪ La separación líquido-sólido proporciona dos tipos de materia prima, el primero puede utilizarse como fertilizante y el segundo para el proceso de compostaje. ▪ Se realizará mantenimiento cada vez que sea necesario. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ No tiene. ▪ Alta producción de lodo. ▪ No tiene. ▪ Depende de la capacidad de almacenamiento. |

| | | |
|--|---|--|
| <p>Techos</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ El área que abarca el uso de techos es proporcional al área existente de toda la zona de corrales, por ello no será necesario realizar la intervención de otra sección del frigorífico. ▪ No necesita realizarles limpieza. ▪ No proporcionan un producto sino un servicio. ▪ Se realizará mantenimiento cuando sea necesario. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ No tiene. ▪ Alto costo en materia prima y montaje. ▪ No tiene. ▪ No tiene. ▪ No tiene. |
| <p>Concreto permeable y cepillos raspadores</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ El área a utilizar será la actual que ocupa cada corral, debidamente se tendrá que hacer la remoción del concreto existente que se encuentra en la zona de corrales y realizar la adecuación del suelo, la impermeabilización del terreno, el agregado de material filtrante y el montaje del mismo. ▪ La limpieza del concreto permeable debe ser diaria y constante, previniendo la obstrucción de los poros del concreto con el estiércol de ganado. ▪ El lixiviado del filtro puede utilizarse como materia prima | <ul style="list-style-type: none"> ▪ No tiene. ▪ El montaje requiere alto costo. ▪ Puede presentar colmatación por falta de limpieza. ▪ No tiene. ▪ Es una tecnología nueva que está bajo estudio |

Fuente: Autor.

La propuesta de las tres alternativas de prevención y mitigación de la contaminación hídrica, satisfacen la necesidad real de la sección de corrales de la planta de beneficio animal. Las alternativas 1 y 2 pueden ser implementadas contiguamente, debido a que el sedimentador también se encuentra diseñado para tratar el caudal proveniente del lavado de corrales y cuenta con la capacidad de recibir otro tipo de descarga en los eventos de no precipitación. El uso de concreto permeable en la alternativa 3 es bastante provechoso porque permite la separación del orín y el estiércol de ganado, sin embargo permanece en estudio por la complejidad y resistencia del mismo.

6. CONCLUSIONES

Los días pico de mayor ingreso de ganado son los miércoles, jueves y viernes, obteniéndose un promedio de entrada máximo diario de 599 reses. Los meses de mayor ingreso y sacrificio en el frigorífico son Enero y Diciembre.

El promedio de kilogramos de estiércol diario en la sección de corrales es de 5 Kg. La producción de estiércol diaria, semanal, mensual y anual corresponde a los siguientes valores 2995 Kg, 20985 Kg, 42945 Kg y 515,340 Ton respectivamente.

La mayor producción de estiércol se genera en la subsección de recepción con un porcentaje de 30% seguido de la subsección de comercialización con un 26%.

El 57% corresponde a la masa recogida en seco en la sección de corrales. La recolección en seco no es suficiente como medida de limpieza total en la zona corrales.

En eventos de precipitación el frigorífico no cumple con la nueva normatividad de vertimientos (Resolución 0631/2015) debido a que las concentraciones de sólidos totales del vertimiento oscilan entre 2996 mg/L y 7430 mg/L.

Para cumplir con la normatividad vigente es necesario obtener remociones superiores al 93%.

El consumo de agua por parte del ganado representa el mismo porcentaje de deyecciones de orín del animal mismo.

Diariamente se realiza el 44% de la limpieza y del lavado de la sección de corrales. La subsección de comercialización tiene el mayor dispendio de agua potable.

Es ineludible implementar un programa de producción más limpia para el ahorro de agua en la zona de corrales, incluyendo el cambio de boquillas y el establecimiento de un tiempo de lavado.

La simulación en el programa EPA SWIMM permitió analizar el comportamiento del estiércol en los cuatro escenarios: limpio con lluvia intensa, limpio con baja lluvia, sucio con lluvia intensa y sucio con baja lluvia, estimando la escorrentía superficial en cada caso (69,3 Kg, 4,5 Kg, 742,5 Kg y 48,6 Kg).

El estudio de la movilidad y simulación del estiércol en programas como EPA SWIMM, no se ha realizado hasta el momento. El presente estudio demostró la importancia de hacer uso de herramientas sistemáticas con el fin de realizar la comparación con los resultados en campo.

La dinámica de dilución del estiércol en eventos de precipitación, corroboró la necesidad de implementar una alternativa de tratamiento, debido a que por escorrentía, no alcanza a diluirse hasta concentraciones de sólidos totales menores a 200 mg/L como lo indica la norma vigente.

La propuesta de las tres alternativas de prevención y mitigación de la contaminación hídrica, satisfacen la necesidad real de la sección de corrales de la planta de beneficio animal.

Las alternativas 1 y 2 pueden llevarse a cabo contiguamente. El uso de concreto permeable en la alternativa 3 necesita un mayor estudio para ser efectuado en la zona de corrales.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el repesaje de una muestra de bovinos más representativa y con diferente tiempo de estadía en corrales para obtener datos más específicos a cerca de las deyecciones depositadas en cada subsección.

Es necesario realizar la medición del consumo de agua en la sección de corrales durante toda una jornada, así mismo evaluar varios días de lavado para tener mayor número de datos representativos.

Se debe tener en cuenta que el estudio de los eventos de precipitación pueden variar respecto al mes y época del año. Así mismo, no siempre se va a presentar gran arrastre de deyecciones fecales, puesto que la cantidad y la intensidad de la esorrentía es directamente proporcional a este, por ello es necesario optimizar la limpieza en seco y prevenir desde el punto crítico de producción.

La propuesta de alternativas preventivas y de mitigación de la contaminación deben satisfacer la necesidad del lugar en donde se van a implementar, por lo tanto es ineludible realizar un estudio de la producción de estiércol y de los posibles factores directos e indirectos que puedan favorecer la contaminación.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] GIL, Susana. Elementos que intervienen y posibles impactos en el medio ambiente, sistema de producción de carne bovina: engorde intensivo (feedlot). Disponible en <<http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=685>>.
- [2] Superintendencia de Industria y Comercio. Delegatura de Protección de la Competencia. Estudios de Mercado. Estudio sectorial carne bovina en Colombia 2009-2011.
- [3] JIMENEZ, Yesid. [Diapositivas] Cadena Nacional Cárnica Bovina – CCCB. Consejo Nacional de la Cadena Cárnica Bovina, 2011. <<http://www.cadenacarnicabovina.org.co/doc/PRESENTACIONCNCCB2011.pdf>>
- [4] RAMÍREZ, Andrés y LONDOÑO, Edwar. Un modelo casi ideal de demanda multinivel: el caso de la demanda de carne de res en Colombia, 1994-2007. Medellín: Eafit, 2009.
- [5] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural .Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario SIPSA. Octubre 2012, Núm. 4.
- [6] Resolución número 2008018777, Julio 10 de 2008. Disponible en <https://www.invima.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=571:resolucion-2008018777-julio-102008-&catid=107:resoluciones-2008&Itemid=155>.
- [7] FEDEGÁN, Federación Colombiana de Ganaderos. Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019. Por una ganadería moderna y solidaria, 2006.
- [8] ESPINAL, Carlos F. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas Colombia. La cadena del arroz en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991 – 2005.
- [9] FEDEGÁN. Parafiscalidad. 2015. Disponible en <<http://www.fedegan.org.co/normatividad/parafiscalidad>>
- [10] ROJAS E. Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas. (D. A. [DANE], Ed.) Bogotá. 2005.
- [11] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas, Anuario 2005, Agroindustria y competitividad, Estructura y Dinámica en Colombia 1992 – 2005.
- [12] FEDEGÁN, Federación Colombiana de Ganaderos. Logros, legados y derroteros. Balance de gestión 2011-2012.

- [13] ACERO René, RIAÑO Guillermo y CARDONA Diego. Evaluación del sistema de gestión ambiental de los frigoríficos cárnicos en Colombia. Criterio Libre. Vol. 11 No. 19. Bogotá, Colombia, Julio-Diciembre 2013 Pp. 93-123. Disponible en <<http://www.unilibre.edu.co/CriterioLibre/images/revistas/19/Criterio-Libre-19.pdf>>
- [14] SANTANA, A., Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Cárnica Bovina en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá. 2009.
- [15] VEALL, Frederick, Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal, Roma 1993.
- [16] PINOS, Juan, GARCÍA Juan, PEÑA Avelino., RENDÓN Juan, GONZÁLEZ Cecilia y TRISTÁN Flor. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América, 2012.
- [17] MINER, J., HUMENIK F., y OVERCHASH M., Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames, IA, USA, p. 318. 2000.
- [18] POWERS, W. Environmental challenges ahead for the U.S. dairy industry. In: Proc. 46th Florida Dairy Production Conference, Gainesville, FL, USA.2009, p. 13-24.
- [19] RODRIGUEZ, Claudia. Residuos ganaderos, Cursos de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC, p 4. 2000. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf>
- [20] MILLER, J. J. Impact of intensive livestock operations on water quality. Proc. Western Canadian. Dairy Seminar 2001. Pp.13: 405-416.
- [21] EPA (Environmental Protection Agency). National Water Quality Inventory 2000 Report (EPA-841-R-02-001). United States Environment Protection Agency, USA. 2000, p. 207.
- [22] GARCÍA, Lisbeth, SUÁREZ, Yolanda, HERNÁNDEZ, Rodolfo y BETANCOURT, Alexander. Asociación Cubana de Protección Animal ACPA, 2009. P 37. Disponible en<<http://www.actaf.co.cu/revistas/Revista%20ACPA/2009/REVISTA%2004/17%20ESTIERCOL%20BOVINO.pdf>>
- [23] Klein, C, PINARES P., y WAGHORN. G. Greenhouse gas emissions. In: McDowell, R. W. (ed). Environmental Impacts of Pasture-Based Farming. Ag Research Invermay Agricultural Centre Mosgiel. New Zealand Cab International. Cambridge, UK. Pp. 1-32. 2008.
- [24] BANR, Board on Agriculture and Natural Resources y BEST Board of Environmental Studies and Toxicology. Air Emissions from Animal Feeding

Operations: Current Knowledge, Future Needs. The National Academic Press. Washington, D.C. USA. 2003, p. 225.

[25] AGUILUZ, Barahona., MARTÍNEZ, R., ZELAYA, M., STEVEN E., Ing. CASTRO, J. Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca y la Pedrera, de la zona oriental del Salvador. Febrero de 2013.

[26] LUCK, Joe., WORKMAN, Stephen., COYNE, Mark. y HIGGINS, Stephen. Ingeniería de Biosistemas, Abril de 2009. Volumen 102, Número 4, Pp. 417-423.

[27] CASTRO, Mario. Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano. Pontificia Universidad Javeriana, Departamento de Ingeniería Civil. 2011. Disponible en <
<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/7483/1/tesis599.pdf>>

[28] GONZÁLEZ, Carmen. Manejo de la escorrentía y erosión en la finca. El cambio climático: Impacto sobre la producción agrícola y prácticas de adaptación. Disponible en <
<http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-905/ccerosionymanejoescorrentiaescrito.pdf>>

[29] LUCK J, WORKMAN, S., HIGGINS, S. y COYNE, M. Hidrologic Properties of Previous Concrete. Plant and Soil Sciences Faculty Publications. Paper 19.2006. Disponible en <
http://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1018&context=pss_facpub>

[30] SWIERSTRA, J., Do Cows Prefer a Barn Compartment with a Grooved or Slotted Floor? Journal of Dairy Science. 2001. Vol 85.

[31] SUBRAMANIAN, N. Concreto permeable, un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos frente a escasas de agua. The Indian Concrete Journal, Diciembre 2008. Vol 82.

[32] GASQUE, Ramón. [Diapositivas] Instalaciones ganaderas D.R. 2002.

[33] CHAUX, G., ROJAS, G. y BOLAÑOS, L., Producción más limpia y viabilidad de tratamiento biológico para efluentes de mataderos en pequeñas localidades. Caso: municipio de el tambo (Colombia). 2009.

[34] Instituto nacional de tecnología agropecuaria secretaria de agricultura, ganadería, pesca y alimentos. Informe técnico. Normas básicas para el manejo de los recursos hídricos en el ámbito rural para consumo humano. 2008.

[35] Policy for Sustainable Agriculture in New South Wales NSW, 1998.

[36] KOELSCH, R., LORIMOR, J. y MANKIN, K. Vegetative treatment systems for management of open lot runoff: review of literature. Biological Systems Engineering: Papers and Publications Biological Systems Engineering.2006.

- [37] ANÍBAL, J. Estructuras de captura y manejo de efluentes y estiércol. Pordomingo INTA EEA "Guillermo Covas" Anguil. Manejo de Efluentes en Feedlot. Programa Nacional Producción Animal. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/manejo-de-efluentes-en-feedlot/at_multi_downloadLot.pdf>
- [38] BAVERA, Guillermo. Una tecnología de bajo costo para manejar el estiércol del ganado, ARS, Estados Unidos. Traducción de Peruláctea. Disponible en <<http://www.produccion-animal.com.ar/2007>>.
- [39] ROJO, Julián. Estudio hidrológico e hidráulico para diseño de Punte. Disponible en <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/modelacion_hidraulica.pdf>.
- [40] ESTUPIÑAN, Hugo. Metodología para modelar el sistema de drenaje incorporando los procesos de acumulación y lavado en una cuenca urbana. CAMPUS UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE BOGOTÁ. 2009. Disponible en <<http://www.bdigital.unal.edu.co/8521/1/295352.2009.pdf>>
- [41] CONCHA, R. Análisis de cuencas urbanas usando EPA SWMM 5.0 [Diapositivas]. Grupo de investigación FLUMEN UPC.
- [42] MENÉNDEZ, Ángel y RE, Mariano. Códigos Numéricos para la Hidráulica Urbana [Diapositivas]. FIUBA, INA Agosto - Septiembre 2009.
- [43] COLLAZOS, Carlos. Tratamiento de aguas residuales 2008. [Diapositivas] Disponible en <<http://es.slideshare.net/stevenmoreno/tratamiento-de-aguas-residuales-valores-dbo5-dqo>>
- [44] RODRÍGUEZ, Claudia. FAV, UNRC. La Intensificación Ganadera como Proceso de Producción de Residuos. Disponible en <<http://www.fertilizando.com/articulos/La%20Intensificacion%20Ganadera.asp>>.
- [45] BENAVIDES, Henry y AYALA, Leonardo, Análisis descriptivo de variables meteorológicas que influyen en la calidad del aire de los principales centros industriales del país. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM subdirección de meteorología. 2010.

9. ANEXOS

Anexo 1. Días de entrada de bovinos 2014.

| LUNES | MARTES | MIERCOLES | JUEVES | VIERNES | SABADO | DOMINGO |
|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| 167 | 209 | 0 | 98 | 405 | 182 | 327 |
| 327 | 673 | 542 | 752 | 748 | 314 | 207 |
| 153 | 324 | 341 | 744 | 312 | 171 | 60 |
| 353 | 580 | 423 | 620 | 431 | 171 | 60 |
| 255 | 363 | 628 | 582 | 399 | 243 | 44 |
| 211 | 406 | 222 | 401 | 391 | 64 | 160 |
| 258 | 209 | 362 | 329 | 302 | 242 | 36 |
| 230 | 245 | 395 | 400 | 371 | 267 | 83 |
| 155 | 213 | 408 | 519 | 328 | 91 | 98 |
| 219 | 283 | 324 | 505 | 397 | 141 | 14 |
| 277 | 281 | 334 | 439 | 268 | 257 | 99 |
| 266 | 199 | 330 | 381 | 393 | 89 | 95 |
| 252 | 346 | 342 | 509 | 396 | 145 | 112 |
| 285 | 300 | 283 | 455 | 453 | 250 | 65 |
| 273 | 518 | 563 | 391 | 265 | 163 | 90 |
| 418 | 272 | 187 | 0 | 0 | 190 | 40 |
| 334 | 146 | 301 | 377 | 545 | 244 | 76 |
| 477 | 352 | 178 | 159 | 252 | 336 | 70 |
| 270 | 257 | 372 | 312 | 330 | 163 | 101 |
| 278 | 223 | 322 | 306 | 404 | 150 | 63 |
| 233 | 315 | 364 | 293 | 419 | 174 | 67 |
| 204 | 158 | 522 | 346 | 260 | 107 | 44 |
| 292 | 314 | 332 | 343 | 448 | 208 | 48 |
| 311 | 207 | 197 | 374 | 359 | 133 | 46 |
| 253 | 138 | 233 | 425 | 430 | 155 | 82 |
| 307 | 212 | 263 | 409 | 463 | 70 | 130 |
| 233 | 332 | 388 | 471 | 512 | 202 | 28 |
| 212 | 331 | 167 | 332 | 273 | 130 | 45 |
| 199 | 286 | 332 | 454 | 258 | 71 | 37 |
| 235 | 315 | 247 | 400 | 379 | 73 | 90 |
| 251 | 262 | 319 | 448 | 303 | 81 | 52 |
| 339 | 449 | 361 | 666 | 292 | 245 | 39 |
| 285 | 195 | 362 | 444 | 434 | 135 | 65 |
| 255 | 250 | 390 | 614 | 458 | 185 | 83 |
| 332 | 218 | 274 | 317 | 415 | 223 | 86 |
| 345 | 423 | 305 | 437 | 471 | 183 | 41 |
| 369 | 222 | 361 | 493 | 306 | 151 | 34 |
| 206 | 147 | 410 | 517 | 458 | 81 | 58 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 322 | 227 | 338 | 524 | 406 | 143 | 50 |
| 233 | 150 | 249 | 497 | 442 | 103 | 55 |
| 184 | 123 | 391 | 392 | 427 | 268 | 91 |
| 251 | 238 | 574 | 349 | 477 | 153 | 30 |
| 186 | 334 | 401 | 583 | 271 | 104 | 26 |
| 336 | 76 | 215 | 497 | 416 | 95 | 63 |
| 366 | 216 | 361 | 573 | 520 | 168 | 44 |
| 287 | 111 | 207 | 472 | 449 | 55 | 29 |
| 303 | 254 | 541 | 616 | 523 | 207 | 53 |
| 409 | 302 | 462 | 593 | 313 | 90 | 25 |
| 367 | 128 | 318 | 554 | 396 | 237 | 0 |
| 446 | 308 | 297 | 511 | 508 | 242 | 42 |
| 545 | 362 | 231 | 676 | 668 | 147 | 82 |
| 733 | 476 | 99 | 0 | - | - | - |

Fuente: Extraído de la información estadística de una planta de beneficio animal.

Anexo 2. Meses de entrada de bovinos 2014.

| ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JULIO | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 243 | 91 | 346 | 159 | 44 | 212 | 303 | 332 | 249 | 95 | 409 |
| 98 | 44 | 98 | 283 | 252 | 204 | 388 | 81 | 218 | 497 | 63 | 302 |
| 405 | 255 | 155 | 455 | 336 | 158 | 471 | 52 | 305 | 442 | 336 | 318 |
| 182 | 363 | 213 | 453 | 70 | 332 | 512 | 251 | 437 | 103 | 76 | 554 |
| 327 | 222 | 324 | 250 | 477 | 343 | 202 | 262 | 471 | 55 | 361 | 396 |
| 167 | 401 | 505 | 65 | 352 | 448 | 28 | 361 | 183 | 233 | 573 | 237 |
| 209 | 391 | 397 | 285 | 372 | 208 | 233 | 666 | 41 | 150 | 520 | 0 |
| 542 | 64 | 141 | 300 | 312 | 48 | 332 | 292 | 345 | 391 | 168 | 367 |
| 752 | 160 | 14 | 563 | 330 | 292 | 167 | 245 | 423 | 392 | 44 | 128 |
| 748 | 211 | 219 | 391 | 163 | 314 | 332 | 39 | 361 | 427 | 366 | 297 |
| 314 | 406 | 283 | 265 | 101 | 197 | 273 | 339 | 493 | 268 | 216 | 511 |
| 207 | 362 | 334 | 163 | 270 | 374 | 130 | 449 | 306 | 91 | 207 | 508 |
| 327 | 329 | 439 | 90 | 257 | 359 | 45 | 362 | 151 | 184 | 472 | 242 |
| 673 | 302 | 268 | 273 | 322 | 133 | 212 | 444 | 34 | 123 | 449 | 42 |
| 341 | 242 | 257 | 518 | 306 | 46 | 331 | 434 | 369 | 574 | 55 | 446 |
| 744 | 36 | 99 | 187 | 404 | 311 | 332 | 135 | 222 | 349 | 29 | 308 |
| 312 | 258 | 277 | 0 | 150 | 207 | 454 | 65 | 410 | 477 | 287 | 231 |
| 171 | 209 | 281 | 0 | 63 | 233 | 258 | 285 | 517 | 153 | 111 | 676 |
| 60 | 395 | 330 | 190 | 278 | 425 | 71 | 195 | 458 | 30 | 541 | 668 |
| 153 | 400 | 381 | 40 | 223 | 430 | 37 | 390 | 81 | 251 | 616 | 147 |
| 324 | 371 | 393 | 418 | 364 | 155 | 199 | 614 | 58 | 238 | 523 | 82 |
| 423 | 267 | 89 | 272 | 293 | 82 | 286 | 458 | 206 | 401 | 207 | 545 |
| 620 | 83 | 95 | 301 | 419 | 253 | 247 | 185 | 147 | 583 | 53 | 362 |
| 431 | 230 | 266 | 377 | 174 | 138 | 400 | 83 | 338 | 271 | 303 | 99 |
| 171 | 245 | 199 | 545 | 67 | 263 | 379 | 255 | 524 | 104 | 254 | 0 |
| 60 | 408 | 342 | 244 | 233 | 409 | 73 | 250 | 406 | 26 | 462 | 296 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 353 | 519 | 509 | 76 | 315 | 463 | 90 | 274 | 143 | 186 | 593 | 393 |
| 580 | 328 | 396 | 334 | 522 | 70 | 235 | 317 | 50 | 334 | 313 | 146 |
| 628 | - | 145 | 146 | 346 | 130 | 315 | 415 | 322 | 215 | 90 | 733 |
| 582 | - | 112 | 178 | 260 | 307 | 319 | 223 | 227 | 497 | 25 | 476 |
| 399 | - | 252 | - | 107 | - | 448 | 86 | - | 416 | | 0 |

Fuente: Extraído de la información estadística de una planta de beneficio animal.

Anexo 3. Días de beneficio de ganado 2014.

| LUNES | MARTES | MIERCOLES | JUEVES | VIERNES | SABADO | DOMINGO |
|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| 186 | 242 | 162 | 278 | 338 | 367 | 318 |
| 374 | 362 | 337 | 367 | 413 | 414 | 405 |
| 334 | 410 | 334 | 379 | 365 | 457 | 328 |
| 246 | 421 | 424 | 479 | 417 | 454 | 166 |
| 361 | 390 | 354 | 341 | 383 | 427 | 403 |
| 192 | 227 | 259 | 262 | 303 | 285 | 262 |
| 224 | 192 | 404 | 228 | 275 | 392 | 199 |
| 205 | 243 | 295 | 207 | 276 | 447 | 343 |
| 220 | 183 | 261 | 290 | 334 | 333 | 234 |
| 255 | 274 | 266 | 243 | 496 | 62 | 267 |
| 236 | 263 | 271 | 254 | 331 | 363 | 178 |
| 235 | 204 | 234 | 239 | 292 | 295 | 210 |
| 256 | 307 | 272 | 227 | 394 | 368 | 223 |
| 184 | 240 | 259 | 338 | 399 | 353 | 262 |
| 286 | 375 | 359 | 210 | 332 | 309 | 233 |
| 217 | 264 | 302 | 0 | 0 | 365 | 216 |
| 247 | 233 | 215 | 250 | 322 | 380 | 209 |
| 310 | 279 | 268 | 201 | 295 | 369 | 186 |
| 213 | 268 | 308 | 224 | 314 | 296 | 239 |
| 262 | 228 | 201 | 192 | 400 | 330 | 182 |
| 233 | 315 | 329 | 187 | 477 | 0 | 212 |
| 262 | 202 | 264 | 282 | 304 | 304 | 194 |
| 186 | 234 | 234 | 231 | 318 | 331 | 168 |
| 323 | 218 | 244 | 302 | 493 | 4 | 240 |
| 215 | 229 | 196 | 285 | 303 | 316 | 195 |
| 197 | 305 | 248 | 271 | 368 | 271 | 182 |
| 251 | 229 | 283 | 229 | 339 | 337 | 207 |
| 215 | 197 | 195 | 259 | 267 | 289 | 177 |
| 206 | 177 | 220 | 246 | 280 | 265 | 160 |
| 183 | 220 | 208 | 200 | 353 | 286 | 179 |
| 232 | 252 | 214 | 258 | 390 | 291 | 246 |

| | | | | | | |
|------------|-----|------------|-----|-----|------------|-----|
| 236 | 292 | 283 | 334 | 425 | 380 | 228 |
| 280 | 256 | 251 | 349 | 450 | 363 | 184 |
| 239 | 239 | 295 | 298 | 389 | 452 | 236 |
| 247 | 264 | 208 | 268 | 376 | 386 | 222 |
| 222 | 267 | 265 | 234 | 330 | 393 | 225 |
| 272 | 284 | 248 | 266 | 302 | 405 | 212 |
| 239 | 229 | 408 | 259 | 353 | 365 | 196 |
| 205 | 269 | 233 | 281 | 360 | 312 | 231 |
| 277 | 209 | 231 | 317 | 370 | 328 | 251 |
| 223 | 271 | 276 | 261 | 324 | 297 | 186 |
| 230 | 227 | 288 | 265 | 338 | 369 | 250 |
| 217 | 232 | 257 | 226 | 347 | 323 | 198 |
| 277 | 214 | 267 | 237 | 396 | 338 | 235 |
| 249 | 294 | 272 | 280 | 345 | 356 | 252 |
| 254 | 183 | 286 | 261 | 322 | 297 | 238 |
| 243 | 243 | 284 | 391 | 417 | 398 | 212 |
| 342 | 246 | 246 | 278 | 415 | 405 | 222 |
| 270 | 241 | 273 | 321 | 445 | 561 | 0 |
| 295 | 381 | 279 | 264 | 426 | 410 | 252 |
| 451 | 580 | 276 | 311 | 446 | 398 | 274 |
| 366 | - | 115 | 0 | 422 | 432 | 237 |
| - | - | 64 | - | - | - | - |

Fuente: Extraído de la información estadística de una planta de beneficio animal.

Anexo 4. Meses de sacrificio 2014.

| ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 162 | 427 | 333 | 307 | 201 | 194 | 305 | 390 | 247 | 231 | 338 | 342 |
| 278 | 403 | 234 | 259 | 295 | 262 | 283 | 291 | 264 | 317 | 235 | 246 |
| 338 | 361 | 220 | 338 | 369 | 202 | 229 | 246 | 265 | 370 | 277 | 273 |
| 367 | 390 | 183 | 399 | 186 | 234 | 339 | 232 | 234 | 328 | 214 | 321 |
| 318 | 259 | 266 | 353 | 310 | 231 | 337 | 252 | 330 | 251 | 272 | 445 |
| 186 | 262 | 243 | 262 | 279 | 318 | 207 | 283 | 393 | 277 | 280 | 561 |
| 242 | 303 | 496 | 184 | 308 | 331 | 251 | 334 | 225 | 209 | 345 | 0 |
| 337 | 285 | 62 | 240 | 224 | 168 | 229 | 425 | 222 | 276 | 356 | 270 |
| 367 | 262 | 267 | 359 | 314 | 186 | 195 | 380 | 267 | 261 | 252 | 241 |
| 413 | 192 | 255 | 210 | 296 | 234 | 259 | 228 | 248 | 324 | 249 | 279 |
| 414 | 227 | 274 | 332 | 239 | 244 | 267 | 236 | 266 | 297 | 294 | 264 |
| 405 | 404 | 271 | 309 | 213 | 302 | 289 | 292 | 302 | 186 | 286 | 426 |
| 374 | 228 | 254 | 233 | 268 | 493 | 177 | 251 | 405 | 223 | 261 | 410 |
| 362 | 275 | 331 | 286 | 201 | 4 | 215 | 349 | 212 | 271 | 322 | 252 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 334 | 392 | 363 | 375 | 192 | 240 | 197 | 450 | 272 | 288 | 297 | 295 |
| 379 | 199 | 178 | 302 | 400 | 323 | 220 | 363 | 284 | 265 | 238 | 381 |
| 365 | 224 | 236 | 0 | 330 | 218 | 246 | 184 | 408 | 338 | 254 | 276 |
| 457 | 192 | 263 | 0 | 182 | 196 | 280 | 280 | 259 | 369 | 183 | 311 |
| 328 | 295 | 234 | 365 | 262 | 285 | 265 | 256 | 353 | 250 | 284 | 446 |
| 334 | 207 | 239 | 216 | 228 | 303 | 160 | 295 | 365 | 230 | 391 | 398 |
| 410 | 276 | 292 | 217 | 329 | 316 | 206 | 298 | 196 | 227 | 417 | 274 |
| 424 | 447 | 295 | 264 | 187 | 195 | 177 | 389 | 239 | 257 | 398 | 451 |
| 479 | 343 | 210 | 215 | 477 | 215 | 208 | 452 | 229 | 226 | 212 | 580 |
| 417 | 205 | 235 | 250 | 0 | 229 | 200 | 236 | 233 | 347 | 243 | 115 |
| 454 | 243 | 204 | 322 | 212 | 248 | 353 | 239 | 281 | 323 | 243 | 0 |
| 166 | 261 | 272 | 380 | 233 | 271 | 286 | 239 | 360 | 198 | 246 | 422 |
| 246 | 290 | 227 | 209 | 315 | 368 | 179 | 208 | 312 | 217 | 278 | 432 |
| 421 | 334 | 394 | 247 | 264 | 271 | 183 | 268 | 231 | 232 | 415 | 237 |
| 354 | | 368 | 233 | 282 | 182 | 220 | 376 | 205 | 267 | 405 | 366 |
| 341 | | 223 | 268 | 304 | 197 | 214 | 386 | 269 | 237 | 222 | 640 |
| 383 | | 256 | | 304 | | 258 | 222 | | 396 | | 64 |

Fuente: Extraído de la información estadística de una planta de beneficio animal.

Anexo 5. Pruebas de laboratorio en medio seco.

- **Toma de muestras en el inicio de lavado de corrales por vaqueros.**

| CODIGO: | | 1 | CODIGO: | | 2 |
|----------------------------|--|------------------|----------------------------|--|-----------------------|
| TIPO DE MUESTRA: | | Agua residual | TIPO DE MUESTRA: | | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | | Corrales 8:50 am | LUGAR DE MUESTREO: | | PTAR Corrales 8:50 am |
| FECHA DE MUESTREO: | | 11/03/2015 | FECHA DE MUESTREO: | | 11/03/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | | 11/03/2015 | FECHA DE RECEPCIÓN: | | 11/03/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | | 16/03/2015 | FECHA DE REPORTE: | | 16/03/2015 |

| VARIABLE | UNIDADES | PARAMETRO | | Fecha de ejecución de ensayo |
|----------------------------------|----------------------|------------------|----------|-------------------------------------|
| | | 1 | 2 | |
| Sólidos totales | mg sólidos tot/L | 33100 | 17328 | 11/03/2015 |
| Sólidos totales volátiles | mg sólidos tot vol/L | 29332 | 11646 | 11/03/2015 |

- Toma de muestras durante lavado de corrales por vaqueros.

| | |
|----------------------------|-------------------|
| CODIGO: | 3 |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 11:20 am |
| FECHA DE MUESTREO: | 11/03/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 11/03/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 16/03/2015 |

| | |
|----------------------------|------------------------|
| CODIGO: | 4 |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | PTAR Corrales 11:20 am |
| FECHA DE MUESTREO: | 11/03/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 11/03/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 16/03/2015 |

| VARIABLE | UNIDADES | PARAMETRO | | Fecha de ejecución de ensayo |
|----------------------------------|----------------------|-----------|-----|------------------------------|
| | | 3 | 4 | |
| Sólidos totales | mg sólidos tot/L | 3916 | 886 | 11/03/2015 |
| Sólidos totales volátiles | mg sólidos tot vol/L | 1318 | 316 | 11/03/2015 |

- Toma de muestras después de lavado de corrales por vaqueros y con caudal bajo.

| | |
|----------------------------|------------------|
| CODIGO: | 5 |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 5:20 pm |
| FECHA DE MUESTREO: | 13/03/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 13/03/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 19/03/2015 |

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| CODIGO: | 6 |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | PTAR Corrales 5:20 pm |
| FECHA DE MUESTREO: | 13/03/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 13/03/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 19/03/2015 |

| VARIABLE | UNIDADES | PARAMETRO | | Fecha de ejecución de ensayo |
|----------------------------------|----------------------|-----------|------|------------------------------|
| | | 5 | 6 | |
| Sólidos totales | mg sólidos tot/L | 2996 | 6366 | 11/03/2015 |
| Sólidos totales volátiles | mg sólidos tot vol/L | 624 | 2862 | 11/03/2015 |

Anexo 6. Pruebas de laboratorio en medio acuoso.

▪ **Toma de muestras iniciando lluvia (alta con corto tiempo).**

| CODIGO: 1 | | CODIGO: 2 | |
|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual | TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 8:30 am | LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 8:40 am |
| FECHA DE MUESTREO: | 27/01/2015 | FECHA DE MUESTREO: | 27/01/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 27/01/2015 | FECHA DE RECEPCIÓN: | 27/01/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 | FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 |

| VARIABLE | UNIDADES | PARAMETRO | | Límite de Detección | Fecha de ejecución de ensayo | Método |
|----------------------------------|----------------------|-----------|------|---------------------|------------------------------|-----------|
| | | 1 | 2 | | | |
| DQO | mg O ₂ /L | 3561 | 6053 | 23.7 mg/L | 11/02/2015 | SM 5220-C |
| Sólidos totales | mg sólidos tot/L | 4650 | 7430 | 25.1 | 20/02/2015 | SM 2540-B |
| Sólidos totales volátiles | mg sólidos tot vol/L | 2620 | 4760 | 25.1 | 20/02/2015 | SM 2540-B |

▪ **Toma de muestras iniciando lluvia (media constante).**

| CODIGO: 3 | | CODIGO: 4 | |
|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual | TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 7:10 am | LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 7:40 am |
| FECHA DE MUESTREO: | 02/02/2015 | FECHA DE MUESTREO: | 02/02/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 11/02/2015 | FECHA DE RECEPCIÓN: | 11/02/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 | FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 |

| VARIABLE | UNIDADES | PARAMETRO | | Límite de Detección | Fecha de ejecución de ensayo | Método |
|------------------------|----------------------|-----------|------|---------------------|------------------------------|-----------|
| | | 3 | 4 | | | |
| DQO | mg O ₂ /L | 2134 | 6326 | 23.7 mg/L | 11/02/2015 | SM 5220-C |
| Sólidos totales | mg sólidos tot/L | 3520 | 4920 | 25.1 | 20/02/2015 | SM 2540-B |

| | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|------|------|------|------------|-----------|
| Sólidos totales volátiles | mg sólidos tot vol/L | 2250 | 4200 | 25.1 | 20/02/2015 | SM 2540-B |
|----------------------------------|----------------------|------|------|------|------------|-----------|

▪ **Toma de muestras iniciando lluvia (alta constante).**

| | |
|----------------------------|-------------------|
| CODIGO: | 5 |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 13:10 pm |
| FECHA DE MUESTREO: | 06/02/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 11/02/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 |

| | |
|----------------------------|-------------------|
| CODIGO: | 6 |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 13:40 pm |
| FECHA DE MUESTREO: | 06/02/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 11/02/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 |

| VARIABLE | UNIDADES | PARAMETRO | | Límite de Detección | Fecha de ejecución de ensayo | Método |
|----------------------------------|----------------------|-----------|------|---------------------|------------------------------|-----------|
| | | 5 | 6 | | | |
| DQO | mg O ₂ /L | 6326 | 5597 | 23.7 mg/L | 11/02/2015 | SM 5220-C |
| Sólidos totales | mg sólidos tot/L | 5980 | 6060 | 25.1 | 00/02/2015 | SM 2540-B |
| Sólidos totales volátiles | mg sólidos tot vol/L | 4630 | 4370 | 25.1 | 00/02/2015 | SM 2540-B |

▪ **Toma de muestras después de toda una noche de lluvia (lluvia alta)**

| | |
|----------------------------|------------------|
| CODIGO: | 7 |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 8:40 am |
| FECHA DE MUESTREO: | 20/02/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 20/02/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 |

| | |
|----------------------------|------------------|
| CODIGO: | 8 |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 9:40 am |
| FECHA DE MUESTREO: | 20/02/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 20/02/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 |

| VARIABLE | UNIDADES | PARAMETRO | | Límite de Detección | Fecha de ejecución de ensayo | Método |
|---------------------------|----------------------|-----------|------|---------------------|------------------------------|-----------|
| | | 7 | 8 | | | |
| DQO | mg O2/L | 550 | 454 | 23.7 mg/L | 20/02/2015 | SM 5220-C |
| Sólidos totales | mg sólidos tot/L | 1150 | 1430 | 25.1 | 20/02/2015 | SM 2540-B |
| Sólidos totales volátiles | mg sólidos tot vol/L | 690 | 950 | 25.1 | 20/02/2015 | SM 2540-B |

| CODIGO: 9 | |
|---------------------|-------------------|
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 10:10 am |
| FECHA DE MUESTREO: | 20/02/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 20/02/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 |

| CODIGO: 10 | |
|---------------------|-------------------|
| TIPO DE MUESTRA: | Agua residual |
| LUGAR DE MUESTREO: | Corrales 10:33 am |
| FECHA DE MUESTREO: | 20/02/2015 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 20/02/2015 |
| FECHA DE REPORTE: | 10/03/2015 |

| VARIABLE | UNIDADES | PARAMETRO | | Límite de Detección | Fecha de ejecución de ensayo | Método |
|---------------------------|----------------------|-----------|-----|---------------------|------------------------------|-----------|
| | | 9 | 10 | | | |
| DQO | mg O2/L | 249 | 204 | 23.7 mg/L | 20/02/2015 | SM 5220-C |
| Sólidos totales | mg sólidos tot/L | 620 | 620 | 25.1 | 20/02/2015 | SM 2540-B |
| Sólidos totales volátiles | mg sólidos tot vol/L | 390 | 340 | 25.1 | 20/02/2015 | SM 2540-B |

Anexo 7. Monitoreo en la subsección de corrales de recepción.

Intervalo de observación: 6:00 am – 1:00 pm.

| LOTE | PROPIETARIO | N° DE VACAS | N° VACAS ORINES | TIEMPO DE ORINES (s) | N° DEPOSICIONES | OBSERVACIONES |
|------|------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-----------------|---------------|
| R- | Bonanza Hermaló moreno | 3 | 2 | 34,84 | - | - |
| | | | | 11,50 | | |
| R-21 | - | 7 | 3 | 14,61 | 2 | - |
| | | | | 13,75 | | |
| | | | | 7,12 | | |

| | | | | | | |
|------|------------------------|----|---|--------|----|--|
| R-22 | - | 12 | 1 | 33,62 | 4 | Ingresaron 3 vacas tiempo después de comenzar, al inicio solo habían 9 |
| R-23 | Alexander Oviedo | 12 | 8 | 60 | 8 | - |
| | | | | 27,36 | | |
| | | | | 124,56 | | |
| | | | | 69,71 | | |
| | | | | 47,06 | | |
| | | | | 29,75 | | |
| | | | | 60,20 | | |
| | | | | 17,94 | | |
| R-24 | - | 11 | 3 | 27,67 | 4 | - |
| | | | | 79,08 | | |
| | | | | 18,25 | | |
| R-25 | - | 13 | 2 | 14,74 | 1 | - |
| | | | | 14,50 | | |
| R-26 | - | 15 | 1 | 39,73 | 5 | - |
| R-27 | Carmen Sarmiento | 9 | 1 | 45,12 | 11 | - |
| R-28 | Carnes San Pablo | 7 | 1 | 10,65 | 8 | - |
| R-29 | Juan de Jesús Mantilla | 18 | 1 | 36,06 | 6 | - |
| R-30 | - | 12 | 9 | 39,62 | - | - |
| | | | | 44,05 | | |
| | | | | 85,81 | | |
| | | | | 10,30 | | |
| | | | | 30,81 | | |
| | | | | 63,60 | | |
| | | | | 38,26 | | |
| | | | | 25,47 | | |
| | | | | 13,26 | | |
| R-31 | Fabio Ramón | 13 | 7 | 11,83 | 2 | - |
| | | | | 5,56 | | |
| | | | | 22,08 | | |
| | | | | 11,23 | | |
| | | | | 24,68 | | |
| | | | | 17,83 | | |
| | | | | 14,86 | | |
| R-32 | Henry Ayala | 5 | 1 | 26,24 | 4 | - |
| R-33 | Mauricio Páez | 1 | 1 | 56,38 | 3 | - |
| R-34 | Carnes Lucero | | 7 | - | 1 | - |
| R-35 | Humberto Serrano | 10 | 5 | 53,67 | 6 | - |
| | | | | 55,51 | | |
| | | | | 8,12 | | |

| | | | | | | |
|-------------|----------------|----|----|--------|---|---|
| | | | | 15,37 | | |
| | | | | 7,12 | | |
| R-36 | - | 4 | 2 | 20,65 | - | - |
| | | | | 21,75 | | |
| R-37 | Pedro Beltrán | 12 | 7 | 26,56 | - | - |
| | | | | 36,56 | | |
| | | | | 57,11 | | |
| | | | | 40,52 | | |
| | | | | 45,49 | | |
| | | | | 22,56 | | |
| | | | | 17,50 | | |
| R-38 | Todo ganado | 12 | 6 | 20,21 | - | - |
| | | | | 15,18 | | |
| | | | | 16,10 | | |
| | | | | 26,39 | | |
| | | | | 22,79 | | |
| | | | | 16,30 | | |
| R-39 | Milton Larrota | 9 | 5 | 16,79 | - | - |
| | | | | 38 | | |
| | | | | 17,40 | | |
| | | | | 7,74 | | |
| | | | | 2,56 | | |
| R-40 | - | 21 | 5 | 34,66 | - | - |
| | | | | 42,12 | | |
| | | | | 7,50 | | |
| | | | | 27,41 | | |
| | | | | 25,38 | | |
| R-41 | Alex Delgado | 4 | 6 | 174,78 | 3 | - |
| | | | | 8,25 | | |
| | | | | 15,21 | | |
| | | | | 17,72 | | |
| | | | | 32,40 | | |
| | | | | 48,39 | | |
| R-42 | - | 23 | 10 | 29,13 | - | - |
| | | | | 52,24 | | |
| | | | | 41,04 | | |
| | | | | 16,45 | | |
| | | | | 63,64 | | |
| | | | | 42,36 | | |
| | | | | 30,34 | | |
| | | | | 22,33 | | |
| | | | | 25,07 | | |
| | | | | 18,37 | | |
| R-43 | Casanova | 7 | - | - | 1 | Ingresaron 6 vacas tiempo después de comenzar, al inicio solo había 1 |
| R-44 | Alirio Jaimes | 4 | 2 | 15,73 | 5 | - |
| | | | | 5,70 | | |

Fuente: Autor.

Anexo 8. Monitoreo en la subsección de corrales de comercialización.

Intervalo de observación: 8:00 am – 1:00 pm.

| LOTE | PROPIETARIO | N° DE VACAS | N° VACAS ORINES | TIEMPO DE ORINES (s) | N° DEPOSICIONES | OBSERVACIONES |
|------|------------------|-------------|-----------------|----------------------|-----------------|-------------------|
| C-15 | Evelio Calderón | 4 | 1 | 26,23 | 5 | - |
| C-17 | Alirio Duarte | 11 | 2 | 18,88 | 5 | - |
| | | | | 94,41 | | |
| C-18 | Reynaldo Vargas | 21 | 1 | 39,5 | 3 | - |
| C-19 | Benicio Tarazona | 12 | 2 | 6,51 | 5 | - |
| | | | | 9,11 | | |
| C-20 | Camilo Lozano | 15 | 3 | 10,07 | 1 | - |
| | | | | 35,41 | | |
| | | | | 31,5 | | |
| C-21 | Pedro Corredor | 17 | 3 | 6,56 | 5 | - |
| | | | | 9,65 | | |
| | | | | 31,79 | | |
| C-22 | Cesar meza | 33 | 2 | 26,24 | 9 | - |
| | | | | 46,3 | | |
| C-23 | Jorge Castillo | 23 | 3 | 6,41 | 4 | - |
| | | | | 21,04 | | |
| | | | | 10,99 | | |
| C-24 | - | 10 | 1 | 10,34 | 2 | 4 días de estadía |
| C-29 | Darío Ariza | 7 | 1 | 31,89 | 3 | 4 días de estadía |
| C-30 | Ramón Castillo | 18 | 3 | 11,36 | 3 | 4 días de estadía |
| | | | | 30,45 | | |
| | | | | 21,97 | | |
| C-31 | Darío Ariza | 15 | 2 | 8,32 | 1 | 4 días de estadía |
| | | | | 2,45 | | |
| C-32 | Pablo Patiño | 6 | 1 | 64,81 | 4 | 4 días de estadía |

Fuente: Autor.

Anexo 9. Monitoreo en la subsección de corrales de beneficio.

Intervalo de observación: 8:00 am – 1:00 pm.

| LOTE | PROPIETARIO | N° DE VACAS | N° VACAS ORINES | TIEMPO DE ORINES (s) | N° DEPOSICIONES | OBSERVACIONES |
|------|-------------------|-------------|-----------------|----------------------|-----------------|---------------|
| B-04 | Carnes Manzanares | 5 | 1 | 34,92 | 3 | - |
| B-05 | Ofacol | 3 | - | - | - | - |
| B-06 | Carnes y carnes | 16 | 1 | 4,91 | | - |

| | | | | | | |
|-------------|---------------------|----|---|-------|---|---|
| B-07 | - | 16 | 1 | 4,58 | 3 | - |
| B-08 | - | 2 | - | - | 2 | - |
| B-10 | Pedro J Corredor | 18 | 6 | 40,48 | | - |
| | | | | 19,08 | | |
| | | | | 50 | - | |
| | | | | 17,44 | | |
| | | | | 14,76 | | |
| | | | | 19,09 | | |
| B-11 | - | 7 | 1 | 30,73 | 2 | - |
| B-12 | - | 7 | 3 | 13,52 | 2 | - |
| | | | | 17,88 | | |
| | | | | 4,14 | | |
| B-13 | - | 14 | 3 | 15,78 | 4 | - |
| | | | | 23,77 | | |
| | | | | 36,88 | | |

Fuente 14: Autor.

Anexo 10. Muestreo de caudal en el tubo de conducción de corrales hacia la PTAR

Fecha: 13/01/15

| N° | HORA | VOLUMEN (L) | TIEMPO(s) | CAUDAL (L/s) | OBSERVACIONES |
|-----------|-------------|--------------------|------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 16:07 | 0,75 | 7,57 | 0,10 | |
| 2 | 16:37 | 0,46 | 3,4 | 0,14 | |
| 3 | 17:07 | 0,595 | 4,7 | 0,13 | |
| 4 | 17:37 | 0,88 | 1,37 | 0,64 | |
| 5 | 18:07 | 0,45 | 3,95 | 0,11 | |
| 6 | 18:37 | 0,45 | 4,48 | 0,10 | |
| 7 | 19:07 | 1,28 | 1,66 | 0,77 | |
| 8 | 19:37 | 0,62 | 5,51 | 0,11 | |
| 9 | 20:07 | 0,31 | 3,74 | 0,08 | |
| 10 | 20:37 | 0,37 | 4,14 | 0,09 | |
| 11 | 21:07 | 0,53 | 3,63 | 0,15 | |
| 12 | 21:37 | 0,59 | 6,21 | 0,10 | |
| 13 | 22:07 | 0,37 | 4,18 | 0,09 | |
| 14 | 22:37 | 0,43 | 4,67 | 0,09 | |
| 15 | 23:07 | 0,46 | 5,12 | 0,09 | |
| 16 | 23:37 | 0,33 | 3,27 | 0,10 | |
| 17 | 0:07 | 0,73 | 7,03 | 0,10 | |
| 18 | 0:37 | 0,39 | 2,62 | 0,15 | |

| | | | | | |
|----|-------|-------|------|------|---------------------------|
| 19 | 1:07 | 0,34 | 3,4 | 0,10 | |
| 20 | 1:37 | 0,44 | 4,78 | 0,09 | |
| 21 | 2:07 | 0,57 | 6,13 | 0,09 | |
| 22 | 2:37 | 0,29 | 3,75 | 0,08 | |
| 23 | 3:07 | 0,41 | 5,24 | 0,08 | |
| 24 | 3:37 | 0,33 | 3,68 | 0,09 | |
| 25 | 4:07 | 0,54 | 7 | 0,08 | |
| 26 | 4:37 | 0,51 | 5,63 | 0,09 | |
| 27 | 5:07 | 0,39 | 4,31 | 0,09 | |
| 28 | 5:37 | 0,42 | 3,76 | 0,11 | |
| 29 | 6:07 | 0,71 | 6,97 | 0,10 | |
| 30 | 6:37 | 0,6 | 7,91 | 0,08 | |
| 31 | 7:07 | 0,54 | 5,81 | 0,09 | |
| 32 | 7:37 | 0,415 | 8,69 | 0,05 | |
| 33 | 8:07 | 0,74 | 1,76 | 0,42 | Inicio de lavado corrales |
| 34 | 8:37 | 0,94 | 2,7 | 0,35 | Inicio de lavado corrales |
| 35 | 9:07 | 0,41 | 2,98 | 0,14 | Lavado de corrales |
| 36 | 9:37 | 0,38 | 4,89 | 0,08 | Lavado de corrales |
| 37 | 10:07 | 1,82 | 0,8 | 2,28 | Lavado de corrales |
| 38 | 10:37 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 39 | 11:07 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 40 | 11:37 | 3 | 0,81 | 3,70 | Lavado de corrales |
| 41 | 12:07 | 2,03 | 0,81 | 2,51 | Lavado de corrales |
| 42 | 12:37 | 1,55 | 0,63 | 2,46 | Lavado de corrales |
| 43 | 13:07 | 0,96 | 4,35 | 0,22 | Lavado de corrales |
| 44 | 13:37 | 3,91 | 1,37 | 2,85 | Lavado de corrales |
| 45 | 14:07 | 2,8 | 1,5 | 1,87 | Lavado de corrales |
| 46 | 14:37 | 0,77 | 0,41 | 1,88 | Lavado de corrales |
| 47 | 15:07 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 48 | 15:37 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |

Fuente: Autor.

Fecha: 17/01/15

| N° | HORA | VOLUMEN (L) | TIEMPO (s) | CAUDAL (L/s) | OBSERVACIONES |
|----|------|-------------|------------|--------------|--------------------------|
| 1 | 9:00 | 0,65 | 13,2 | 0,05 | |
| 2 | 9:30 | 2,66 | 6,93 | 0,38 | |
| 3 | 9:40 | 5,44 | 3,27 | 1,66 | |
| 4 | 9:45 | 3,67 | 0,9 | 4,08 | Lavado de un solo corral |

| | | | | | |
|----|-------|------|-------|------|--------------------------|
| 5 | 9:50 | 3,74 | 1,12 | 3,34 | Lavado de un solo corral |
| 6 | 10:00 | 3,78 | 1,29 | 2,93 | Lavado de un solo corral |
| 7 | 10:05 | 2,89 | 3,58 | 0,81 | |
| 8 | 10:10 | 2,44 | 5,28 | 0,46 | |
| 9 | 10:45 | 1,3 | 8,8 | 0,15 | |
| 10 | 11:00 | 2,1 | 19,36 | 0,11 | |
| 11 | 11:30 | 1,17 | 9,1 | 0,13 | Agua blanca |
| 12 | 12:00 | 0,72 | 13,76 | 0,05 | |
| 13 | 12:30 | 0,58 | 14,22 | 0,04 | |
| 14 | 13:00 | 3,23 | 1,43 | 2,26 | |
| 15 | 1:30 | 2,13 | 2,06 | 1,03 | |
| 16 | 14:10 | 5,37 | 2,04 | 2,63 | |
| 17 | 14:30 | 4,53 | 1,35 | 3,36 | |
| 18 | 15:00 | 2,56 | 2,8 | 0,91 | |
| 19 | 15:30 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 20 | 16:00 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 21 | 16:30 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 22 | 17:00 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 23 | 17:30 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 24 | 18:00 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |

Fuente: Autor.

Fecha: 19/01/15

| N° | HORA | VOLUMEN (L) | TIEMPO (s) | CAUDAL (L/s) | OBSERVACIONES |
|----|-------|-------------|------------|--------------|------------------------|
| 1 | 8:30 | 0,35 | 11,3 | 0,03 | |
| 2 | 9:00 | 1,34 | 30,94 | 0,04 | |
| 3 | 9:30 | 6,3 | 1,1 | 5,73 | Lavado de corrales |
| 4 | 9:40 | 2,89 | 0,83 | 3,48 | Lavado de corrales |
| 5 | 9:50 | 5,3 | 0,88 | 6,02 | |
| 6 | 10:00 | 2,85 | 0,88 | 3,24 | |
| 7 | 10:30 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 8 | 11:00 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 9 | 11:30 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 10 | 12:00 | 2,35 | 4,71 | 0,50 | |
| 11 | 12:30 | 1,55 | 5,04 | 0,31 | |
| 12 | 13:00 | 0,9 | 5,42 | 0,17 | |
| 13 | 13:30 | 1,82 | 13,9 | 0,13 | |
| 14 | 14:00 | 1,12 | 7,59 | 0,15 | |

| | | | | | |
|----|-------|------|------|------|------------------------|
| 15 | 14:30 | 1,15 | 6,22 | 0,18 | |
| 16 | 14:40 | 1,17 | 9,21 | 0,13 | |
| 17 | 15:00 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 18 | 15:30 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 19 | 16:00 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 20 | 16:30 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 21 | 17:00 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |
| 22 | 17:30 | 0 | 0 | - | Inundación de canaleta |

Fuente: Autor.

Anexo 11. Levantamiento de planos.

| CAJA DE RECEPCIÓN | |
|--------------------|------------|
| COORDENADAS | |
| X= | 1104847,87 |
| Y= | 1271508,48 |
| Z= | 77,24 |
| PENDIENTE: | 0,30% |

| CANALETA DE RECEPCIÓN | | | | | |
|-----------------------|--------------|-----------|-----------------|------|---------------|
| TRAMO | LONGITUD (m) | ANCHO (m) | PROFUNDIDAD (m) | | PENDIENTE (%) |
| | | | 1 | 2 | |
| Tramo 7-8 | 36,14 | 0,2 | 0,14 | 0,96 | 2.26 |
| Tramo 6-5 | 61,95 | 0,2 | 1,2 | 0,3 | 1.45 |

| CAJA DE COMERCIALIZACIÓN | |
|--------------------------|------------|
| COORDENADAS | |
| X= | 1104852,29 |
| Y= | 1271533,51 |
| Z= | -9,35 |
| PENDIENTE: | 0,30% |

| CANALETA DE COMERCIALIZACIÓN | | | | | |
|------------------------------|--------------|-----------|-----------------|------|---------------|
| TRAMO | LONGITUD (m) | ANCHO (m) | PROFUNDIDAD (m) | | PENDIENTE (%) |
| | | | 1 | 2 | |
| Tramo 1-2 | 38,92 | 0,3 | 0,1 | 0,52 | 1.1 |
| Tramo 4-3 | 49,38 | 0,3 | 0,78 | 0,22 | 1.13 |

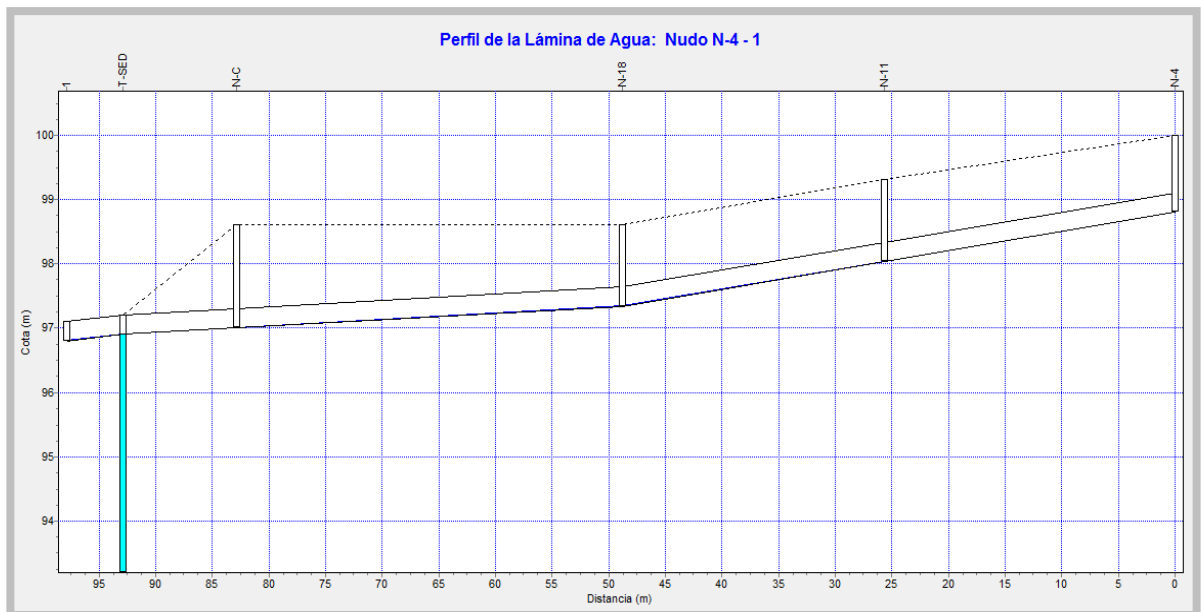
| CAJA DE BENEFICIO | |
|--------------------|------------|
| COORDENADAS | |
| X= | 1104858,59 |
| Y= | 1271558,49 |
| Z= | 77,13 |
| PENDIENTE: | 0,23% |

| CANALETA DE BENEFICIO | | | | | |
|-----------------------|--------------|-----------|-----------------|------|---------------|
| TRAMO | LONGITUD (m) | ANCHO (m) | PROFUNDIDAD (m) | | PENDIENTE (%) |
| | | | 1 | 2 | |
| Tramo 11-12 | 47,58 | 0,28 | 0,16 | 0,8 | 1.3 |
| Tramo 9-10 | 34,04 | 0,28 | 0,12 | 0,84 | 2.1 |

Fuente 15: Autor.

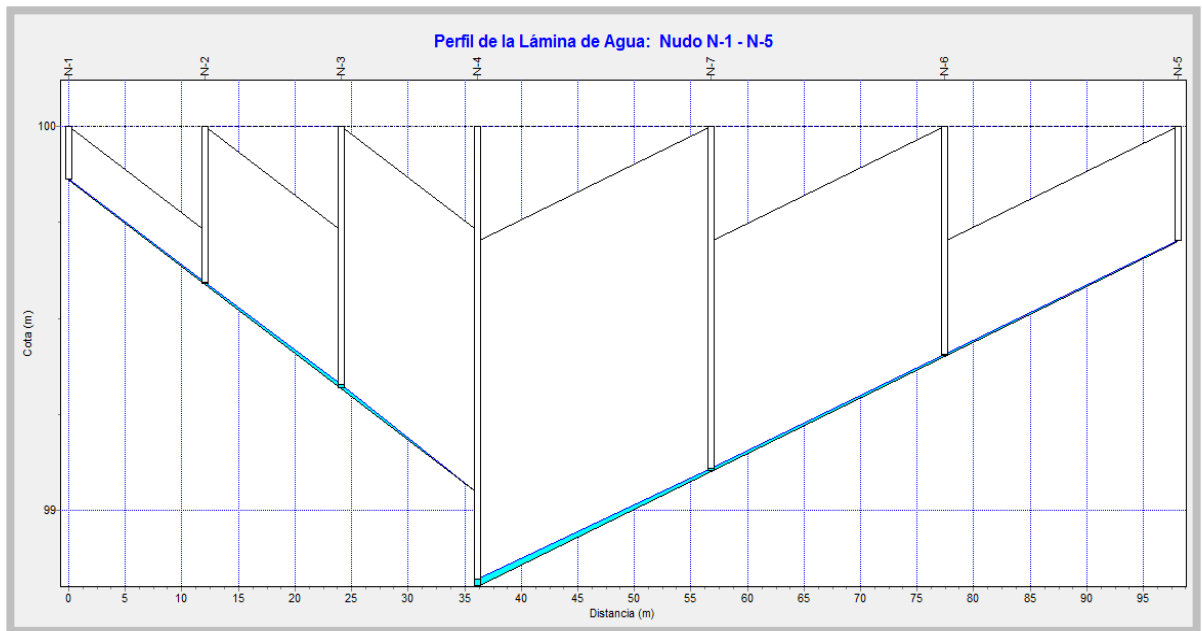
Anexo 12. Perfiles de las estructuras hidráulicas del sistema perimetral de canaletas de recolección de agua lluvia.

Perfil de la tubería de recolección desde la caja de inspección de la subsección de recepción hasta la salida hacia la PTAR.



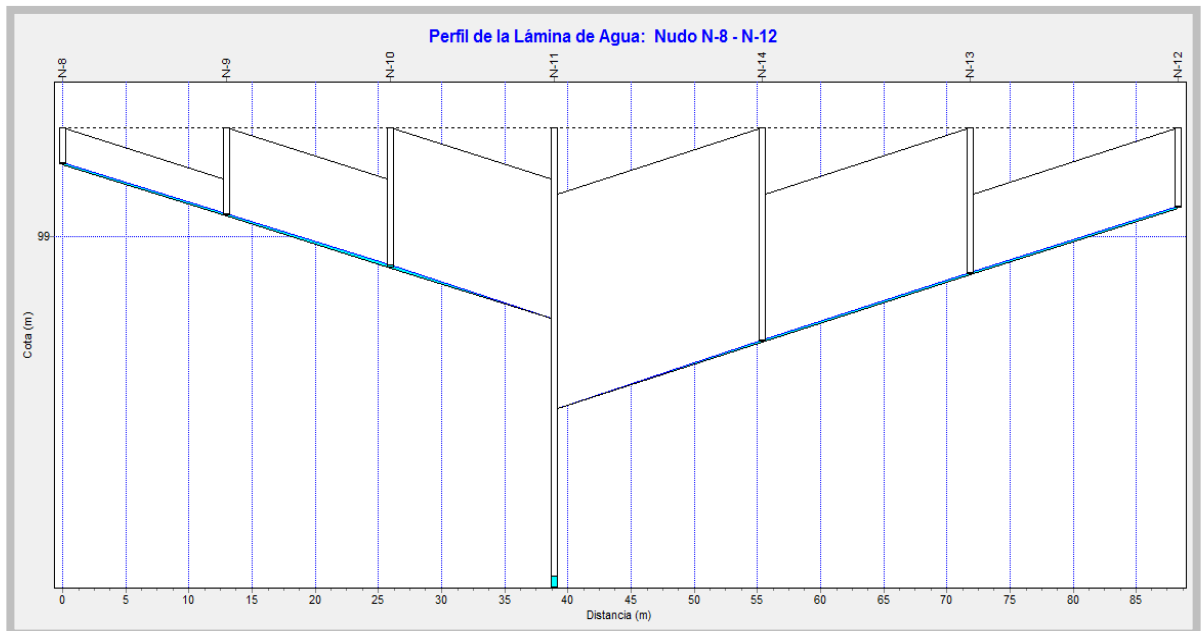
Fuente: Autor.

Perfil de la canaleta superior de la subsección de recepción.



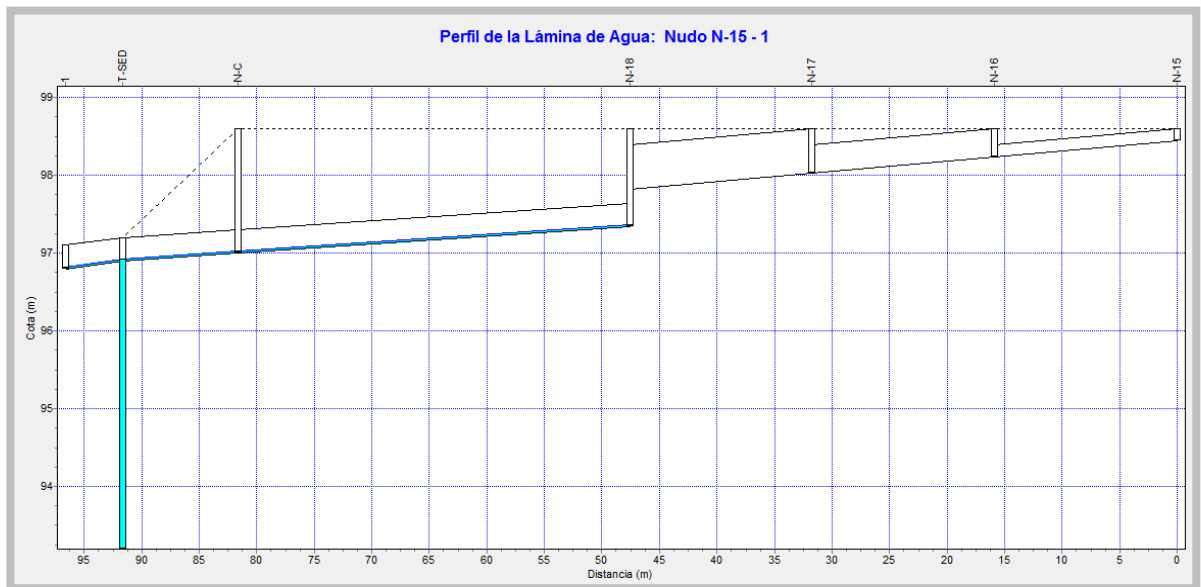
Fuente: Autor.

Perfil de la canaleta superior de la subsección de comercialización.



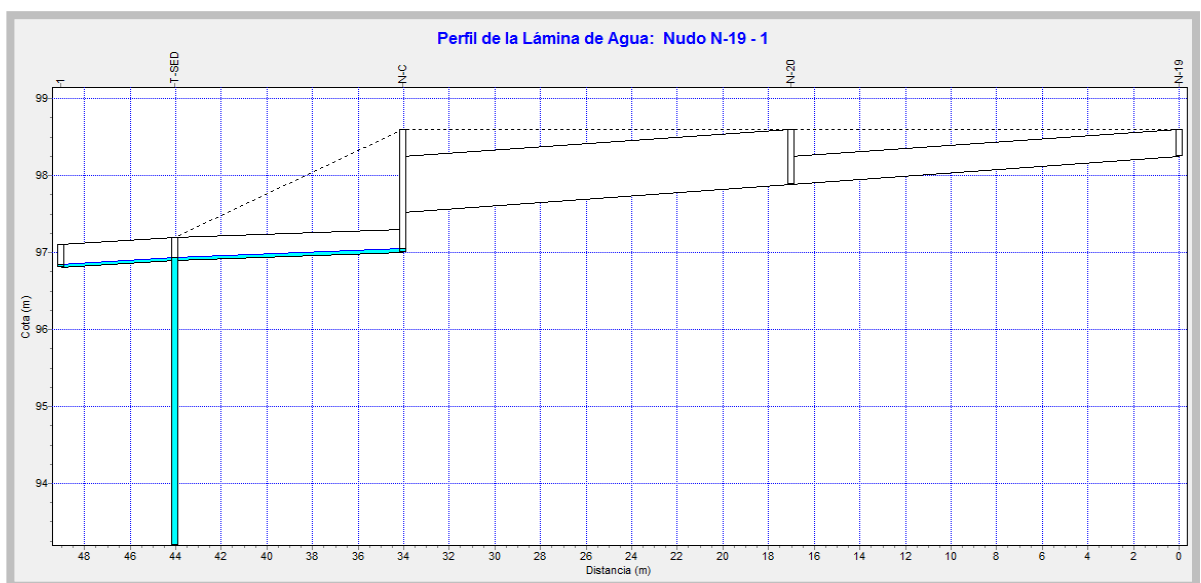
Fuente: Autor.

Perfil de la canaleta de la subsección de beneficio con conexión inferior hacia la salida a la PTAR.



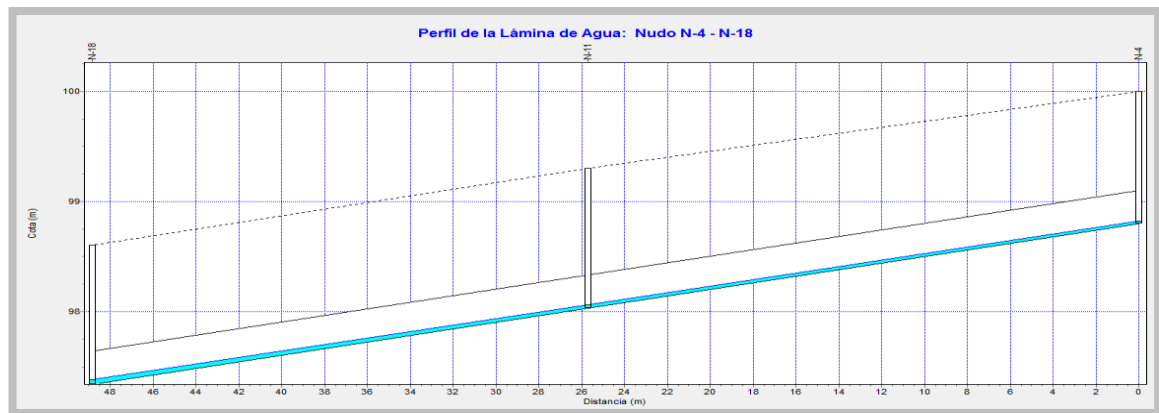
Fuente: Autor.

Perfil de la canaleta de la subsección de beneficio con conexión superior hacia la salida a la PTAR.



Fuente: Autor.

Perfil de las conexiones entre las cajas de cada subsección de recepción, comercialización y beneficio en tubería de 12”.



Fuente: Autor.

Anexo 13. Cálculo de los caudales que pasan por cada una de las estructuras hidráulicas de la sección de corrales.

LLUVIA 1: ST_1 (escenario con lluvia intensa).

| Línea | Tipo | Caudal Máximo LPS | Instante Caudal Máx días hr:min | Veloc. Máxima m/sec | Caudal Máx/ Lleno | Nivel Máx/ Lleno |
|-------|---------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| L-1 | CONDUIT | 0.46 | 0 01:09 | 0.35 | 0.01 | 0.05 |
| L-2 | CONDUIT | 0.92 | 0 01:10 | 0.73 | 0.00 | 0.03 |
| L-3 | CONDUIT | 6.58 | 0 01:04 | 7.05 | 0.02 | 0.02 |
| L-4 | CONDUIT | 0.45 | 0 01:10 | 0.30 | 0.00 | 0.03 |
| L-5 | CONDUIT | 0.91 | 0 01:10 | 0.44 | 0.00 | 0.02 |
| L-6 | CONDUIT | 1.32 | 0 01:11 | 0.78 | 0.00 | 0.02 |
| L-7 | CONDUIT | 0.45 | 0 01:09 | 0.23 | 0.01 | 0.06 |
| L-8 | CONDUIT | 0.92 | 0 01:10 | 0.36 | 0.01 | 0.04 |
| L-9 | CONDUIT | 1.34 | 0 01:10 | 0.47 | 0.00 | 0.02 |
| L-10 | CONDUIT | 0.46 | 0 01:10 | 0.24 | 0.00 | 0.03 |
| L-11 | CONDUIT | 0.94 | 0 01:10 | 0.36 | 0.00 | 0.02 |
| L-12 | CONDUIT | 1.33 | 0 01:11 | 0.47 | 0.00 | 0.02 |
| L-13 | CONDUIT | 0.22 | 0 01:10 | 0.19 | 0.00 | 0.03 |
| L-14 | CONDUIT | 0.45 | 0 01:10 | 0.18 | 0.00 | 0.02 |
| L-19 | CONDUIT | 5.45 | 0 01:05 | 1.38 | 0.03 | 0.11 |
| L-20 | CONDUIT | 6.95 | 0 01:09 | 1.38 | 0.03 | 0.19 |
| L-F | CONDUIT | 7.88 | 0 01:12 | 10.28 | 0.06 | 0.17 |
| L-24 | CONDUIT | 0.22 | 0 01:10 | 0.23 | 0.00 | 0.01 |
| L-25 | CONDUIT | 0.74 | 0 01:03 | 0.37 | 0.00 | 0.01 |
| L15 | CONDUIT | 0.65 | 0 01:11 | 0.51 | 0.00 | 0.02 |
| TDC | CONDUIT | 18.91 | 0 01:03 | 1.78 | 0.15 | 0.21 |
| DES | CONDUIT | 76.08 | 0 02:12 | 8.60 | 0.43 | 0.48 |

Fuente: Autor.

LLUVIA 1: ST_2 (Escenario con baja lluvia).

| Línea | Tipo | Caudal Máximo LPS | Instante Caudal Máx días hr:min | Veloc. Máxima m/sec | Caudal Máx/ Lleno | Nivel Máx/ Lleno |
|-------|---------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| L-1 | CONDUIT | 0.03 | 0 05:11 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| L-2 | CONDUIT | 0.12 | 0 03:08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-3 | CONDUIT | 0.55 | 0 05:06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-4 | CONDUIT | 0.03 | 0 05:12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-5 | CONDUIT | 0.05 | 0 05:13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-6 | CONDUIT | 0.07 | 0 05:14 | 0.09 | 0.00 | 0.01 |
| L-7 | CONDUIT | 0.03 | 0 05:12 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| L-8 | CONDUIT | 0.06 | 0 05:13 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| L-9 | CONDUIT | 0.20 | 0 04:17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-10 | CONDUIT | 0.03 | 0 05:12 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| L-11 | CONDUIT | 0.06 | 0 05:15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-12 | CONDUIT | 0.31 | 0 05:12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-13 | CONDUIT | 0.01 | 0 05:12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-14 | CONDUIT | 0.03 | 0 05:15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-19 | CONDUIT | 0.22 | 0 05:15 | 0.67 | 0.00 | 0.03 |
| L-20 | CONDUIT | 0.41 | 0 05:13 | 0.50 | 0.00 | 0.04 |
| L-F | CONDUIT | 0.46 | 0 05:16 | 0.41 | 0.00 | 0.04 |
| L-24 | CONDUIT | 0.01 | 0 05:15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L-25 | CONDUIT | 0.23 | 0 05:08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| L15 | CONDUIT | 0.08 | 0 05:10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TDC | CONDUIT | 0.39 | 0 05:14 | 0.40 | 0.00 | 0.04 |
| DES | CONDUIT | 0.00 | 0 00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: Autor.

Anexo 14. Cálculo de la masa de arrastre por medio de la simulación del escenario limpio con lluvia intensa.

| | SST |
|---------------------------|--------|
| Calidad de la Escorrentía | kg |
| Acumulación Inicial | 3.800 |
| Acumulación en Sup | 0.000 |
| Sedimentación | 64.600 |
| Eliminación Limpieza | 0.000 |
| Elim. Buenas Prácticas | 0.000 |
| Escorrentía Superficial | 69.342 |
| Acumulación Restante | 2.628 |
| % Error Continuidad | -5.219 |

Fuente: Autor.

Anexo 15. Cálculo de la masa de arrastre por medio de la simulación del escenario limpio con baja lluvia.

| ***** | SST |
|----------------------------|-------|
| Calidad de la Escorrentía | kg |
| ***** | ----- |
| Acumulación Inicial | 3.800 |
| Acumulación en Sup | 0.118 |
| Sedimentación | 8.740 |
| Eliminación Limpieza | 0.000 |
| Elim. Buenas Prácticas ... | 0.000 |
| Escorrentía Superficial .. | 4.531 |
| Acumulación Restante | 7.512 |
| % Error Continuidad | 4.859 |

Fuente: Autor.

Anexo 16. Cálculo de la masa de arrastre por medio de la simulación del escenario sucio con lluvia intensa.

| ***** | SST | SST_2 |
|----------------------------|--------|---------|
| Calidad de la Escorrentía | kg | kg |
| ***** | ----- | ----- |
| Acumulación Inicial | 3.800 | 3.800 |
| Acumulación en Sup | 0.000 | 0.000 |
| Sedimentación | 64.600 | 712.758 |
| Eliminación Limpieza | 0.000 | 0.000 |
| Elim. Buenas Prácticas ... | 0.000 | 0.000 |
| Escorrentía Superficial .. | 69.342 | 742.469 |
| Acumulación Restante | 2.628 | 13.513 |
| % Error Continuidad | -5.219 | -5.502 |

Fuente: Autor.

Anexo 17. Cálculo de la masa de arrastre por medio de la simulación del escenario sucio con baja lluvia.

| ***** | SST | SST_2 |
|----------------------------|-------|--------|
| Calidad de la Escorrentía | kg | kg |
| ***** | ----- | ----- |
| Acumulación Inicial | 3.800 | 3.800 |
| Acumulación en Sup | 0.118 | 0.118 |
| Sedimentación | 8.740 | 96.432 |
| Eliminación Limpieza | 0.000 | 0.000 |
| Elim. Buenas Prácticas ... | 0.000 | 0.000 |
| Escorrentía Superficial .. | 4.531 | 48.571 |
| Acumulación Restante | 7.512 | 45.264 |
| % Error Continuidad | 4.859 | 6.491 |

Fuente: Autor.