



**PRIORIZACIÓN DE OPORTUNIDADES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA
ENFOCADAS EN INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO
PRODUCTIVO DE LA GRANJA PORCÍCOLA “AGROCACHACA” EN LA
VEREDA SAN JOSÉ DE NOCAIMA, CUNDINAMARCA PARA MEJORAR SU
DESEMPEÑO AMBIENTAL.**

**Natalia Sabogal Romero
Fredy Sebastián Vargas Guzmán**

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 16 de octubre del 2019

Priorización de oportunidades de producción más limpia enfocada en incrementar la eficiencia del proceso productivo de la granja “Agrocachaca” en la vereda San José de Nocaima, Cundinamarca para mejorar su desempeño ambiental

Sebastián Vargas Guzmán
Natalia Sabogal Romero

PRIORIZACIÓN DE OPORTUNIDADES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA DE LA GRANJA PORCÍCOLA “AGROCACHACA” EN LA VEREDA SAN JOSÉ DE NOCAIMA, CUNDINAMARCA.

**Natalia Sabogal Romero
Fredy Sebastián Vargas Guzmán**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Jhon Fredy Arias Duque

Línea de Investigación:
Gestión integral sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

2019

Priorización de oportunidades de producción más limpia enfocada en incrementar la eficiencia del proceso productivo de la granja “Agrocachaca” en la vereda San José de Nocaima, Cundinamarca para mejorar su desempeño ambiental

Sebastián Vargas Guzmán
Natalia Sabogal Romero

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Tabla de contenido

1. Resumen	11
2. Abstract	11
3. Introducción	12
4. Planteamiento del problema.	13
5. Justificación	14
6. Objetivos general y específicos	15
7. Marcos de referencia	16
7.1. Estado de arte.....	16
7.1.1 Internacional.	16
7.1.1.1. Environmental life-cycle assessment in production of pork products.....	16
7.1.1.2. Cleaner production Myora Farm	17
7.1.1.3. Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU.	18
7.1.1.4. Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura.	18
7.1.1.5. Tecnologías alternativas para contrarrestar la problemática económica y social que generan los residuos porcícolas	19
7.1.2 Nacional.....	20
7.1.2.1. Guía Ambiental para el subsector porcícola.....	20
7.1.2.2. Creando riqueza sostenible en el sector porcícola mediante la tecnología y la innovación	21
7.1.2.3. Recuperación parcial del concentrado de la porquinaza, una alternativa ambiental y económica.	21
7.1.2.4. Analysis of Good Production Practices in pig farms on the departament of Tolima and risk factors associated with presence of Salmonella spp.....	22
7.1.2.5. Biodigestor de doble propósito- Producción e investigación- para residuos de granja agrícola, Bucaramanga.	22
7.1.2.6. Propuesta para un sistema de producción porcícola Ibagué	23
7.1.3. Regional.....	24
7.1.3.1. Alternativas ambientales para pequeñas explotaciones porcícolas en predios rurales de los municipios de Pacho y La Palma, Cundinamarca	24

7.1.3.2. Diseño de un sistema de costos por procesos en la granja porcícola el refugio en Alban -Cundinamarca	25
7.2 Marco conceptual	26
7.2.1 Análisis de ciclo de vida.....	26
7.2.2. Buenas prácticas de manufactura (BPM).	26
7.2.3. Buenas prácticas preventivas.....	26
7.2.4. Cerdos de levante.....	27
7.2.5. Cerdos de engorde.	27
7.2.6. Disposición final de residuos.....	27
7.2.7. Ecoeficiencia	27
7.2.8. Eco-balance.	27
7.2.9. Hembras gestantes	27
7.2.10. Hembras lactantes.....	27
7.2.11. Hembras multíparas.....	28
7.2.12. Lechones destetados	28
7.2.13. Lechones lactantes.....	28
7.2.14. Lechones neonatos.....	28
7.2.15. Machos reproductores.....	28
7.2.16. Parideras	28
7.2.17. Producción porcina intensiva.....	28
7.2.18. Oportunidades de producción más limpia.	28
7.2.19. Residuos pecuarios.	28
7.3 Marco Teórico	29
7.3.1 Política nacional de producción y consumo sostenible	29
7.3.2. Producción Más Limpia (PML).....	30
7.3.2.1 Etapas de la producción más limpia	31
7.3.2.2 Beneficios Producción Más Limpia	32
7.3.2.3 Proceso de crianza y engorde de porcinos.....	33
7.3.2.3 Residuos sólidos pecuarios.....	34
7.4 Marco normativo	35
7.5 Marco geográfico.....	43
7.5.1 Localización.....	43
7.5.2 Socio demografía de Nocaima.....	45

7.5.3 Geología y Geomorfología.....	46
7.5.4 Hidrología.....	47
7.5.5 Flora y Fauna.....	47
7.5.6 Producción industrial en la zona (Economía).....	48
7.6 Marco institucional.....	50
8. Marco metodológico	52
8.1 Enfoque.....	52
8.2 Alcance.....	54
8.3 Unidad de análisis.....	54
8.4 Método.....	54
8.5 . Informantes y población.....	54
8.6. Dimensiones, variables e indicadores.....	55
8.7 Fases de la investigación.....	56
8.8 Actividades, técnicas e instrumentos.....	60
9. Plan de Trabajo	61
9.1 Cronograma.....	61
9.2 Presupuesto.....	61
10. Resultados, Análisis y Discusión.	61
10.1 Objetivo 1: Diagnóstico y caracterización de la granja porcícola “Agrocachaca” en el municipio de Nocaima-Cundinamarca.....	61
10.1.1 Identificación de entradas y salidas en el proceso productivo de la granja Agrocachaca.....	65
10.1.2 Consumo de energía eléctrica.....	67
10.1.3 Consumo de agua por etapas.....	68
10.1.4 Consumo de materia prima total.....	71
10.1.5 Generación de residuos peligrosos.....	74
10.1.6 Generación de estiércol.....	76
10.2 Objetivo 2: Identificar y priorizar las oportunidades de producción más limpia que abordan los puntos críticos identificados.....	81
10.2.1. Complementar el alimento de los animales con porquinaza.....	81
10.2.2. Instalación de contador de agua por etapa.....	81
10.2.3. Recolección en seco de los residuos pecuarios.....	82
10.2.4. Generación de energía a través de biodigestores anaeróbicos.....	83

10.2.5. Transformación de residuos pecuarios a través de Lombricompost.	84
10.2.7. Encadenamiento productivo con un trapiche vecino para el uso de camas de bagazo para la etapa de ceba.....	86
10.2.8 Análisis de las oportunidades de Producción Más Limpia.....	86
10.3 Objetivo 3. Diseñar propuestas con las oportunidades de producción más limpia priorizadas para la granja porcícola.....	88
10.3.1 Lombricompost.....	89
10.3.1.1 Zona de almacenamiento	90
10.3.1.2 Diseño del lombricompost.....	91
10.3.1.3 Camas de lombricompost	93
10.3.1.4 Humus.....	94
10.3.1.5 Costos	94
10.3.1.6 Resumen de beneficios	95
10.3.2 Funcionamiento de los biodigestores	96
10.3.2.1 Dimensiones para la construcción del biodigestor propuesto.	99
10.3.2.1.1 Estiércol diario.....	100
10.3.2.1.2 Mezcla con agua	100
10.3.2.1.3 Carga diaria al biodigestor.....	100
10.3.2.1.4 Relación Temperatura y Tiempo de Retención (TR)	101
10.3.2.1.6. Dimensiones de la zanja	101
10.3.2.2 Componentes del biodigestor tubular propuesto	103
10.3.2.3 Materiales	106
10.3.2.4 Beneficios ambientales.	107
10.3.2.5 Beneficios económicos	107
10.3.2.5.1 Costos totales.....	108
10.3.2.5.2 Valoración económica	108
10.3.2.5.2 Resumen del biodigestor	109
11. Conclusiones.....	110
12. Recomendaciones.....	112
14. Bibliografía.....	113
14.1. Referencias bibliográficas	119
15. Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

Listado de figuras

Figura 1. Etapas de un proyecto en Producción Más Limpia.....	31
Figura 2. Mapa ubicación departamento de Cundinamarca	44
Figura 3. Mapa ubicación municipio de Nocaima-Cundinamarca	45
Figura 4. Estructura de la población por sexo y edad.....	46
Figura 5. Mapa geológico de Nocaima.....	46
Figura 6. Tipo de fauna en el municipio de Nocaima	48
Figura 7. Imagen satelital de la granja "Agrocachaca" en la vereda San José, Nocaima- Cundinamarca	49
Figura 8. Registro fotografico de la granja "Agrocachaca" en la vereda SAn José, Nocaima-Cundinamarca	50
Figura 9. Enfoque del proyecto de investigación.	53
Figura 10. Fases de la investigación del proyecto de investigación.....	56
Figura 11. Distancia desde la vía principal Nocaima-Nimaima a la granja Agrocachaca	62
Figura 12. Área de las etapas del proceso productivo de la granja "Agrocachaca" ...	63
Figura 13. Organigrama de la granja "Agrocachaca"	64
Figura 14. Cantidad de ejemplares por etapa reproductiva (mensual).	66
Figura 15. Diagrama de entradas, procesos y salidas del proceso productivo de la granja "Agrocachaca".	67
Figura 16. <i>Consumo de agua total (bebida y limpieza) de las etapas productivas en m³/mes.....</i>	69
Figura 17. Registro fotográfico de la etapa de ceba.	71
Figura 18. Consumo de alimento Kg*cerdo/mes de las etapas productivas.	73
Figura 19. Cantidad de residuos peligrosos generados en Kg*cerdo/mes	75
Figura 20. Cantidad de excretas generadas en Kg/mes	77
Figura 21. Ecomapa de las etapas del proceso productivo de la granja "Agrocachaca"	79

Figura 22. Ecobalance en general del proceso productivo de la granja "Agrocachaca"	80
Figura 23. Características de la lombriz californiana roja.....	90
Figura 24. Medidas de la cama.....	91
Figura 25. Medidas entre camas.....	92
Figura 26. Diagrama básico del ciclo general de la biodigestion.....	96
Figura 27. Características del biogás.....	97
Figura 28. Aplicaciones del biogás y biofertilizante.....	99
Figura 29. Dimensión del biodigestor.....	103
Figura 30. Ejemplo de biodigestor tubular.....	104
Figura 31. Válvula de alivio.....	105
Figura 32. Presentación gráfica del proceso de la entrada y salida del biodigestor en la granja "Agrocachaca"	106
Figura 33. Beneficios económicos y ecológicos del biodigestor.....	110

Listado de tablas

Tabla 1. Fases del proceso de crianza y engorde de porcinos	33
Tabla 2. Normatividad legal internacional referente a temas de desarrollo sostenible	35
Tabla 3. Normatividad legal nacional referente al sector porcícola	37
Tabla 4. Entidades competentes en jurisdicción con el sector porcícola.....	50
Tabla 5. Dimensiones, variables, indicadores y unidades de medida del proyecto de investigación.....	55
Tabla 6. Criterios para el análisis multivariable	59
Tabla 7. Actividades, técnicas, instrumentos y resultados esperados por cada objetivo planteado.....	60
Tabla 8. Presupuesto del proyecto de investigación.....	61
Tabla 9. Requisitos legales de la granja Agrocachaca.....	64
Tabla 10. Consumo de agua para beber.....	68

Tabla 11. Datos consumo de agua para limpieza	68
Tabla 12. Consumo de agua por etapas del proceso productivo.....	69
Tabla 13. Consumo diario de alimento por etapa.	72
Tabla 14. Cantidad de alimento requerido por etapa.	72
Tabla 15. Generación de residuos peligrosos por etapa del proceso productivo.	74
Tabla 16. Generación de estiércol por animal (diario).	76
Tabla 17. Generación de estiércol en la granja "Agrocachaca"	76
Tabla 18. Resumen de los consumos y generaciones por etapa productiva.	78
Tabla 19. Ventajas y desventajas de la implementación de un contador de agua.	82
Tabla 20. Ventajas y desventajas de la implementación de un biodigestor anaerobio.	83
Tabla 21. Ventajas y desventajas de la implementación del lombricompostaje	85
Tabla 22. Puntaje establecido para el análisis multivariable de las estrategias.	86
Tabla 23. Matriz A para la evaluación de alternativas.	87
Tabla 24. Matriz B del análisis de multivariabes	87
Tabla 25. Matriz C del análisis de multivariabes.	88
Tabla 26. Propiedades químicas y físicas del humus de lombriz.	89
Tabla 27. Medidas para el diseño del lombricompost.	91
Tabla 28. Cantidad de lombrices en el proceso.	92
Tabla 29. Producción de humus por cama y valor.....	93
Tabla 30. Costos	94
Tabla 31. Beneficio esperado	95
Tabla 32. Resumen del lombricompost	95
Tabla 33. Factores determinantes para el proceso de digestión anaerobia en un biodigestor	97
Tabla 34. Generación de excretas diarias.	100
Tabla 35. Dimensiones del biodigestor tubular.	102
Tabla 36. Parámetros para el diseño del biodigestor tubular para la granja Agrocachaca.	103
Tabla 37. Materiales y cantidad necesaria para la instalación de un biodigestor tubular.....	106
Tabla 38. Datos a considerar para los costos.....	108
Tabla 39. Costos totales iniciales	108
Tabla 40. Beneficio esperado	108
Tabla 41. Resumen del biodigestor	109

1. Resumen

El presente trabajo de investigación propone la identificación y priorización de oportunidades y/o alternativas de Producción Más Limpia para la granja porcícola “Agrocachaca” en la vereda San José del municipio de Nocaima-Cundinamarca. Para el desarrollo del estudio fue necesario realizar una metodología inductiva basada principalmente en un diagnóstico ambiental de la granja, dividido en tres partes iniciando por la etapa de reproducción, seguido por la etapa de precebo y finalizando en la etapa de ceba. Este trabajo se fundamenta en la revisión del proceso productivo y la determinación de la relación directa e indirecta con el medio ambiente con el fin de identificar y conocer que puntos críticos están afectando el entorno ecológico. Esto permitió identificar las posibilidades de mejoramiento ambiental de la granja a partir de la Producción Más Limpia.

A partir de dicha evaluación empresarial y de la determinación de los puntos críticos, se logró seleccionar y proponer alternativas de Producción Más Limpia para la granja tales como el uso de lombricompostaje y la generación de energía eléctrica a partir de un biodigestor anaeróbico tubular para darle un manejo, tratamiento y conversión eficaz de 94.882 kg/mes de porquinaza de la granja agrocachaca. Por último, al analizar y comparar los resultados obtenidos, en cuanto al beneficio otorgado, el tiempo de retorno y el costo por parte de ambos se concluyó que las dos propuestas presentan un porcentaje de viabilidad alto.

Palabras clave: Producción Más Limpia, porcicultura, residuos pecuarios, ecoeficiencia.

2. Abstract

This research paper proposes the identification and prioritization of Cleaner Production opportunities and / or alternatives for the “Agrocachaca” pig farm in the San José village of the municipality of Nocaima-Cundinamarca. For the development of the study it was necessary to perform an inductive methodology based mainly on an environmental diagnosis of the farm, divided into three parts starting with the reproduction stage, followed by the precebo stage and ending in the fattening stage. This work is based on the review of the production process and the determination of the direct and indirect relationship with the environment in order to identify and know the critical points that are affecting the ecological environment. This identifies the possibilities of environmental improvement of the farm from the Cleaner Production.

From this business evaluation and the determination of critical points, select and propose Cleaner Production alternatives for the farm tales such as the use of vermicomposting and the generation of electrical energy from a tubular anaerobic biodigester to give it a handle, effective treatment and conversion of 94,882 kg / month of porquinaza of the agrocachaca farm. Finally, analyzing and comparing the results obtained, in terms of the benefit granted, the return time and the cost by both of them, it was concluded that the two proposals have a high viability percentage

Keywords: Cleaner Production, pig farming, livestock waste, eco-efficiency.

3. Introducción

La cría de ganado porcino en Nocaima viene en continuo aumento en los últimos años mejorando las oportunidades nutricionales para la población, por lo que ocasiona un aumento exponencial en la demanda de este alimento en el sector, causando que pequeñas o medianas fincas porcícolas aceleren sus procesos productivos con el fin de satisfacer dicha demanda a nivel local, regional o nacional.

Este crecimiento acelerado, trae consigo un bajo control de cada etapa del proceso y por consiguiente se genere gran cantidad de residuos pecuarios y/o subproductos que se disponen al aire libre generalmente sin ningún tratamiento, en rellenos sanitarios o en fuentes de agua cercanas, afectando al suelo, al recurso hídrico y al mismo entorno; principalmente por la falta de información y capacitación de los dueños y/o trabajadores acerca del impacto que generan las prácticas inadecuadas, como del personal encargado en la recolección, transporte y disposición final de la porquinaza proveniente de la crianza y engorde de los cerdos.

Esto representa una de las mayores problemáticas actualmente en el municipio de Nocaima puesto que no se tienen medidas preventivas, mitigables o correctivas para el impacto que genera esta actividad productiva en el ambiente, en la población aledaña y en los trabajadores vinculados. Por lo tanto, los porcicultores al ver esta cantidad de factores que están afectando su actividad económica están obligados a ser cada vez más eficientes en el manejo de los recursos naturales para evitar dichos inconvenientes.

Las problemáticas mencionadas anteriormente se pueden abordar desde la adopción de una estrategia ambiental preventiva e integrada, como lo es la Producción Más Limpia (PML), aplicada específicamente a las etapas del proceso, con el fin de aumentar la eficiencia total y reducir los riesgos sanitarios a la población y al ambiente, tomando como principio la unión de una o varias estrategias basadas en el uso eficiente de la materia prima, el agua, la energía y así mismo de la reducción de los impactos ambientales generados por el mal manejo de la porquinaza.

El presente trabajo tiene como finalidad optimizar el proceso productivo a través de la aplicación de la Producción Más Limpia en la granja porcícola “Agrocachaca” ubicada en la vereda San José de Nocaima, para realizar un diagnóstico ambiental del proceso productivo, generar y seleccionar oportunidades y/o alternativas para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de los subproductos que directamente afecte al ambiente para que en el futuro se refleje la eficiencia en la producción, avances tecnológicos y dándole un valor agregado a la granja a nivel local y nacional.

4. Planteamiento del problema.

A nivel global en el tema ambiental las granjas porcinas han generado afectaciones en el recurso agua, aire y suelo debido a que las excretas al ser dispuestas sin ningún control ocasionan grandes inconvenientes a la capa de ozono por la producción de óxido nitroso N_2O , todo ello produce un aumento en el calentamiento global debido a la alta densidad de animales de granja en procesos de crianza y producción de tipo intensivo. Países como Holanda, Bélgica y Dinamarca son los que más se ven afectados ya que sus espacios son muy limitados con una alta densidad de animales, específicamente los cerdos (Granada, 2009).

En Colombia las primeras granjas porcinas con criterio empresarial se establecen hacia 1950, pero solo a partir de la década del 70 y comienzos del 80, es cuando se empieza a desarrollar esta industria en Colombia donde se establecen granjas de gran tamaño, las cuales manejan razas de animales importados y se da un gran desarrollo de esta industria en el departamento de Antioquia (Pérez, 2008). Actualmente en el país tiene una producción alrededor de 2,8 billones al año de porcinos donde se registra un consumo de aproximadamente de 9,3 kilos por persona en el 2017 (Agroindustria, 2018).

Gracias a la gran demanda de este sector productivo, se ha venido presentando una gran cantidad de impactos al ambiente debido al uso incontrolado de agua para la limpieza de los desechos porcinos. Otro factor para tener en cuenta es el estado fisiológico de los animales y el tipo de alimentación utilizada, ya que estos generan variación en la contaminación de este sector (Machado, 2012).

Los principales contaminantes de esta actividad son generados por el proceso natural del tracto digestivo de los cerdos y a su vez de las deyecciones tales como orina, heces y residuos de los alimentos causando grandes afectaciones en el agua superficial y en el subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas (Méndez, 2009) deteriorando la calidad del aire por la generación de gases tóxicos, principalmente dióxido de carbono con aproximadamente 819 giga toneladas de CO_2 -eq que representa el 11% del total de emisiones (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018), el amoníaco (NH_3) según su frase productiva genera 0,40-4,2 kg animal/año en cerdas gestantes, 0,80 - 0,90 kg animal /año en cerdas lactantes y 0,06 – 0,8 kg animal/año en cerdos de transición, de igual manera en metano (CH_4) se genera 21,1 kg animal/año en la fase de cerdas gestantes y 3,9 kg animal/año en cerdos de transición (Universidad

de Lleida, 2014), afectando en gran medida a los trabajadores de la granja, a los propios porcinos y al entorno incluyendo a las poblaciones vecinas (Robinson, 2008). A su vez se genera contaminación por metales pesados, sobre todo cobre y zinc, que el cerdo sólo absorbe en un 5 y 15%, excretando el resto. (Scialabba, 2009) y de igual manera contaminación microbiológica en la aplicación de excretas a terrenos agrícolas con una gran pérdida de biodiversidad por erosión genética (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014).

Según la Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) se consideran los cerdos agentes portadores de enfermedades, ya que viven la mayor de su tiempo junto a sus propios excrementos y esto acrecienta el potencial de transmitir enfermedades tales como la teniasis y cisticercosis, la triquinosis, la leptospirosis, la brucelosis y la hidatidosis, entre otras (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

En el municipio de Nocaima respecto a todas las actividades de la comunidad, el 11% representa la actividad pecuaria (ganadería y porcicultura) (Pinzón, 2005) siendo una de las más antiguas de la producción animal, y se ha sostenido hasta la actualidad como una de las principales fuentes de abastecimiento alimenticio para la comunidad. Alrededor del municipio existen diferentes granjas que basan su economía en este tipo de actividades; específicamente en la granja “Agrocachaca” caracterizada por ser una empresa en constante crecimiento a nivel nacional en porcicultura y en la medida que la granja ha aumentado su producción han surgido algunos inconvenientes con el manejo y control de los residuos generados.

Estos residuos pueden ser de tipo orgánico (estiércol sólido o fresco y animales muertos) o inorgánicos (jeringas, envases de biológicos, frascos, empaques, etc.). Pero sin lugar a duda uno de los residuos que genera mayor controversia es la excreta porcina puesto que por cada 70 kg de peso vivo se produce 4 a 5 kg de excrementos, es decir a nivel general, se generan normalmente en una granja 1,36 kg de heces y 4,73 litros de orina por día en todo el ciclo cerrado desde el destete hasta el sacrificio (Universo Porcino, 2013) debido al volumen generado ya sus características fisicoquímicas que dificultan su manejo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2002).

5. Justificación

El mal monitoreo del proceso productivo de una empresa puede dar paso a la generación de muchos contaminantes al ambiente como lo son residuos sólidos, gases contaminantes, obstrucción de los cuerpos de agua, compactación del suelo, etc. Unas de las razones por las cuales se presentan estos problemas es a causa de la falta de información del porcicultor en la generación, tratamiento y disposición de los residuos generados diariamente en la finca y a su vez la ausencia de control en el consumo de agua utilizada en el proceso que se termina convirtiendo en vertimientos a las fuentes hídricas, por lo cual se abre la posibilidad de adoptar medidas en diversos planos con el fin de aprovechar las oportunidades de mejora que este presenta.

De igual manera en la actualidad se está presentando mayor competitividad de las empresas y por ello surge la necesidad de optimizar sus procesos para lograr un desarrollo sostenible y poder tener un beneficio tanto ecológico como económico.

En la granja Agrocachaca ubicada en la vereda San José del municipio de Cundinamarca, desarrolla una actividad económica basada en la cría y engorde de porcinos, de alguna manera se han preocupado por cumplir con los requerimientos legales en cuanto al tema sanitario; sin embargo, se han identificado oportunidades de mejora relacionadas a la minimización de la contaminación en su proceso productivo.

Por ello a partir de un diagnóstico preliminar se busca principalmente identificar y valorar el estado actual de la granja “Agrocachaca” y tener un concepto del desempeño ambiental que se está presentando con el fin de tomar decisiones las alternativas de producción más limpia más apropiadas que permitan reducir costos en la producción, un aumento en la productividad y aminorar los impactos ambientales que se estén generando en el ambiente junto a la prevención, minimización y mitigación de los riesgos sanitarios tanto en el personal de trabajo como en los animales de la finca.

6. Objetivos general y específicos

Objetivo General

Priorizar oportunidades de producción más limpia en la granja “Agrocachaca” en el municipio de Nocaima-Cundinamarca.

Objetivos Específicos

1. Realizar un diagnóstico y caracterización de la granja porcícola “Agrocachaca” en el municipio de Nocaima-Cundinamarca para definir puntos críticos.
2. Identificar y priorizar las oportunidades de producción más limpia que abordan los puntos críticos identificados.
3. Diseñar propuestas de mejora con las oportunidades de producción más limpia priorizadas para la granja porcícola.

7. Marcos de referencia

7.1. Estado de arte.

El respectivo estado del arte se realizó a través de la revisión bibliográfica de diferentes documentos tales como: Artículos científicos, tesis, informes, revistas y repositorios de diferentes universidades nacionales como internacionales, con el fin de tener una línea base de los últimos años sobre la investigación de producción más limpia que se han desarrollado en el sector agropecuario específicamente en el sector porcicultor. Además, se tuvieron en cuenta las guías desarrolladas por el Fondo Nacional de Porcicultora de Colombia PORKOLOMBIA que permite conocer todos los aspectos tanto sanitarios como ambientales de este sector.

Se presenta el estado del arte partiendo de referentes internacionales, regionales, nacionales y específicos de la región estudiada.

7.1.1 Internacional.

7.1.1.1. Environmental life-cycle assessment in production of pork products. El documento evalúa la afectación ambiental de la crianza y producción de productos porcinos en Serbia. Tiene el objetivo de identificar y calcular el ciclo de vida del proceso productivo con el fin de cuantificar el ambiente desde la entrada y salida en cuatro subsistemas: Granja de cerdos donde se incluye todas las actividades en la granja (alimentación de lechones, lechones destetados y engorde), el matadero que abarca la matanza desde el aturdimiento, sangrado, depilado y evisceración), la planta de procesamiento que involucra todas las actividades de preparación, procesamiento, manejo de residuos y almacenamiento de productos y por último el tratamiento de residuos y aguas residuales realizado a través de una laguna anaeróbica descubierta drenada dos veces al año. Para ello se realizó una encuesta con los datos del inventario de ciclo de vida, donde se evalúa 6 impactos ambientales: Potencial de calentamiento global, potencial de

acidificación, potencial de eutrofización, agotamiento de la capa ozono, smog fotoquímico y toxicidad humana (Djekic, 2015).

Dentro de los resultados se encuentra que el potencial de calentamiento global asociado con la producción de 1 kg de productos porcinos es de 9.04 kg CO₂eq, el potencial de ácido dentro de la producción es de 9.874×10^{-3} kg SO₂eq y el potencial de eutrofización es de 0.0151 kg PO₄eq. Por lo anterior, se determinó que el subsistema 1 y 4 son los que más generan impacto en el medio ambiente, por la alimentación y el estiércol en la granja; a su vez los principales procesos que contribuyen a los GEI es la producción de alimento, fermentación entera por parte de la digestión de los animales, manejo de estiércol y uso de energía en granjas. Además, la fuente principal de acidificación es la emisión de amoníaco mediante la manipulación y liberación del estiércol, se evidencia que los sistemas de manejo de porquinaza líquida emite menos concentración de amoníaco que el manejo de porquinaza sólido. El principal factor que contribuye a la eutrofización es la lixiviación de nitratos y los subsistemas 3 y 2 dominan el impacto de agotamiento de capa de ozono por el uso de refrigerantes en el proceso de enfriamiento y congelación de la carne de cerdo (Djekic, 2015).

En resumen, se identificó en el estudio que la producción y manejo del estiércol son los principales factores de impacto ambiental y que se deben proponer estrategias de manejo de estiércol, alimentación, ahorro de agua, energía y tecnologías limpias (Djekic, 2015).

7.1.1.2. Cleaner production Myora Farm. Este caso estudio realizado en Australia, fue en una empresa llamada Myora Farm dedicada a la lechonería intensiva de 1100 cerdas donde se produce 450 cerdos para sacrificios cada semana. Dentro del manejo de estiércol se presentan inconsistencias como: Contenido de humedad de los sólidos incoexistentes, variando entre un 50% y 95%, alto insumo de mano de obra para la limpieza de las instalaciones de cribado, uso de aserrín para recolección de residuos, proceso de compostaje lento por el contenido de humedad más alto y menor participación de los empleados. Por lo anterior la empresa decidió implementar un separador de tornillo de presión para disminuir la cantidad de humedad a un nivel mucho más bajo que permite manejar más fácil el componente sólido y a su vez genera un ahorro en tiempo y costo, de mantenimiento. Se evidencia que se ha alcanzado un ahorro de 40.000 por año con un periodo de recuperación de la inversión de 10 meses (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, s.f).

Entre los beneficios que se encuentran con la instalación de la nueva tecnología es que ha disminuido en un 95% el tiempo de mano de obra para la limpieza y mantenimiento del cribado, el contenido de humedad se mantiene constante en un 50% y los desbordamientos no se producen durante el tratamiento. En la parte económica, se presenta un ahorro en la reducción de mano de obra de

21,000 dólares, aumento de la productividad del proceso de compostaje de 10,000 dólares y ahorro por no usar aserrín de 9000 dólares (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, s.f).

7.1.1.3. Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU. Este documento da una visión de la industria ganadera en Europa ante los grandes impactos sobre los recursos naturales y la calidad del medio ambiente. Al investigar todas las fases del proceso productivo y sus salidas derivadas hacia la esfera ecológica, se muestran las diferentes alternativas para el ahorro de energía y específicamente de los GEI puesto que la crianza y engorde de cerdo posee un gran potencial de mejora en diferentes aspectos como: manejo y uso de alimentos, manejo de estiércol y utilización del estiércol. Dentro de estas medidas de mejora la que mayor efecto tiene en pro del ambiente es la utilización de estiércol para la producción de energía, pero a su vez va de la mano con la disminución de la cantidad de comida que se le proporciona al cerdo puesto que es una medida preventiva ante este fenómeno (Nguyen, 2010).

Se evidencia como resultado final que el unir o implementar algunas de estas medidas mencionadas anteriormente ofrece un ahorro de 61% en el uso de energía fósil y una disminución de 49% en las emisiones de GEI (Nguyen, 2010).

7.1.1.4. Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. El estudio describe el impacto ambiental de la actividad relacionada a la crianza intensiva de cerdos en México. Este trabajo toma como línea base del problema el incremento de la demanda de carne a nivel internacional y el manejo fácil de crianza de animal, que ha generado que la actividad porcina aumente en gran escala constituyéndose en una fuente importante de divisas para los países que practican este tipo de actividad económica. Pero surgen problemas en diversas esferas ambientales debido al mal manejo de los residuos sólidos, puesto que se acumulan sin ningún tratamiento posterior y representan una fuente importante de contaminación hídrica al ser vertidos en aguas superficiales y al generar emisiones atmosféricas tales como el amoníaco y el ácido sulfhídrico, característico de un foco potencial de infección. Además, destaca que esta actividad no solo implica un deterioro en la parte ambiental, sino que al revisar el proceso productivo se presentan fugas de energía y nutrientes, lo que representa un desaprovechamiento de recursos y/o materias primas con incidencias económicas (Cervantes, 2007).

La investigación desarrollada en Sonora, México presenta como principal alternativa la digestión anaerobia, la cual consiste en una serie de reacciones en ausencia de oxígeno, que permiten la degradación de la materia orgánica hasta obtener metano y dióxido de carbono. Por lo tanto, se desarrolló un balance de los productos que podrían generarse mediante el tratamiento y disposición adecuada de los efluentes en la granja al aplicar esta alternativa (Cervantes, 2007).

Las conclusiones más relevantes indican que la aplicación de este proceso permite tener una eficiencia en la eliminación de materia orgánica, nitrógeno y fosforo en un 90%, la generación de biogás que es utilizado para iluminación, calefacción o como reemplazo de gasolina o diésel y la calidad del afluente permite el reusó del agua tratada para otros fines en la granja porcina (Cervantes, 2007).

7.1.1.5. Tecnologías alternativas para contrarrestar la problemática económica y social que generan los residuos porcícolas. En México diferentes centros de investigación, las organizaciones de apoyo a la transferencia de tecnología y los propios productores del sector Porcícola en Jalisco, Michoacán, Guanajuato y Nayarit han generado diversas alternativas de manejo de residuos a través de tecnologías que permite tener beneficios en el punto de vista económico, ambiental y social al tener una convivencia armónica entre productores y la población aledaña. Los autores señalan que las opciones adoptadas por cada granja deben ser adecuadas según su factibilidad económica, técnica y ambiental por lo que es necesario realizar estudios sobre las prácticas particulares de limpieza, recolección, tratamiento y uso que se lleva a cabo (Universidad Autónoma Chapingo, 2012).

La (Universidad Autónoma Chapingo,2012) establece un modelo para tratamiento de excretas donde se divide en:

1. Tratamiento de excretas sólidas.

En el primer tratamiento las tecnologías implementadas son:

-El composteo a través de un proceso aeróbico de biotransformación a través de la implementación de microorganismos descomponedores y con la ayuda de la energía solar, y se transformaron en material estabilizado a partir de la mezcla de material vegetal y estiércol.

-El vermicompost con el uso de lombrices de tierra para la transformación de desechos orgánicos en tres meses, obteniendo sustancias activas para regular el crecimiento y aumenta la capacidad de retención de humedad, y posteriormente se usa para el cultivo de alimentos orgánicos.

-El ensilado de porquinaza donde se realiza un proceso anaeróbico de excretas porcina a través de la fermentación donde su subproducto es un ingrediente factible de utilizarse en la alimentación animal.

2. Tratamiento de excretas líquidas.

Se construyeron tecnologías como:

-Biodigestor: Se prepara un recinto cerrado donde se producen reacciones anaeróbicas donde se degrada la materia orgánica en un medio acuoso, que dan como resultado biogás.

-Lagunas de oxidación: Se realiza excavaciones de poca profundidad en la cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos y elimina patógenos presentes en la excreta.

Las conclusiones pertinentes a los modelos demostrados es que permiten el aseo adecuado de la explotación, fácil remoción de excretas, consumo de agua mínimo, poco uso de mano de obra, el costo de inversión es remunerado en pocos años, eliminan los focos de infección de patógenos y conservan las propiedades nutritivas y aprovechables de las excretas, todo esto permitiendo que se reduzca la contaminación, dar un valor agregado y reutilización de subproductos, mejorar el proceso productivo en áreas agrícolas y generar ingresos a través del aprovechamiento de los recursos (Universidad Autónoma Chapingo, 2012).

7.1.2 Nacional

7.1.2.1. *Guía Ambiental para el subsector porcícola.* El Ministerio del Medio Ambiente y la Sociedad de Agricultores de Colombia -SAC- crearon esta guía como instrumento para los productores, las autoridades ambientales competentes y comunidades vecinas con el fin de dar a conocer esquemas de producción eficiente, disminución de la afectación al medio ambiente y bajo los lineamientos del desarrollo sostenible. Además de dar a conocer los antecedentes, el marco jurídico también da a conocer la planeación y gestión ambiental del sector a través de alternativas dependiendo el impacto presentado, entre estas se encuentran (Ministerio del Medio Ambiente, 2002):

-Separación de aguas lluvias de aguas superficiales: El agua lluvia que cae en los techos o pasillos no debe entrar a los corrales donde se encuentre porquinaza, por ellos se debe recolectar, conducir y disponer en canaletas o sistemas de desagüe cerrado para que no se mezclen con el excremento.

-Calcular la necesidad diaria de agua en el proceso agrícola, donde se use como máximo 30 litros por cerdos en granjas donde se realizan todas las etapas (cría, precebo, levante y ceba), 35 litros solo para granjas de cría y precebo y 20 litros por cerdo de levante y ceba.

-Espejos de agua: Se construyen en el fondo de los corrales con un ancho de 1m y una profundidad de 8 a 10 cm, donde se llena con agua a una altura de 5 cm y el agua se cambia 2 o 3 días para recoger la porquinaza.

-Cama profunda: Es el uso de infraestructura de segundo uso como bodegas, establos o pabellones de un bajo costo, donde se utilizan productos como tamos, cascarilla de arroz, café o arena. Los galpones más adecuados son de 10 14 metros de ancho.

-Manejo o tratamiento de estiércol a través de tanques (Almacenamiento de aguas residuales), descomposición aerobia heterótrofa (Eliminación de materia orgánica), digestión anaerobia (Producción metano y reducción patógenos), compostaje (Eliminación/estabilización materia orgánica).

La conclusión relevante de la guía es que da a conocer medidas de prevención, control y seguimiento a partir de los diversos impactos en el agua, suelo y aire tanto en la etapa de construcción y funcionamiento del sector porcícola (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

7.1.2.2. Creando riqueza sostenible en el sector porcícola mediante la tecnología y la innovación. La revista PORKCOLOMBIA en la sección de técnicas da a conocer la aplicación de buenas prácticas ambientales y mejores técnicas disponibles, dentro de estas se encuentra la Simbiosis industrial término utilizado para relacionar diferentes empresas y organizaciones en una misma región donde las salidas de un sistema son materia prima para otro sistema o actividad productiva, es decir, compartir residuos o subproductos; esto se puede evidenciar en el proceso productivo de la leche, donde se reduce los costos al introducir el excremento líquido para mejorar el pasto al evitar el uso de fertilizantes (Porkcolombia,2016).

Por ello para poder usar esa herramienta, se propone hacer un análisis tanto de los flujos de materia y energía en el proceso productivo de una granja porcícola a través del Mapa de Valor del Sistema de Ecología Industrial bajo el marco SWIT, con el fin de tener redes empresariales que trabajan de la mano ambiental, social y económica, este diagrama se compone primero por las entradas del sistema y los proveedores y las actividades de transformación mediante el proceso, segundo las actividades de transformación (etapas del proceso productivo) donde se especifique los consumos energéticos y residuos generados y por último la transformación del residuo sólido agrícola (porcinas) y de la mortalidad en compost o biogás que permite la transferencia hasta llegar a un cierre del ciclo de vida de la actividad productiva (Porkcolombia,2016).

La conclusión, en definitiva, es que el sector porcícola puede ser un modelo de economía circular, ya que permite la relación y transferencia de subproductos o las salidas del proceso productivo a otras empresas, permitiendo que no se generen efectos en el medio ambiente como también beneficios económicos para los actores de la simbiosis industrial (Porkcolombia,2016).

7.1.2.3. Recuperación parcial del concentrado de la porquinaza, una alternativa ambiental y económica. La investigación desarrollada en la finca Canaguaros en Huila, Colombia abordó la recuperación de aguas residuales por parte del manejo de 400 porcinos con el fin transformarlo en alimento para bovinos, lo anterior se realizó en el laboratorio de la Universidad Surcolombiana

a través de la separación de fracción sólida de la líquida en un proceso de sedimentación y una prueba de secado con la ayuda de la acción del sol, posteriormente se realizó una caracterización del efluente, determinando pH:6.7, DBO:3250 mg/L, SS: 8750 mg/L,N: 258 mg/L,P: 1020 mg/L, Grasas y aceite:28,2 mg/L (Granada, 2009).

Se pudo evidenciar que el tiempo de sedimentación necesario es de 2 horas y 30 minutos, esto permite dimensionar los tanques sedimentadores de concentrado. Se recuperó aproximadamente 402 g/kg de concentrado, donde hubo una remoción de 13% de DBO, 78% de SS, 75% de G y A (Granada, 2009).

7.1.2.4. Analysis of Good Production Practices in pig farms on the departament of Tolima and risk factors associated with presence of Salmonella spp. Este trabajo se basó en el análisis de la aplicación de Buenas Prácticas de Producción (BPPs) en granjas porcícolas del Departamento del Tolima, teniendo en cuenta lo establecido por organismos nacionales como la Asociación Nacional de Porcicultores (ACP) con el fin de determinar los riesgos de contraer salmonelosis porcina en la granja estudiada (Beltrán, 2012).

La metodología y método utilizado es de tipo exploratorio descriptivo, basándose principalmente en una encuesta epidemiológica en 47 municipios del Departamento de Tolima, respectivamente en 29 granjas pequeñas, medianas y grandes. En cada visita se realizó estas encuestas al veterinario responsable o al dueño de la granja, y se tomaron registros fotográficos al hacer un recorrido de todo el proceso y de las actividades que realiza cada empleado (Beltrán, 2012).

Dentro de los factores de riesgos encontrados relacionados con la prevalencia de Salmonella spp está la legalidad del recurso hídrico, la falta de control de roedores, insectos y aves dado que son reservorios de la bacteria y la mala vigilancia y control de los animales puesto que no cumplen con las normas de bioseguridad dadas por la Resolución 2640 del ICA, puesto que muchos de los reemplazos tienen afecciones o virus que pueden manifestarse después (Beltrán, 2012).

Se pudo evidenciar que en las granjas muestreadas en el Tolima se debe concientizar sobre la tecnificación de los sistemas de producción que incluya medidas sanitarias como vacunas periódicas, antiparasitarios, cuarentena y tener un registro para la identificación de los animales de reemplazo con el fin de saber su origen y poder aumentar la calidad de los animales y así mismo aumenta su competitividad (Beltrán, 2012).

7.1.2.5. Biodigestor de doble propósito- Producción e investigación- para residuos de granja agrícola, Bucaramanga. El presente documento muestra con detalle el diseño y operación de un biodigestor con el fin de procesar los residuos agrícolas de una granja y poder producir biogás para poder coaccionar alimentos de

humanos y animales, también producir abono líquido para los pastos y cultivos de la granja y se destine los subproductos para alimentar peces (Acevedo, 2006).

Para la alimentación del biodigestor se tienen en cuenta: Donde se produce orina y excretas de los cerdos, donde precisamente tiene una corriente de lixiviado, además donde se realiza el lavado que depende de diversas variables como el grado de limpieza después de limpiar y antes, frecuencia del lavado, y la manera de aplicar el agua en el lavado (Acevedo, 2006).

Se considera que en la entrada de cada tubo se cuenta con piletas para principalmente añadir sustancias o nutrientes después del biodigestor, además se puede desviar la corriente para dirigirlo directo a los cultivos para usarlo como fertilizante o como alimento en los estanques de peces (Acevedo, 2006).

Este tipo de biodigestor permite tener un manejo integral de los residuos sólidos y convertirlos en flujos de bienes y servicios con un valor agregado en la parte ambiental y económica (Acevedo, 2006).

7.1.2.6. Propuesta para un sistema de producción porcícola Ibagué. En este documento se considera las BPP como un conjunto de prácticas que permiten que la organización se vuelva más competitiva respecto a la producción pecuaria y tienen un aseguramiento en cuatro aspectos: técnico, social, ambiental y administrativo. Para tener un correcto manejo del sector pecuario se deben realizar cambios o mejoras ya sea en la infraestructura, en el alimento y en la mano de obra (Casas, 2011).

Respecto a la infraestructura, las instalaciones tienen que estar en terrenos con gran altura, secos, en la dirección contraria al viento y disposición de agua a voluntad. Específicamente en Ibagué la construcción debe ser de oriente a occidente por su clima cálido, además deben tener ventilación natural o artificial. En este tipo de explotaciones se deben tener los corrales de la siguiente manera (Casas, 2011):

-Corral reproductor: Área de 10 metros cuadrados.

-Corral para cerdas de gestión: Área de 20 metros cuadrados.

-Corral de parto y lactancia: Área de 15 metros cuadrados. Con aproximadamente 3 corrales.

-Corral de cerdas de reemplazo: Área de 15 metros cuadrados.

-Corral de levante y ceba: Área de 15 metros cuadrados. Con aproximadamente 4 corrales.

-Los corredores: Ancho mínimo de 1,2 metros. Se recomienda que los comederos sean automáticos con el fin de no desperdiciar comida.

Destacan también el tipo de alimento específicamente el de mayor calidad, aunque sea más costoso es el uso de concentrado. Existen otro tipo de suplementos para reducir costos como: Suero de queso, una planta rastrera de buena digestibilidad (Kudzu Tropical), una planta arbustiva (Ramio), jugo de caña y yuca. Normalmente se mezclan en una proporción de 30% suplemento y 70% concentrado para tener un cerdo sano y con una dieta saludable (Casas, 2011).

Además, en una producción porcícola es necesario tener una mano de obra calificada que realice correctamente las responsabilidades asignadas como: Registros e inventario, Inyectología, Conocimiento de la alimentación adecuada respecto la etapa del cerdo, manejo de partos, manejo de limpieza y residuos orgánicos y el traslado o transporte de cerdos (Casas, 2011).

Básicamente el modelo productivo que plantean son 30 compartimientos de gestación para estar 105 días las cerdas, sus características principales son 70 cm de ancho por 2,10 m de largo con un comedero en la cabecera para depositar alimento o agua. Todos los compartimientos tienen un canal de 60 cm para poder drenar los lixiviados generados por el lavado de las excretas u orina. Además, tener 7 jaulas de parideras con pisos en cementos y plástico con una bodega para los lechones. Los machos se encuentran en un corral de 2 metros cuadrados. Todo este ciclo tiene un techo a 3 metros de altura con caballetes para reciclar el aire con el fin de tener una buena ventilación (Casas, 2011).

Se pudo evidenciar que la inversión inicial fue de 73 millones de pesos, y con base a los flujos de caja a los 3 años y 3 meses se podrá ver un equilibrio, pero su utilidad se refleja desde el mes noveno (Casas, 2011).

7.1.3. Regional

7.1.3.1. Alternativas ambientales para pequeñas explotaciones porcícolas en predios rurales de los municipios de Pacho y La Palma, Cundinamarca. El documento realiza principalmente un diagnóstico de las explotaciones porcícolas que se están realizando en estos municipios, evidenciando que se presentan producciones pequeñas con máximo 50 cerdos, con una infraestructura campestre no tecnificada, los comederos son construidos de llantas, no se tiene una separación de las etapas a través de paredes de concreto, pero se tiene un buen mantenimiento y aseo. Además, por cuestiones de costos elevados mezclan la comida concentrada con lavazas, mortalidad avícola y subproductos (Arcila, 2003).

Respecto al aspecto ambiental, la disposición de los desechos generados en la vacunación se hace a campo abierto o a través de incineración no controlada, a su vez que disponen los residuos orgánicos al aire libre o a cualquier cuerpo de

agua cercano. Se abastecen de agua por un nacedero, una quebrada y sin ningún permiso por parte de la autoridad ambiental (Arcila, 2003).

A partir de ello se priorizaron las actividades que más están generando impacto ambiental y se desarrolló diferentes alternativas como:

-Manejo de residuos líquidos: Previamente realizar un barrido y recolección de excretas en seco, después de recolectarlas se puede proseguir a realizar un lombricultivo con una descomposición de 7 días a partir de una fuente vegetal como residuo de cosecha, teniendo en cuenta las siguientes medidas para la cama: 1,2 m a 1,6 m de ancho y la longitud dependiendo el terreno con máximo 20 metros. También un Deep Bedding que requiere muy poca inversión puesto que se esparce el material de cama en el suelo combinado entre bagazo de caña, viruta, cisco de café o cascarilla de arroz lo que permite que no haya ningún vertimiento ni tener que recoger el estiércol. Otra alternativa que proponen es un biodigestor puesto que permite después de 45 días de descomposición generar energía en forma de gas para cocinar y permite utilizarlo como abono o fertilizante en cultivos o como alimento de peces. Las medidas son 2 metros de ancho y 10 de largo para obtener gas 6 horas al día (Arcila, 2003).

-Manejo de contaminación del aire: A través de barreras vivas con especies de buen porte, con gran follaje desde la base, tener en cuenta las especies que recomienda la autoridad ambiental. Estas funcionan como lindero, permite que no haya erosión del uso y una optimización de agua, disminuye la velocidad del viento (Arcila, 2003).

-Protección laboral en el manejo y cuidado de cerdos. Dentro de los elementos de protección personal los más importantes son: Guantes, botas, overoles, petos, tapabocas, gafas y cascos (Arcila, 2003).

Se puede evidenciar que este tipo de alternativas ambientales favorecen al productor porcícola puesto que permite tener un manejo en la parte ambiental de la mano con aspectos del manejo de producción, con el fin de estar enfocado en el aspecto ambiental como económico (Arcila, 2003).

7.1.3.2. Diseño de un sistema de costos por procesos en la granja porcícola el refugio en Alban -Cundinamarca. Esta investigación tuvo como fin determinar los costos de los procesos que se realizan en la Granja Porcícola El Refugio, donde principalmente se hizo una visita a la granja, se elaboró y aplico los instrumentos y herramientas para recolección de datos al personal encargado, se revisó el listado de consumo de alimentos, mano de obra, costos indirectos e inventarios de producción y se tabularon con el fin de interpretar y analizar (Amado, 2006).

La situación actual de los costos de la granja se refleja en las diferentes etapas del proceso (Amado, 2006):

-Etapa de lactancia: Cada lechón consume 0,5 kg de alimento concentrado diario, también se aplica las medicinas como 2 ml de hierro por cerdo, peste porcina 2 ml y leptospira de 2 ml.

-Etapa de precebos: Consumo de alimento “desarrollador” de 2,5 Kg.

-Etapa de levante: Consumo de alimento “iniciador” de 1,25 Kg.

-Etapa de ceba: Consumo de alimento “terminador” de 3 Kg.

A su vez los servicios públicos como el consumo de agua y energía se cargan a la parte administrativa y no se conoce el consumo exacto por etapa. Además, se utilizan como artículos de limpieza sulfato de cobre, vinagre, jabón, formol, cal y amoníaco (Amado, 2006).

Se pudo evidenciar que existen múltiples fallas, tanto a nivel operativo y contable, en la parte operativa los registros que se hacen no aportan para la toma de decisiones respecto a los costos de cada etapa del proceso. Además, como se tiene 6 informes mensuales sobre la alimentación y no permite conocer el consumo de los cerdos por cada etapa y de igual manera los gastos indirectos en aseo y limpieza podrían ser reemplazados por una adecuación mejor de cada etapa y un control de cuanto excremento sale por etapa para realizar un cronograma de limpieza (Amado, 2006).

7.2 Marco conceptual

Con el fin de dar una línea base conceptual que abarca la investigación y la relación con el proceso del sector porcícola se resaltan a continuación los conceptos más importantes del presente documento.

7.2.1 Análisis de ciclo de vida. Es un proceso objetivo que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un periodo, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de periodo y energía como las emisiones al entorno, para reducir el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental (Instituto Superior del Medio Ambiente, 2018).

7.2.2. Buenas prácticas de manufactura (BPM). Recetas que brindan alternativas a procedimientos de trabajos críticos que generan ineficiencia, bajas en la productividad y contaminación en los procesos productivos. Su implementación genera ahorros inmediatos en costos de producción y mejora del desempeño ambiental (Salas, 2012).

7.2.3. Buenas prácticas preventivas. Conjunto de medidas enfocadas a la gestión y organización de la empresa de forma adecuada, y la optimización tanto de

recursos humanos como de materiales, con el fin de disminuir residuos y emisiones al ambiente (Salas, 2012)

7.2.4. *Cerdos de levante*. Son animales con aproximadamente dos meses de edad (66 días: 24 días en lactancia y 42 días en precebo), que pesan alrededor de 22 – 25 kg. En esta etapa alcanzan un peso cerca de 55 kg (Ministerio de Ambiente, 2002).

7.2.5. *Cerdos de engorde*. Son animales que van desde los 55 kg a los 95 – 105 kg de peso de acuerdo al mercado para su beneficio. Desde que nace el lechón hasta que sale al mercado para su beneficio transcurren entre 150 y 165 días (Ministerio de Ambiente, 2002).

7.2.6. *Disposición final de residuos*. Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al medio ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2010).

7.2.7. *Ecoeficiencia*. Conjunto de objetivos orientado a la reducción de la contaminación a lo largo del ciclo de vida de los productos sin descuidar sus cualidades técnicas; lo que significa utilizar menos recursos para mejorar los productos y servicios a la vez que se reducen los impactos negativos ambientales y sociales (Sanes, 2012).

7.2.8. *Eco-balance*. Enumera la suma de todas las entradas de un proceso, expresada en materia prima, insumos, energía, etc. La cual debe ser igual a la suma de las salidas del mismo proceso (subproducto, desperdicios, emisiones, vertimientos, entre otros) (Salas, 2012).

7.2.9. *Hembras gestantes*. Animales que se encuentran en la fase fisiológica del ciclo reproductivo que se inicia con la cubrición y que termina con el parto”. La duración de la gestación dura de 114-115 días de media y suele dividirse en tres periodos: de pre-implantación, embrionario y fetal (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015).

7.2.10. *Hembras lactantes*. Animales que se encuentran en la fase fisiológica del ciclo reproductivo que se inicia con la secreción de leche tras el parto y que termina con el destete de los lechones (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015). La hembra permanece todo el tiempo con la camada hasta su destete. La duración de la lactancia varía de acuerdo con el nivel tecnológico de la granja siendo en promedio de 21 días (rangos entre 18 y 28 días aproximadamente) (Ministerio de Ambiente, 2002).

7.2.11. *Hembras multíparas*. Animales que han parido más de una vez. Si el animal ha tenido numerosos partos (más de cuatro o cinco) se denomina gran multípara (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015).

7.2.12. *Lechones destetados*. Denominación que reciben los lechones al finalizar el proceso del destete una vez que han suprimido totalmente la dieta láctea (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015).

7.2.13. *Lechones lactantes*. Se considera con este nombre a los cerdos desde su nacimiento hasta el destete, periodo en el que se alimentan de la leche materna total o parcialmente y que finalizan en torno a los 21 días de vida. (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015).

7.2.14. *Lechones neonatos*. Se considera con este nombre a los cerdos recién nacidos hasta los 7 días de vida (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015).

7.2.15. *Machos reproductores*. Animales machos no castrados que se utilizan como sementales y que en la especie porcina reciben la denominación de verracos. Pueden realizar la función reproductiva mediante monta natural en las granjas o más comúnmente en los centros de inseminación artificial que distribuyen dosis seminales (Cáceres, 2015).

7.2.16. *Parideras*. Periodo ininterrumpido de tiempo comprendido entre el momento del primer parto de un lote de hembras gestantes y el parto de la última hembra (Cáceres, 2015).

7.2.17. *Producción porcina intensiva*. Aquella forma de explotación donde el ganado se encuentra estabulado, bajo condiciones controladas de luz, temperatura y humedad, y en las que se pretende conseguir elevadas producciones en el menor tiempo. Este tipo de explotación se sustenta en un consumo elevado de insumos y requiere inversiones en instalaciones, tecnología, mano de obra y alimentación, así como el empleo de razas seleccionadas y altamente productivas (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015).

7.2.18. *Oportunidades de producción más limpia*. Son aquellas que se derivan a partir del análisis de un proceso productivo, teniendo en cuenta variables como materia prima, tecnología, subproductos y los procedimientos en cada una de las etapas. Todo lo anterior con el fin de buscar las soluciones más oportunas a nivel ambiental, social y económico; y que se vean recompensadas o con un tiempo de retorno a corto plazo (Arias, 2019).

7.2.19. *Residuos pecuarios*. Son los producidos por los propios animales al usar la biomasa vegetal como alimento. Este tipo de residuo se incluye dentro del

grupo de la biomasa animal, y puede ser originada por un animal vivo o uno muerto. En el primer caso, dan lugar a los estiércoles, purines o camas, y en el segundo caso, a los residuos de matadero (Ambientum, 2018).

7.3 Marco Teórico

7.3.1 Política nacional de producción y consumo sostenible. El aumento continuo de la tasa de crecimiento poblacional en los últimos años hace que se demande cada vez más en productos y servicios y conlleve a que el consumidor requiera satisfacer sus necesidades de manera indiferente en materia ambiental y se base exclusivamente en el precio y la calidad (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Y aunque para el mercado sea bueno ese tipo de consumo, la tasa de uso de recursos naturales está por encima de la capacidad que tiene los ecosistemas para recuperar ese deterioro continuo, a su vez el indiscriminado consumo del agua, energía y la generación de residuos genera un riesgo alto tanto al medio ambiente como a las futuras generaciones (Mendoza, 2018).

Sin embargo, las organizaciones internacionales junto a las cumbres mundiales han reconocido la gravedad de estos problemas y han hecho énfasis en que una de las causas del deterioro ambiental son las tendencias y patrones insostenibles de producción y consumo, por lo cual señalan que para proteger el medio ambiente es necesario hacer un trabajo conjunto por parte de la organizaciones privadas y públicas para cambiar esas tendencias en los países (Mendoza, 2018).

Por lo anterior cabe destacar que el Programa de Naciones Unidas (PNUMA) en el marco del Plan de Implementación de Johannesburgo ha incentivado a los países en el desarrollo y adopción de una política integrada de producción y consumo sostenible, ante estas consideraciones, Colombia en el año 2010 promulgo la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible “Hacia una cultura de consumo sostenible y transformación productiva” que integra la Política Nacional de Producción más Limpia y el Plan Nacional de Mercados como estrategia del Estado Colombiano para que exista una relación entre mejoramiento ambiental y la transformación productiva en las empresas colombianas. Básicamente esta política se orienta a reducir la contaminación, mantener los recursos, aumentar la integridad de bienes y servicios y favorecer el uso sostenible de la biodiversidad (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

La línea base para mejorar el desempeño ambiental, los gobiernos se basan en la promoción de la producción más limpia junto con conceptos asociados como

el de ecoeficiencia, considerando que la contaminación y el uso indiscriminado de recursos naturales son indicadores de ineficiencia en la producción de una organización. Por lo tanto, al usar alternativas preventivas permitirá mejorar el desempeño ambiental y a su vez tendrá un beneficio económico (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

7.3.2. Producción Más Limpia (PML). Según la UNEP, La Producción Más Limpia se define como la aplicación de una estrategia ambiental preventiva e integrada, la cual es aplicada a procesos, productos y servicios, con el único fin de reducir en su mayoría los riesgos a la población y al medio ambiente, se toma como principio reducir a lo más mínimo o, si es posible, eliminar los residuos y emisiones en la fuente y no tratarlos después de que se hayan generado (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2003).

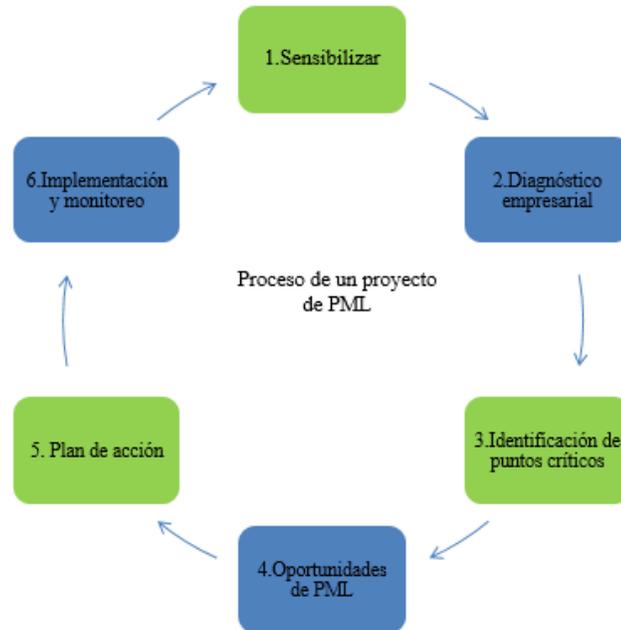
Sin embargo, debido a que la palabra producción se emplea en “producción más limpia”, suele darse otra aplicación de este concepto, refiriéndose a una estrategia que solo puede ser usada para el sector industrial y/o manufacturero siendo válido su uso, en realidad, para otros sectores como el de servicios de salud, conocida como Tecnología Ambientalmente Sana (T.A.S.), en el que los servicios no tienen como objeto la elaboración de un producto, sino satisfacer las necesidades básicas del usuario. Así pues, la producción más limpia en la prestación de servicios de salud está relacionada con los servicios que cada institución prestadora de salud ofrece, donde se pueden incorporar estrategias ambientales para hacer un uso racional de los recursos y prevenir los impactos ambientales que cada procedimiento puede ocasionar. La aplicación de estrategias de P.M.L. contribuye al mejoramiento continuo del servicio, porque obedece a un proceso sistemático y dinámico, donde P.M.L. no se aplica una solo vez. Por el contrario, su aplicación es continua en cada fase del servicio logrando beneficios ambientales y económicos (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2003).

Así pues, se puede definir la Producción Más Limpia como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente. En los procesos de producción, la Producción Más Limpia aborda el ahorro de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidades y toxicidad de desechos y emisiones. En el desarrollo y diseño del producto, la Producción Más Limpia aborda la reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto: desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final. En los servicios, la Producción Más Limpia aborda la incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y entrega de los servicios. Como se mencionó anteriormente, la Producción Más Limpia es la aplicación continua de una estrategia y metodología

preventivas (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2008).

7.3.2.1 Etapas de la producción más limpia

Figura 1. Etapas de un proyecto en Producción Más Limpia.



Fuente: Elaborada por autores

Etapa 1: En esta se asegura el compromiso de la alta gerencia, se constituye un equipo de trabajo de producción más limpia para comprometer a la empresa con un programa de producción más limpia donde se demuestra los beneficios de implementarla.

Etapa 2: Se hace un listado de las etapas del proceso y se identifica las entradas, procesos y salidas. Se construye un diagrama de flujo de los procesos (Varela, S.F).

Etapa 3: Se prioriza los puntos críticos a través de los balances de materiales, agua y energía, se caracterizan los desechos en la fuente, se le asignan costos a los desechos y se identifican las causas de generación de los desechos (Varela, s.f).

Etapa 4: Ya en esta etapa se generan las opciones de producción más limpia viables y se clasifican como “de implementación directa”, “requieren estudio adicional” y “opción rechazada” (Varela, s.f).

Etapa 5: En la etapa 4 se analizan la viabilidad técnica, económica y ambiental de las opciones de producción más limpia y por último se seleccionan dichas opciones para su implantación. Luego de haber seleccionado las opciones más viables se prosigue a elaborar un plan de acción para llevar dichas opciones a la práctica para luego implantarlas (Varela, s.f).

Etapa 6: Ya por último se monitorean y evalúan los resultados, luego de haberlos evaluado se reportan, se establecen nuevas metas para el mejoramiento continuo y se integra nuevamente las actividades realizadas de producción más limpia en el manejo diario de la empresa (Varela, s.f).

7.3.2.2 *Beneficios Producción Más Limpia*

Existen algunos beneficios al realizarse la Producción Más Limpia que no se pueden cuantificar económicamente. Estos beneficios están enfocados en el cumplimiento de las normativas y requisitos ambientales, puesto que mejoran la imagen de la empresa en relación con su responsabilidad social (Elizondo,2012)

Este compromiso adquirido optimiza los ambientes de trabajo, mejora las relaciones con la población al generar menos molestias y disminuye la exposición de los trabajadores a los contaminantes. Todos los beneficios anteriores le facilitan a la organización el acceso a nuevos mercados (Elizondo,2012)

Dentro de los beneficios económicos cuantificables al aplicar las estrategias de Producción Más Limpia en el recurso hídrico de las empresas, se encuentran (Elizondo,2012):

- Aumento de la productividad mediante la mejora de la eficiencia gracias a un mayor conocimiento de los procesos y actividades de la empresa, ya sea por parte de los operarios como de los administrativos, los vendedores, los encargados de relaciones públicas, la gerencia, entre otros.
- Mejor aprovechamiento de la materia prima en el proceso de producción, utilizando lo mínimo necesario sin que se comprometa la calidad del producto.
- Reducción de aguas residuales que requieren un tratamiento posterior y disposición ambientalmente responsable.
- Mejora de la imagen pública mediante la comunicación de los resultados a clientes, contratistas, proveedores, autoridades, inversionistas, vecinos y público en general, lo cual aumenta la posibilidad de negocios y ventas al mantener una comunicación fluida.

- Disminución de riesgos humanos y de contaminación ambiental, lo que implica costos financieros inferiores como, por ejemplo, primas de seguros más bajas.
- Rentabilidad creciente por mejora de productividad del capital, de la mano de obra y de las materias primas utilizadas.
- Reducción de costos gracias a que se realiza un buen manejo energético, uso eficiente de materias primas y del agua, por esta razón, aumento del margen comercial.
- Reducción de costos por optimización del manejo de residuos.
- Se evita o disminuye la inversión en plantas de tratamiento o medidas al final de la línea de producción.
- Diversificación de productos a partir del uso de materiales de desecho (Elizondo,2012).

7.3.2.3 Proceso de crianza y engorde de porcinos.

Tabla 1. Fases del proceso de crianza y engorde de porcinos

<p style="text-align: center;">Fase de cría o lactancia</p>  <p style="text-align: center;">Fuente: (Solla, 2019)</p>	<p>Empieza el ciclo con las cerdas de reemplazo (75 kg de peso), llega a los 136 a 140 kilos de peso para iniciar gestación. Junto a las <i>cerdas en gestación múltiparas</i> que se usan de la segunda gestación en adelante que son productivas hasta 7 partos (Solla, 2019).</p> <p>Se inicia con el nacimiento del lechón (de kilo a kilo y medio de peso aproximadamente), y va hasta la sexta semana de vida, cuando alcance entre los 12 y 15 kg. El final de esta etapa es el destete (Solla, 2019).</p>
<p style="text-align: center;">Precebo</p>  <p style="text-align: center;">Fuente: (Solla, 2019)</p>	<p>Se inicia con el destete del lechón y dura aproximadamente 4 semanas hasta que alcance los 32 kg de peso (Solla, 2019). En esta época el lechón necesita una fuente de calor para evitar enfermedades y facilitar su desarrollo. (Ministerio del Medio Ambiente, 2002)</p>

<p style="text-align: center;">Levante o desarrollo</p>  <p style="text-align: center;">Fuente: (Solla, 2019)</p>	<p>Esta etapa corresponde del día 70 o cuando llegue a los 32 kg de peso, hasta el día 112 de edad de los cerdos a un peso promedio de 65 kg en lotes formados por machos y hembras (Solla, 2019).</p>
<p style="text-align: center;">Ceba, finalización o acabado</p>  <p style="text-align: center;">Fuente: (Cozar, 2019)</p>	<p>Este es el periodo final de la vida del cerdo, es decir, cuando alcance los 90 o 100 kilos de peso, lo cual debe ocurrir de 2 a 2 ½ meses (Ministerio del Medio Ambiente, 2002)</p>

Fuente: Elaborada por autores

7.3.2.3 Residuos sólidos pecuarios.

La intensificación de la producción animal representa una cantidad mayor del número de animales por unidad de superficie junto con el aumento del uso de insumos para la alimentación, pero dicha práctica genera un incremento de los flujos de energía, nutrientes y riesgos de contaminación producto de la concentración de excretas en áreas reducidas. Estas excretas son conocidas como residuos sólidos pecuarios y la cantidad de ellos depende de variables relacionadas con el tipo de animal como su peso corporal y forma de alimentación y con el manejo que el mismo realice, es decir su crianza y métodos de limpieza que se tengan en las granjas (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2013).

En general, dentro de los efluentes provenientes de la cría intensiva de animales, se puede clasificar en dos fases: La líquida, caracterizada por estar compuesta de materia orgánica, nutrientes, metales disueltos y materiales suspendidos; y la segunda es la sólida, que puede llegar a separarse por medios físicos como lo es la decantación y/o el filtrado, pero cabe destacar que los sólidos más livianos quedan suspendidos y disueltos por lo que deben tratarse mediante métodos químicos o biológicos para reducir la carga orgánica del efluente (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2013).

Se considera que un cerdo de 110 kg puede generar 2.3 kg de estiércol diario y unido a la orina el valor asciende a 4.9 kg, al igual que una cerda destetada (seca) estos valores son similares, aunque cabe especificar que al contabilizar toda la camada (cerda + bebes) el valor es de aproximadamente 15 kg. Esta mezcla

(heces + orina) se denomina purín, y representa un 12% de materia seca (MS), de la cual entre el 85 y el 90% es materia orgánica (MO). Respecto a los macronutrientes, como lo es el nitrógeno (N), se pueden encontrar valores en un rango de 0.3-0.7%. Pero cuando se tiene un sistema de “cama profunda” la cantidad de nitrógeno se aumenta a 1,7% por los materiales de dicha cama (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2013).

7.4 Marco normativo

A continuación, se presenta el listado de normas legales que tienen relación con el problema central del proyecto basado tanto en el manejo sanitario y medidas de bioseguridad como en aspectos ambientales como consumo de agua, energía y manejo de residuos delimitados en marco legal colombiano del sector porcicultor.

Tabla 2. Normatividad legal internacional referente a temas de desarrollo sostenible

Norma	Año	Promulga	Descripción
Declaración de Estocolmo	1972	Organización de las Naciones Unidas	113 países asistieron a un debate por primera vez sobre la creciente problemática del medio ambiente abarcando como tema principal la calidad de vida del ser humano y con el fin de aumentar la conciencia política sobre la naturaleza convirtiéndose así en la “Carta Magna” del Derecho Internacional Ambiental, que contiene 26 principios y un Plan de Acción con 109 recomendaciones (Organización de las Naciones Unidas, 1972).
Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono	1985	Organización de las Naciones Unidas	Convenio internacional que tiene como objetivo proteger la salud de los seres humanos y el medio ambiente de los efectos que conlleva el cambio en la capa de ozono atmosférica. Promueve que las partes cooperen en la investigación e intercambio de información para mejorar los efectos de las actividades humanas y a su vez adoptar medidas de control, limitación y reducción de actividades que afecten la capa (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).
Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de	1987	Organización de las Naciones Unidas	Este protocolo busca fijar plazos máximos para la eliminación de producción y consumo de las sustancias que afectan la capa de ozono atmosférica. Donde se adoptaron medidas como: Prohibición de importación y exportación de estas sustancias, la clasificación de los países miembros y adopción de un fondo multilateral

Ozono			como método. Se ha firmado por 196 días (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).
Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo	1992	Organización de las Naciones Unidas	Consagra 27 principios, se realizó con el objetivo de establecer una alianza mundial y equitativa a través de la cooperación entre los estados, sectores privados, públicos y las personas. Con el fin de alcanzar acuerdos internacionales para proteger el sistema ambiental de la mano con el desarrollo mundial (Organización de las Naciones Unidas, 1992).
Agenda 21	1992	Organización de las Naciones Unidas	La Agenda 21 o Programa de Acciones de las Naciones Unidas fue establecida en la Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, este es un programa para desarrollar la sostenibilidad y fue firmada por 173 países miembros de Naciones Unidas. Estos países se rigen bajo políticas ambientales, económicas y sociales encaminadas al desarrollo sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).
Protocolo de Kioto	1998	Organización de las Naciones Unidas	Este protocolo busca comprometer a 37 países industrializados a través de metas que buscan reducir y estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero. A su vez promueve a los gobiernos a establecer leyes y políticas que incluya el factor ecológico en la toma de decisiones y además creo el mercado de carbono (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).
Río +20	2012	Organización de las Naciones Unidas	Nombre abreviado de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil. Como resultado dejó el documento “El Futuro Que Queremos”, un trabajo conjunto de los líderes mundiales, el sector privado, los ONG y otros grupos para reducir la pobreza, promover la equidad social y garantizar la protección del medio ambiente. Se centra en construir una economía ecológica para ir encaminado al desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas, 2012).
Acuerdo de París	2012	Organización de las Naciones Unidas	En la Conferencia de París sobre el Cambio Climático (COP21), 195 países conforman este acuerdo sobre el clima a nivel mundial. Los puntos principales son: 1. La mitigación (reducir emisiones) donde los gobiernos acordaron mantener la temperatura media mundial por debajo de 20°C. 2. Transparencia y balance global donde los gobiernos acordaron reunirse cada 5 años para fijar más objetivos, informar y evaluar sus

avances. 3. Adaptación donde se acordó reforzar las capacidades de la sociedad antes los efectos del cambio climático y ofrecer ayuda internacional a países en vía de desarrollo (Comisión Europea,2015).

Fuente: *Elaborado por autores.*

Tabla 3. Normatividad legal nacional referente al sector porcícola

Norma Legal	Promulga	Propósito	Sesiones
Decreto Ley 2811 de 1974	Presidente de la Republica de Colombia	Por el cual se dicta Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente. Regula el desarrollo de las actividades económico – productivas en los medios urbanos y rurales.	Art. 7. Toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente sano. Art. 8. Factores que deterioran al ambiente: Contaminación del aire, aguas, suelo y demás recursos renovables. Art. 18. Pago de tasas retributivas por la utilización directa o indirecta de la atmosfera, aguas y suelo. Art. 34 al 38. Manejo de residuos, basuras y desperdicios, prohibición descarga sin autorización desperdicios que causen daños o molestias a individuos, servicios adecuados de recolección, transporte y disposición final de basuras (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 1974).
Ley 9 de 1979	Congreso de la Republica	Por el cual se dicta el Código Sanitario Nacional.	Art. 1. Reglamentaciones para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en relación con la salud. Además, control de las descargas de residuos que lleguen a afectar. Art. 3. Control sanitario de los usos del agua. Art. 10. Todo vertimiento de residuos líquidos debe

<p>Resolución 2400 de 1979</p>	<p>Ministerio de Trabajo y Seguridad Social</p>	<p>Disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad industrial en establecimientos de trabajo.</p>	<p>someterse a las condiciones del Ministerio de Salud. Art. 36. Toda edificación de dotarse de un sistema sanitario de disposición de excretas (Comité Paritario de Salud Ocupacional, 1979). Art. 3. Obligaciones de los trabajadores en cuanto en Medicina, Higiene y de Seguridad Industrial. Art 38 al 45. Evacuación de residuos o desechos deberán efectuarse para garantizar la salud y el bienestar de los trabajadores y de la población en general (Comité Paritario de Salud Ocupacional, 1979).</p>
<p>Decreto 2278 de 1982</p>	<p>Invima</p>	<p>Por el cual se reglamenta el Título V de la Ley 09 de 1979 en cuanto al sacrificio de animales para consumo humano y el procesamiento, transporte y comercialización de su carne.</p>	<p>Capitulo II. De las características de las diferentes áreas y requisitos básicos de los mataderos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1982).</p>
<p>Decreto 2104 de 1983</p>	<p>Presidente de la Republica de Colombia</p>	<p>Por el cual se reglamenta parcialmente el [Título III de la Parte IV del Libro I del Decreto - Ley 2811 de 1974] y los [Títulos I y XI de la Ley 9 de 1979] en cuanto a residuos sólidos.</p>	<p>Art. 1. Definiciones. Capitulo II. Disposiciones generales en cuanto almacenamiento, recolección, transporte y disposición sanitaria, servicio de aseo, de programas y campañas educativas, de especificaciones en cuanto al manejo de desechos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1983).</p>
			<p>Art. 8. Obligación del Estado de proteger las riquezas naturales. Art. 49. Consagra como servicio público la atención de</p>

Constitución política de 1991

Asamblea Nacional Constituyente

Consagra obligaciones y deberes para el estado y las personas de proteger el medio ambiente, como principio fundamental.

la salud y el saneamiento ambiental y ordena al Estado la organización, dirección y reglamentación de estos.

Art. 58. La propiedad es una función social inherente a una función ecológica.

Art. 63. Determina que los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras de grupos étnicos y los demás bienes que determine la Ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables.

Art. 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de importancia ecológica y fomentar la educación.

Art. 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible.

Art. 88. Consagra acciones populares para la protección de derechos e intereses colectivos sobre el medio ambiente (Secretaría de Senado, 1991).

Ley 99 de 1993

El Congreso de Colombia

Política ambiental, se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental

En lo que concierne toda la política (Secretaría Senado, 1993).

		(SINA) En consecuencia, crea la licencia ambiental. Régimen de tasas retributivas.	
Ley 373 de 1997	El Congreso de Colombia	Uso eficiente del agua: Programa para ahorro del agua. Norma que contiene lo relativo a la protección de zonas de especial importancia acuífera	<p>Art. 1. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar un programa para el uso eficiente y ahorro del agua.</p> <p>Art. 2. El programa para el uso eficiente y ahorro del agua será quincenal y deberá estar basado en un diagnóstico de oferta hídrica.</p> <p>Art. 3. Cada entidad encargada de prestar servicio de acueducto, alcantarillado, riego, entre otras deben presentarse ante la autoridad ambiental competente.</p> <p>Art. 4. La comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico fijará metas anuales, para reducir las pérdidas en cada sistema de acueducto.</p> <p>Art. 5. Establece que cualquier actividad que genere afluentes líquidos deberá ser reutilizada.</p> <p>Art. 6. Toda entidad que determine la Corporación Autónoma Regional debe adelantar un programa orientado a medidores de consumo.</p> <p>Art. 7. Incentivos tarifarios por el uso eficiente y ahorrativo del agua.</p> <p>Art. 15. Los ministerios responsables de los sectores que utilizan el recurso hídrico darán un plazo máximo de 6 meses la instalación de</p>

			tecnología limpia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1997).
Decreto 3102 de 1997	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua.	Art. 2. Obligaciones de los usuarios de hacer buen uso del agua potable y reemplazo de equipos. Art. 3. Obligaciones de los constructores y urbanizadores de incluir equipos de bajo consumo de agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1997).
Resolución 1023 de 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación	Art. 3. Adopción de guía ambiental del subsector porcícola. Art.4. De la implementación de las guías ambientales. Art.5. Control y seguimiento de proyectos que requieran licencia ambiental. Art.7. Permisos, concesiones y autorizaciones por las autoridades ambientales (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2005).
Resolución 0627 del 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.	Capítulo II. Art.9. Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en decibeles. Capitulo III. Art.17.Ruido ambiental estándares máximos de emisión de ruido expresado en decibeles. Capitulo V. Vigilancia y control del cumplimiento de la norma (Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2006).
Decreto 2331 del 2007	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se establece una medida tendiente al uso racional y eficiente de energía eléctrica.	Art.1. Utilización o sustitución de bombillas incandescentes por bombillas ahorradoras. Art.3. El Ministerio de Minas

<p>Resolución ICA 2640 de septiembre de 2007</p>	<p>Gerente General del Instituto Colombiano Agropecuario</p>	<p>Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado al sacrificio para consumo humano.</p>	<p>y Energía efectuará acciones de monitoreo, seguimiento y control (Sistema Único de Información Normativa, 2007). Art.8.Requisitos para las instalaciones y áreas. Art.9.Requisitos para el almacenamiento de insumos pecuarios. Art.11.Toda granja porcina deberá contar con un programa de bioseguridad. Art.12. Buenas prácticas para el uso de medicamentos veterinarios. Art.14. Buenas prácticas para la alimentación animal. Art.15. Medidas para el bienestar animal (Instituto Colombiano Agropecuario, 2007).</p>
<p>Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible de 2010</p>	<p>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</p>	<p>Se actualizan e integran la Política Nacional de Producción más Limpia y el Plan Nacional de Mercados Verdes como estrategias del Estado Colombiano con el fin de promover y enlazar el mejoramiento ambiental de las empresas.</p>	<p>En lo que concierne toda la política. (Red de desarrollo sostenible, 2010).</p>
<p>Resolución 1192 del 2012</p>	<p>Gerente General del Instituto Colombiano Agropecuario</p>	<p>Se amplían y se establecen plazos para el cumplimiento de lo dispuesto en la resolución 2331 y 2640 de 2007.</p>	<p>Art. 2. Modificación del régimen transitorio resolución 2341 de 2007. Art. 3. Nuevo plazo régimen transitorio resolución 2640 de 2007 (Instituto Colombiano Agropecuario, 2012).</p>
			<p>Sección 2. Régimen de aprovechamiento forestal. Sección 4. Uso del agua y residuos líquidos. Titulo 5. Prevención y control</p>

Decreto 1076 del 2015	Presidente de la República de Colombia	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.	de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire. Capítulo 6. Tasas por utilización del agua y se adoptan otras. Capítulo 7. Tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales. Sección 18. Conservación de los predios rurales (Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental , 2015).
------------------------------	--	--	--

Decreto 1077 del 2015	El presidente de la República de Colombia	Esta versión incorpora las modificaciones introducidas al decreto único reglamentario del sector vivienda, ciudad y territorio a partir de la fecha de su expedición	Art. 2.2.2.1.1.1 Ordenamiento del territorio, Capítulo 1 Sección 1 Disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los POT (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015).
------------------------------	---	--	---

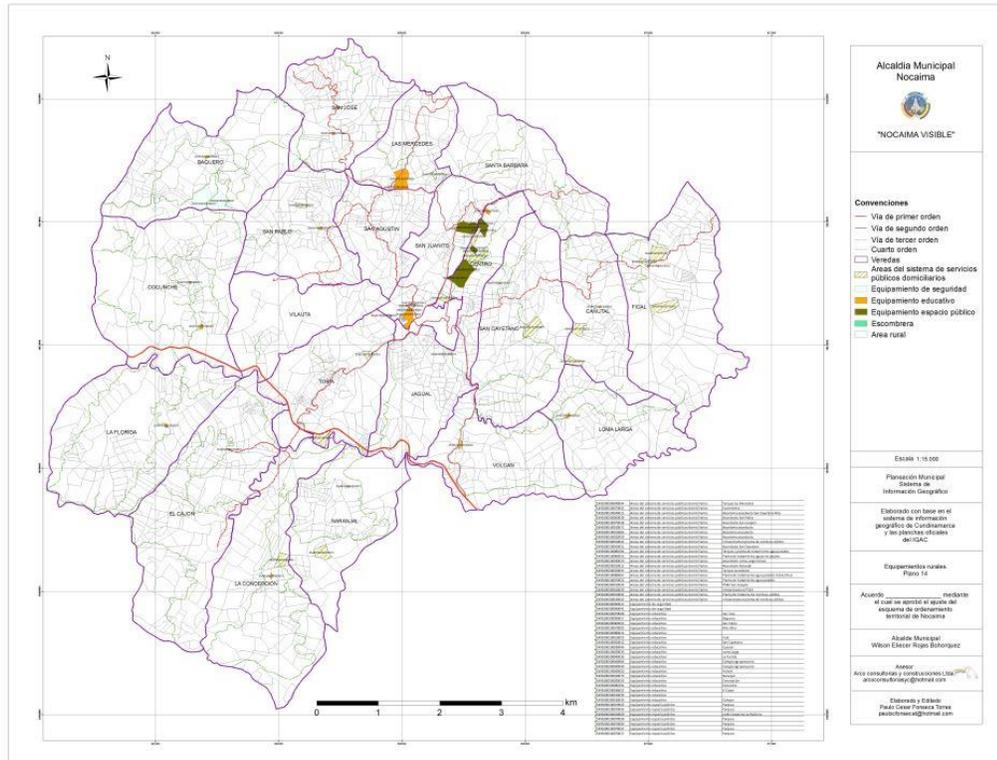
Fuente: Elaborado por autores

7.5 Marco geográfico

A continuación, se delimita la localización y se presentan las características más relevantes de aspectos geográficos, geológicos y geomorfológicos, económicos y ecosistémicos de la zona de estudio para el desarrollo del proyecto.

7.5.1 Localización. El Municipio de Nocaima, se encuentra localizado al Noroccidente de Bogotá a una distancia aproximada de 48 km por la vía Bogotá-Medellín, hace parte de la provincia del Gualivá ubicada en el Departamento de Cundinamarca, República de Colombia; limita al norte con los Municipios de Nimaima y Vergara, al oriente con Vergara y la Vega, al sur con La Vega y Sasaima y al Occidente con Villeta y Nimaima y se encuentra enmarcado dentro de las siguientes coordenadas cartesianas mínimas y máximas: X min: 960.000, E X max: 972.000, E Y min: 1.046.000, N Y max: 1.057.000 N. Con una extensión total territorial de 69 Km², dividida en área urbana con 3 Km² y área rural de 66 Km. Se encuentra a una altitud de 1200 m.s.n.m. en la cabecera municipal y cuenta

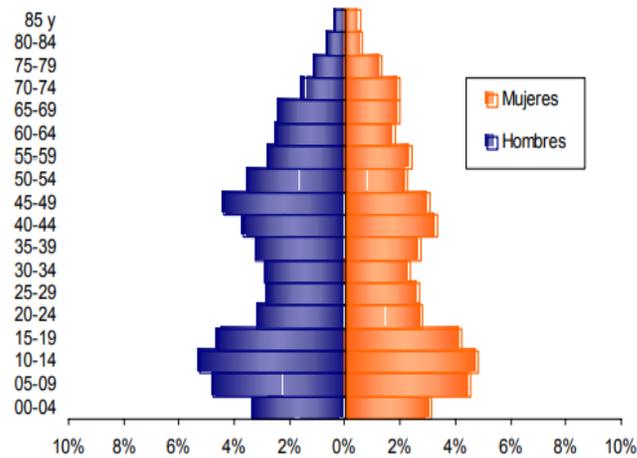
Figura 3. Mapa ubicación municipio de Nocaima-Cundinamarca



Fuente: Alcaldía Municipal de Nocaima, 2018

7.5.2 *Socio demografía de Nocaima.* Según (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018) del total de la población de Nocaima (8004 habitantes) el 53,3% son hombres y el 46,7% son mujeres, a su vez se evidencia que por efecto de la migración por sexo y edad la gráfica 1 demuestra la estructura de la población por sexo y edad.

Figura 4. Estructura de la población por sexo y edad

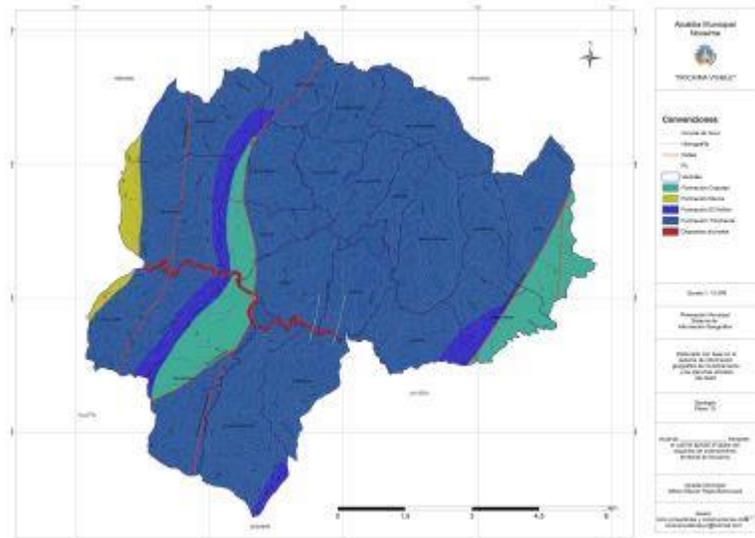


Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018.

7.5.3 Geología y Geomorfología. El municipio, está ubicado en una zona montañosa de pendiente media-alta, con pocos sectores planos; dominado por las lutitas silíceas que a nivel general suelen aparecer superficialmente evidenciado su presencia en todo el territorio. Desde este dominio y teniendo en cuenta que la fusibilidad de la roca es alta por las características del proceso de meteorización propio y por la acción que causa el agua que escurre por los planos de estratificación característicos de la lutita, modificando los minerales de la roca en términos de dureza y fragilidad convirtiéndolo en un material arcilloso cohesivo y blando con características de gel en casos extremos (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2012).

Los suelos que se presentan en esta zona son de tipo IV (Osorio, 2004), esto quiere decir que presentan tierras con pendientes inclinadas y complejas de moderada o baja fertilidad natural, poseen un buen drenaje, de textura franco-arcillosa a arcillosa y en la mayoría de los casos son moderadamente profundos (Organization of Amercian State, 2019).

Figura 5. Mapa geológico de Nocaima



Fuente: Alcaldía Municipal de Nocaima, 2018

7.5.4 Hidrología. Según el E.O.T Municipal, se presentan rocas sedimentarias plegadas de edad del Cretáceo Inferior y medio. Se diferencia una zona baja de montaña compuesta por rocas lutíticas, limolitas margosas, margas, areniscas, arcillas limosas con plegamientos. Todas estas clases de rocas aplican para las tres formaciones que se encuentran en la microcuenca, por lo general en los segmentos de las formaciones se encuentran rocas de origen limo arcilloso de texturas finas. El área de estudio tiene una precipitación media anual de 1.750 mm, observándose picos en ciertas épocas del año como abril, octubre y noviembre. La permeabilidad promedio de cada unidad geológica está en función de su litología (tamaño del grano, grado de litificación, presencia de matriz o cemento entre otras) y discontinuidades (fracturamiento). El fracturamiento más importante en la microcuenca ocurre a lo largo de la falla de Tilauta Bunque (Pinzón, 2005).

7.5.5 Flora y Fauna. Según las condiciones climáticas reinantes y el tipo de vegetación allí establecido naturalmente, la microcuenca está comprendida dentro de 2 unidades bioclimáticas, así: bosque húmedo premontano (bh- PM) y bosque húmedo montano (bh- M) (Pinzón, 2005).

Entre las especies vegetales propias de este ambiente natural se encuentran las siguientes: cedro rosado *Cedrela* sp., guamo *Inga* sp., yarumo *Cecropia* sp., carbonero *Albizia carbonaria*, ariza *Brownea ariza*, moho *Cordia* sp., manchador *Vismia* sp., cucharo *Rapanea* sp., nacedero *Trichanthera gigantea*, guayabo *Psidium guayaba*, guadua *Guadua angustifolia*, cámbulo (*Erythrina poeppigea*), Chachafruto (*Erythrina edulis*), canalete *Cordia alliodora*, guayacán rosado *Tabebuia pentaphylla*, gualanday *Jacaranda* sp., gague *Clusia* sp., pomarroso *Eugenia jambos*, Helechos *Adiantum* sp. y dorancia *Cassia reticulata*. En las orillas

de las corrientes de agua se establece la caña brava *Gynerium segittatum*, palma de iraca o nacuma *Caludovica palmata* y malezas como chipaca *Bildens pilosa*, teresitas *Browvalia sp* (Pinzón, 2005).

El origen de la biota cundinamarquesa al igual que el origen de la biota colombiana es fundamentalmente suramericano. Se tiene información que la fauna la cual pobló esta zona de las cuencas del Magdalena y Río Negro era rica y variada, pero por deterioro de los ecosistemas originarios, quemadas, desmonte, caza y en general la introducción de la civilización, disminuyó hasta desaparecer casi totalmente ((Pinzón, 2005).

Figura 6. Tipo de fauna en el municipio de Nocaima

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTÍFICO O FAMILIA
Gavilán pollero	Buteo sp
Chulo	Coragyps atratus
Abuelitas	Zenaida auriculata
Cardenal	Cardinalis phoniceceus
Azulejo	Thraupis episcopus
Colibrí	Colibrí coruscans
Mirlas	Turdus serranus
Carpintero	Picidae sp
Armadillo común	Dasyopus novemcinctus
Conejo coliblanco	Sylvilagus floridanus
Guatín	Dasprocta fuliginosa
Borugo	Agouti paca
Ardilla común	Sciurus granatensis
Fara	Didelphys marsupialis
Grillos y saltamontes:	Orthoptera
Escarabajos	Coléoptera
Pollillas y mariposas	Lepidoptera
Abejas	Apidae
Avispas	Vespidae
Hormigas	Formicidae
Lagartijas	Stenocercus sp
Iguana verde	Iguana Iguana
Corales	Micrurus sp

Fuente: Pinzón, 2005

7.5.6 Producción industrial en la zona (Economía). La principal actividad económica que se desarrolla en el municipio es el cultivo de la y la elaboración de la panela, la cual tiene un proceso artesanal en múltiples enramadas situadas a lo largo del municipio y cuya comercialización se realiza básicamente los fines de semana en el municipio y la mayoría de su producción es desplazada a la capital. También hay cultivos alternos, aunque en menor cantidad, destacándose básicamente los frutales, el plátano, el café y algunas legumbres y hortalizas que

son en su mayoría para autoconsumo. La avicultura, la piscicultura, carpicultura y la cría de ganado porcino y vacuno vienen en continuo aumento, mejorando las oportunidades nutricionales para la población. El comercio y las pequeñas industrias también enmarcan un ítem importante en el municipio (Alcaldía Municipal de Nocaima, 2017). En el municipio de Nocaima se refleja que la vocación es agropecuaria, dentro de las actividades pecuarias se encuentra la cría y engorde de pollos, la ganadería y la porcicultura, con un porcentaje del 11%.

Una de las principales granjas que realiza esta actividad agropecuaria es la granja “Agrocachaca” dedicada a la crianza y engorde de cerdos, está se encuentra ubicada en la vereda San José de Nocaima, su ubicación geográfica se puede evidenciar en la siguiente imagen:

Figura 7. Imagen satelital de la granja "Agrocachaca" en la vereda San José, Nocaima- Cundinamarca



Fuente: Google Earth, 2019

Figura 8. Registro fotográfico de la granja "Agrocachaca" en la vereda San José, Nocaima-Cundinamarca



Fuente: Elaborada por autores.

7.6 Marco institucional.

Las entidades competentes que tienen jurisdicción con el tema del presente trabajo y con la localización delimitada (Nocaima, Cundinamarca) se describen a continuación:

Tabla 4. Entidades competentes en jurisdicción con el sector porcícola

Entidad competente	Función e interés
<pre> graph TD A[Alcaldía Municipal de Nocaima] --> B[CAIM: Humildad y Compromiso por una mejor] B --> C[Secretaría de desarrollo económico, agropecuario y ambiental.] B --> D[Secretaría de proyectos y competitividad.] </pre>	<p>La alcaldía municipal de Nocaima busca que el municipio tenga bienestar social, productivo y sostenible, y que sea reconocido como un destino ambiental, enfocado en una construcción eficiente y eficaz (Alcaldía Municipal de Nocaima, 2018).</p> <p>Dentro de sus objetivos está apoyar proyectos que aseguren el</p>

	<p>cumplimiento de Planes de Desarrollo Municipal.</p>
	<p>La CAR ha venido desarrollando como una de sus principales estrategias, para mejorar el desempeño ambiental del sector porcícola con el fin de implementar el Programa de Producción Más Limpia para el desarrollo de acciones conjuntas y mejorar la competitividad ambiental (Corporación Autónoma Regional, s.f)</p>
	<p>Lideran proyectos y programas para beneficiar a pequeños, medianos y grandes poricultores de Colombia.</p>

<p style="text-align: center;">Granja “Agrocachaca”</p> <p style="text-align: center;">Dedicada a la crianza y engorde de ejemplares porcinos. Aproximadamente 1800 ejemplares.</p>  <p style="text-align: center;">5 empleados por etapas (Reproducción, precebo y levante o ceba)</p>	<p style="text-align: center;">La granja “Agrocachaca” tiene interés en conocer sobre las oportunidades de mejora y así mismo poder implementarlas para obtener un beneficio ecológico y económico.</p>
---	---

Fuente: Elaborado por autores

8. Marco metodológico

La metodología planteada para este proyecto se tomó principalmente de los referentes conceptuales dados a lo largo del estado del arte basados en la teoría de Producción Más Limpia, con el fin de tener los parámetros necesarios para llevar a cabo las actividades de cada objetivo propuesto.

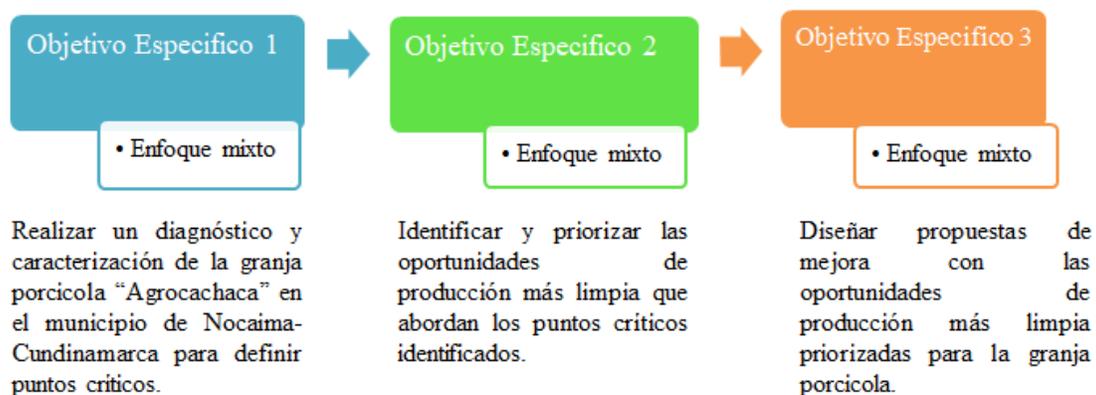
Cabe destacar, que este proyecto se basa en la investigación de un territorio en específico, donde se estudia las dimensiones ecológicas y económicas, a través de un estudio holístico que parte principalmente de la búsqueda empírica de los antecedentes de esta industria porcina y va de la mano de la información obtenida por el dueño y gerente de la granja en las visitas a campo que permitieron obtener información relevante para su análisis respectivo.

8.1 Enfoque

A partir de lo anteriormente mencionado, el enfoque de esta investigación es de carácter mixto respecto a los objetivos planteados, puesto que permite identificar y analizar características relacionadas con aspectos cualitativos como cuantitativo, cabe aclarar, que según Hernández Sampieri, Fernández & Baptista (2010) define que el enfoque cualitativo indaga primordialmente en la “dispersión o expansión” de los datos e información por sí mismo, mientras que por otro lado

el enfoque cuantitativo se basa en “acotar” la información, es decir, medir con gran exactitud y precisión las variables del estudio mediante investigaciones previas y se caracteriza principalmente por analizar la realidad desde una perspectiva objetiva que permite generalizar los resultados obtenidos y establecer predicciones debido a su carácter deductivo. La gran diferencia entre los dos es que el cuantitativo consolida la información que se tenía como creencia y la fórmula de manera lógica enmarcándola en una teoría con patrones exactos de comportamiento de una población; en cambio el cualitativo, el investigador se forma creencias propias sobre el fenómeno estudiado, ya sea un grupo de personas o un proceso particular. Estos enfoques se emplearon para la recolección de datos e información hasta su propio análisis para obtener los resultados previstos por cada objetivo, como se observa a continuación:

Figura 9. Enfoque del proyecto de investigación.



Fuente: Elaborado por autores

A partir de lo anterior, se puede decir que la investigación se enmarca en los dos enfoques: el Objetivo 1 se basa en una revisión y análisis bibliográfico junto con visitas de campo al para diagnosticar el estado actual del proceso productivo en la granja, junto a la cuantificación de las variables (consumo de agua, consumo de energía, consumo de alimento, generación de residuos pecuarios y peligrosos). El objetivo 2 se fundamenta el enfoque cualitativo al describir de forma detallada las alternativas tomadas a partir de la teoría y la revisión conceptual y el enfoque cuantitativo al hacer el análisis multivariable con puntajes respecto a criterios demarcados. Por último, en el objetivo 3 al realizar la priorización, selección y el diseño de la propuesta más viable y beneficiosa enmarcada en la teoría de Producción Más Limpia (PML) junto a los costos de ineficiencia y los valores económicos de dicha propuesta, se aplican los dos enfoques.

A partir de lo anterior, contando con la recolección, ordenación, estructuración y procesamiento de datos como parte del enfoque cuantitativo junto al enfoque cualitativo, es posible tener una perspectiva de todo el sistema productivo identificando áreas críticas y partiendo de esas áreas críticas identificar las mejores soluciones orientadas a las estrategias de producción más limpia que permitan que la granja se concentre en la disminución de impactos ambientales de la mano de beneficios económicos.

8.2 Alcance

El alcance del proyecto es descriptivo y explicativo, puesto que a partir de entrevistas, observación directa y demás actividades, permitió identificar y analizar las etapas del proceso de levante y engorde de porcinos de la granja “Agrocachaca”, las cuales son el objeto de estudio a través de la recolección de información (descriptivo) y a partir de ello poder explicar los principales focos que presentan problemas en las actividades realizadas por parte de los actores involucrados, el mayor gasto y la generación indiscriminada de contaminación ambiental. Al tener esta información recolectada fue posible establecer los lineamientos de la propuesta de un proyecto de Producción Más Limpia (PML).

8.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis se determinó a partir de la hipótesis demarcada en la investigación que se desarrolló, la cual es: A partir de proyectos de producción más limpia la granja “Agrocachaca” mejorará su desempeño ambiental y su competitividad en el mercado. Por lo tanto, la unidad de análisis es la granja porcícola Agrocachaca donde se va a analizar variables como consumo de agua, energía, alimentación y generación de residuos pecuarios y peligrosos por parte de los dueños de la granja junto a las alternativas de producción más limpia para el proceso productivo pecuario que se desarrolla.

8.4 Método

El método del proyecto es inductivo puesto que se basa principalmente en una teoría general y global a partir de la división de la revisión bibliográfica en el escenario internacional, nacional y local; y se parte de ese punto para delimitar una zona de estudio, el cual está establecido en la granja “Agrocachaca” de la vereda San José, del municipio de Nocaima-Cundinamarca como unidad de estudio y análisis del presente proyecto de investigación.

8.5 . Informantes y población.

Debido a que el proyecto no busca aplicar entrevistas a una población dada sino conocer el proceso productivo de la mano de personas expertas de la unidad de

análisis, se contactó directamente con el dueño Mario Delgado y el gerente Felipe Delgado de la granja Agrocachaca puesto que llevan aproximadamente 20 años al mando y por ello tienen mayor experiencia del proceso productivo. Esta elección se realizó por una muestra no probabilística debido a que es exploratorio y según Hernández, Fernández y Baptista (2010), el tipo de muestra escogida es de mayor valor e importancia porque se obtiene la información de interés y la que es necesaria, permitiendo que se tenga una recolección de datos y el análisis de lo que se está buscando primordialmente. Cabe aclarar que este tipo de investigaciones puede tomarse muestras de uno a cincuenta casos, teniendo claro los recursos que disponga el investigador para la recolección de los datos, también si la muestra elegida conozca el fenómeno con claridad y si esto lleva poco o mucho tiempo.

Al momento de realizar la entrevista a los informantes, se realizó un recorrido por todas las etapas del proceso evidenciando que el dueño y gerente proporcionan información muy básica del proceso pecuario y que no tienen el conocimiento de los consumos y lo que generan por etapa o en todo el ciclo cerrado, puesto que se pudo evidenciar que su trabajo es muy empírico y no ponen atención a dichas variables, por lo que se optó por hacer una observación directa de la situación actual de la problemática, a partir de fotografías y notas en la libreta de campo.

8.6. Dimensiones, variables e indicadores.

Tabla 5. Dimensiones, variables, indicadores y unidades de medida del proyecto de investigación.

Temática	Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida
Ecológico	Agua	Consumo de agua	Cantidad de agua usada por etapa/ mes	m ³ / mes
	Energía	Consumo de energía eléctrica	Cantidad de energía usada por etapa/ mes	Kwh / mes
	Materia prima	Consumo de alimento	Cantidad de alimento empleado por etapa/ tiempo	Kg/mes (por etapa)
	Residuos pecuarios	Generación de residuos pecuarios	Cantidad de residuos generado por etapa / tiempo	Kg/mes (por etapa)

	Residuos peligrosos	Generación de residuos peligrosos	Cantidad de residuos peligrosos generados por etapa / tiempo	Kg/mes (por etapa)
Económico	Energía	Pago del consumo de energía	\$ del consumo de energía / tiempo	\$ pesos colombianos /mes
	Venta principal	Cantidad de animales que se venden	Número de animales que se venden / tiempo	Número de animales /mes

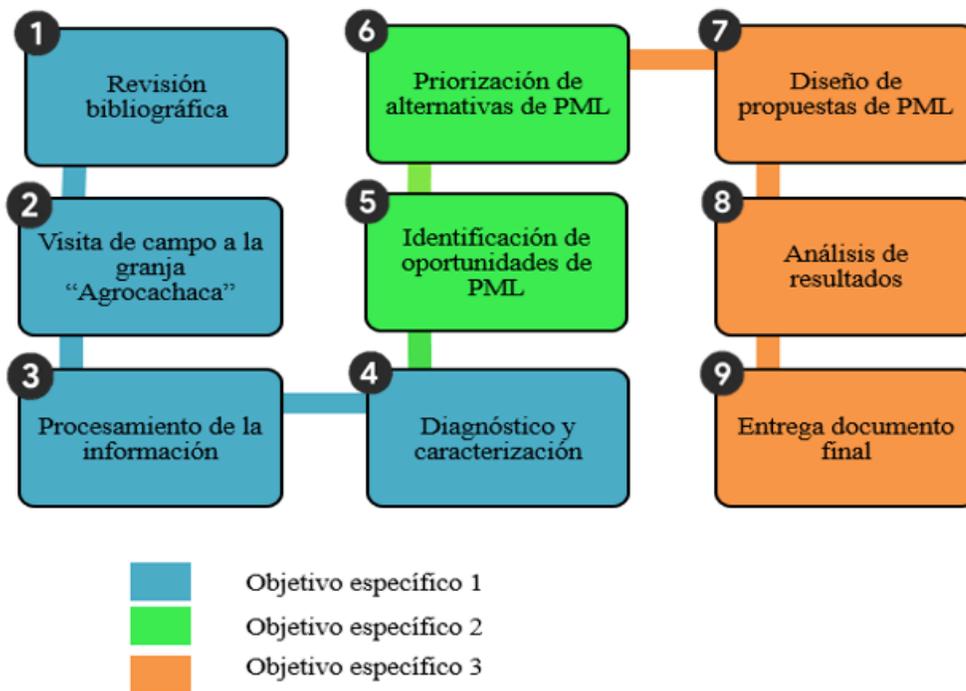
Fuente: Elaborado por autores

8.7 Fases de la investigación

Este proyecto estudia el proceso realizado en la granja porcina Agrocacha bajo un marco de investigación orientada a aplicar los principios y herramientas de la Producción Más Limpia, con el fin principal de mejorar el desempeño ambiental de la granja e incrementar la eficiencia de la producción para darle un valor agregado a los subproductos generados y cumplir la normatividad ambiental al tiempo que se obtienen beneficios económicos para los dueños de la granja.

El proyecto se desarrolla en 9 fases, cada una de ellas tiene el propósito de tomar como insumo información asociada al proceso productivo para identificar las principales problemáticas y generar una serie de alternativas para plantear posibles soluciones y explorar la viabilidad de implementar las alternativas seleccionadas.

Figura 10. Fases de la investigación del proyecto de investigación.



Fuente: Elaborada por Autores

Objetivo Específico 1.

Para efectos de desarrollar la línea base y conocer el desarrollo en general del proceso productivo de la granja, se desarrollaron las siguientes fases para este objetivo:

Fase 1. Revisión Bibliográfica. Se dividió en tres niveles internacional, nacional y local teniendo en cuenta artículos, tesis, revistas y libros con palabras claves como: “Porcicultura”, “Producción más limpia (PML)”, “Residuos pecuarios” y “Eficiencia” a través de bases de datos, en la biblioteca de la universidad (Juan Roa Vásquez) y Google académico, todo esta revisión permitió determinar algunos referentes teóricos, con el fin de delimitar y guiar la investigación para dar cumplimiento a los objetivos que se plantearon para la investigación.

Fase 2. Trabajo de campo a la granja “Agrocachaca”. Por medio de un recorrido por las instalaciones de la granja y de la mano con las visitas realizadas al gerente y al dueño, se pudo realizar un diagnóstico de los procesos, procedimientos y actividades de cada etapa, definiendo aspectos importantes relacionados a la información ambiental y económica de la granja. A partir de estas visitas se obtuvieron sus consumos respectivos de energía, cantidad de cerdos a la venta y residuos peligrosos por mes.

La entrevista que se realizó se encuentra descrita en el Anexo I.

Fase 3. Procesamiento de la información. La encuesta se digitalizó, organizó, estructuró y sistematizó por medio de hojas de cálculo en Excel con el fin de realizar las gráficas y cálculos necesarios para el análisis de la información recolectada.

Fase 4. Diagnóstico y caracterización granja “Agrocachaca”. A partir de los cálculos realizados por etapa del proceso productivo en cuanto al consumo de agua, energía, materia prima y la generación de residuos pecuarios y peligrosos se pudo plasmar la estructura de la granja utilizando datos reales y teóricos, para visualizar y cuantificar el área crítica con mayor foco de gasto y subproductos generados. Las herramientas utilizadas en esta fase son

- Ecomapa: El ecomapa es una herramienta caracterizada por ser sencilla y de fácil aplicación y entendimiento que permite obtener un inventario rápido y completo de prácticas y problemas de múltiples variables a través del uso de figuras. En el ecomapa se grafican las áreas de mayor consumo de materias primas e insumos y las áreas de mayor generación de productos, subproductos y residuos. (Van Hoof, B. 2007).
- Eco balance: Es un diagrama que integra de forma detallada cada proceso de la producción pecuaria con las entradas y salidas másicas cuantificadas, y que tiene como fin identificar los consumos como las pérdidas (de energía, producto e insumos). Los eco balance permite medir la eficiencia del proceso y con ello permite tomar decisiones dentro de un marco preventivo (Secretaría Distrital del Ambiente, 2015).

El uso de estas dos herramientas ecomapa y eco balance se puede ver en las figuras 21 y 22 respectivamente.

Objetivo Específico 2.

Para dar cumplimiento a este objetivo se desarrollaron la Fase 5 y 6 enfocadas en obtener como resultado las alternativas con mayor puntaje de viabilidad y beneficio para la granja, éstas se desarrollaron como se describe a continuación:

Fase 5. Identificación de oportunidades de Producción Más Limpia (PML). Tras la determinación de las variables de la investigación y las diferentes problemáticas en el área crítica, se procede a la identificación de las oportunidades

de producción más limpia. En primera instancia se procede a determinar la causa de dichas problemáticas y posteriormente, con apoyo de las revisiones conceptuales y el estado de arte, se construyendo un listado de dichas alternativas con los beneficios de cada una y requerimientos de cada una.

Fase 6. Priorización de alternativas de Producción Más Limpia (PML).

Con el fin de determinar las alternativas más significativas y viables, se realizó un análisis multivariable de las oportunidades a través de matrices de evaluación en el método definido por Sánchez (1991), que permite seleccionar la más adecuada comparando aspectos técnicos, ecológicos y económicos (Matriz A), compromiso, adaptación, capacitación y comunicación (Matriz B) y finalidad, identidad, autonomía y autocontrol (Matriz C).

Este análisis se inicia en la parte superior con la matriz A y se termina con los resultados de la matriz C. El objetivo de estas tres matrices es ir tamizando las estrategias para cada uno de los criterios considerados. A partir de ello, la estrategia que vaya cumpliendo los criterios establecidos en la siguiente tabla, significa que es de gran aceptación.

Tabla 6. Criterios para el análisis multivariable.

Dimensión	Criterio
Técnico	Área de uso
	Complejidad tecnológica
	Facilidad de adquisición
	Tiempo de preparación
Económico	Costo de inversión
	Mano de Obra
	Aporte directo al proceso productivo
	Ingresos
Ecológica	Generación de residuo
	Consumo de agua
	Eficiencia energética
	Manejo y conversión de los residuos pecuarios

Fuente: Elaborada por autores

Fase 7. Diseño de propuestas con las oportunidades de PML. Con base de la priorización de las oportunidades de PML, se calculan los respectivos costos de ineficiencia, teniendo en cuenta la aplicabilidad técnica y los beneficios ambientales y económicos de la alternativa, para determinar la su implementación en la zona de estudio. A partir de ello, con la selección de las estrategias de

producción más limpia se procede a realizar un diseño de las propuestas cuyo fin es sensibilizar a los dueños de la granja para su posterior implementación.

Fase 8. Análisis de Resultados. Partiendo de los diferentes resultados obtenidos tras el desarrollo de las diferentes actividades propuestas para el proyecto, se realiza el análisis con el fin de verificar el cumplimiento de los objetivos planteados y la viabilidad de aplicación de este en la granja.

Fase 9. Entrega Documento Final. Se dan a conocer los resultados, análisis, conclusiones y recomendaciones del desarrollo del proyecto, con el propósito de generar un aporte que permita la aplicación de este tipo de proyectos en granjas porcícolas con similares características a las estudiadas, con el fin de optimizar los procesos a través de estrategias planteadas desde la perspectiva ingenieril.

8.8 Actividades, técnicas e instrumentos

Tabla 7. Actividades, técnicas, instrumentos y resultados esperados por cada objetivo planteado.

Objetivo General	Objetivos específicos	Actividades	Técnicas	Instrumentos	Resultados esperados
PRIORIZACIÓN DE OPORTUNIDADES DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA ENFOCADA EN INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA GRANJA “AGROCACHACA” EN LA VEREDA SAN JOSÉ DE NOCAIMA, CUNDINAMARCA PARA MEJORAR SU DESEMPEÑO AMBIENTAL.	Realizar un diagnóstico y caracterización de la granja porcícola “Agrocachaca” en el municipio de Nocaima-Cundinamarca.	1. Revisión bibliográfica. 2. Visita de campo a la granja “Agrocachaca”, Nocaima-Cundinamarca. 3. Realización de entrevista. 4. Estimación de cantidad de consumo de materia prima, agua, energía y generación de residuos y subproductos.	1. Búsqueda, análisis y discusión de bibliografía internacional, nacional y local. 2. Realización encuesta. 3. Recorrido y observación del proceso productivo de la granja porcícola. 4. Análisis documental y metodológico. 5. Análisis de los consumos energéticos y generación de residuos en el proceso.	1. Bases de datos, artículos científicos, libros y proyectos de investigación. 2. Cuestionario. 3. Agenda de notas y registro fotográfico. 4. Hojas de cálculo 5. Ecomapa y ecobalance	1. Conocer diferentes investigaciones y referentes teóricos sobre el proceso del sector porcícola. 2. Diagnóstico del proceso de la granja porcícola en sus aspectos ambientales 3. Representación visual del proceso productivo y de las instalaciones de cada etapa. 4. Cuantificación de consumos y generación por etapa de reproducción, precebo y ceba. 5. Reconocer las áreas que requieren la implementación de estrategias de PML
	Identificar las oportunidades de producción más limpia para la finca porcícola “Agrocachaca” en el municipio de Nocaima-Cundinamarca.	1. Identificación de áreas críticas de la granja “Agrocachaca”. 2. Establecer alternativas de producción más limpia.	1. Análisis documental 2. Análisis multivariable de aspectos económicos, técnicos, ecológicos y sociales.	1. Artículos, libros, tesis y revistas 2. Matrices de evaluación de estrategias planteadas	1. Listado de alternativas de producción más limpia con beneficios e insumos respectivamente. 2. Selección de la alternativa más viable para la granja por su puntaje mayor.
	Diseñar propuestas con las oportunidades de producción más limpia para la granja porcícola “Agrocachaca” en el municipio de Nocaima-Cundinamarca.	Realizar diseños estándar para las oportunidades de producción más limpia seleccionadas	1. Analizar documentos, 2. Dimensionamiento de oportunidades	1. tesis, artículos y manuales de operación. 2. Excel	1. Propuesta para cada una de las alternativas con su respectiva descripción, dimensionamiento, beneficio ambiental y económico, valoración y su costo-beneficio.

Fuente: Elaborado por autores

9. Plan de Trabajo

9.1 Cronograma

El cronograma se encuentra ubicado en el Anexo IV.

9.2 Presupuesto

Tabla 8. Presupuesto del proyecto de investigación.

Rubros	Fuentes								Total
	Colciencias	Universidad El Bosque		Total U. El Bosque	Nombre Entidad 1	Nombre Entidad 2	Nombre entidad 3	Nombre entidad 4	
		Desembolso nuevo	Desembolso normal						
1. Personal científico	0	0	9,353,434	9,353,434	0	0	0	0	9,353,434
2. Equipos	Compra	0	0	0	0	0	0	0	0
	Uso	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Materiales e insumos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Bibliografía	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Software	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Viajes	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7. Salidas de campo	0	0	50,000	50,000	0	0	0	0	50,000
8. Servicios técnicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9. Eventos académicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10. Mantenimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11. Publicaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12. Seguimiento y evaluación (3% del total solicitado)	0	0	0	0					
13. Gastos de operación (7% del total solicitado)	0	0	0	0					
11. Otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales	0	0	9,403,434	9,403,434	0	0	0	0	9,403,434

Fuente: Elaborado por autores

10. Resultados, Análisis y Discusión.

10.1 Objetivo 1: Diagnóstico y caracterización de la granja porcícola “Agrocachaca” en el municipio de Nocaima-Cundinamarca.

La granja Agrocachaca, fundada en el año 2000 por el Señor Mario Delgado Forero, cuenta con una extensión de 11,6 hectáreas de las cuales solo 1,6 ha (16000 m²) son dedicadas a la actividad productiva (porcicultura), se caracteriza por estar ubicada en la zona rural (agropecuaria-agroindustrial) acompañada de casas residenciales y cuerpos de agua del municipio de Nocaima- Cundinamarca en la vereda San José.

Sus principales vías de acceso son vía Nocaima-Nimaima a 3,5 kilómetros aproximadamente, la vía de acceso hacia la granja porcícola “Agrocachaca” no se encuentra pavimentada.

Figura 11. Distancia desde la vía principal Nocaima-Nimaima a la granja Agrocachaca

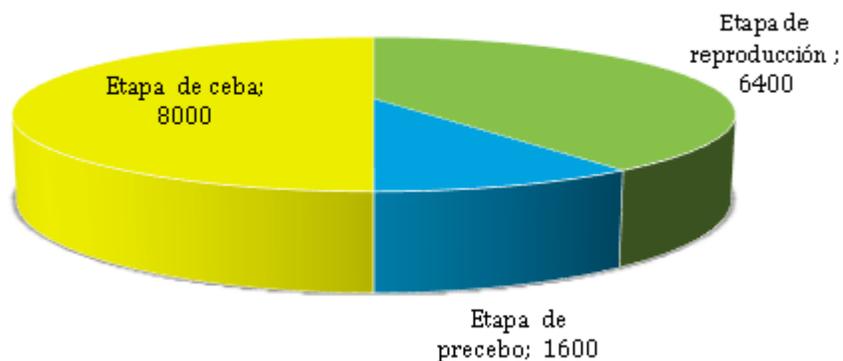


Fuente: Google Earth, 2019

Las actividades realizadas en la granja son la crianza y engorde de cerdos con una genética llamada PIC (Centro de genética de cerdos en España), cuenta en promedio con 800 cerdos, de los cuales 198 cerdas que están en la etapa de reproducción, 2 machos, 300 cerdos en la etapa de precebo y 300 cerdos de engorde. Se caracteriza por ser una granja de ciclo completo con 3 etapas principalmente que son la reproducción, precebo y ceba; no se realizan actividades de sacrificio animal, solo con fines de venta de porcinos, en promedio se venden mensualmente 300 ejemplares. Además, cabe destacar que el área de cada una de estas etapas productivas se expresa en la siguiente gráfica:

Figura 12. Área de las etapas del proceso productivo de la granja "Agrocachaca"

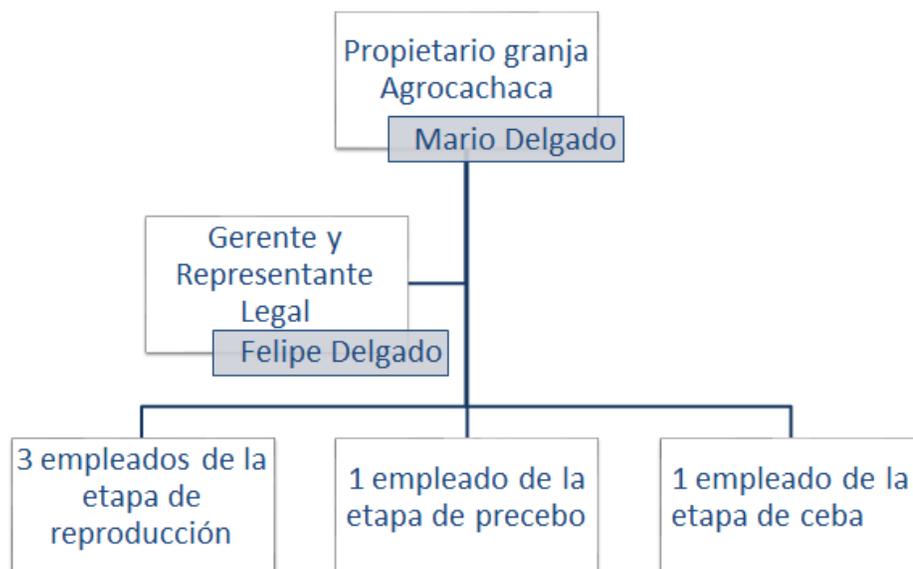
Área de las etapas de producción (m²)



Fuente: Elaborada por autores

En cuanto a la estructura organizacional de la granja Agrocachaca está a cargo del propietario y del gerente general Felipe Delgado, junto a 5 empleados distribuidos por las etapas del proceso productivo con un horario de 8 horas/día, la casa del dueño se encuentra a 40 metros de la zona de producción y cuenta con los servicios básicos. A continuación, se puede visualizar el organigrama de la empresa:

Figura 13. Organigrama de la granja "Agrocachaca"



Fuente: Elaborada por autores

Hoy en día la granja tiene como proveedores del concentrado para los animales las empresas Solla y Cipa, las cuales les proporcionan diferentes tipos de concentrado puesto que en cada etapa difiere la cantidad y la calidad de nutrientes. Así mismo actualmente sus principales compradores son dos comerciantes de carne de cerdo, los cuales son Porcisan y Corredor López, donde cada mes aproximadamente se venden 300 cerdos entre estas dos empresas. A pesar de tener un gran énfasis en la calidad de su producto cabe destacar que no tienen conocimiento sobre las afectaciones que puede generar en el entorno este tipo de producciones, como se puede evidenciar en la siguiente tabla donde se resume alguna de las preguntas de la entrevista realizada a Felipe Delgado (gerente de la granja):

Tabla 9. Requisitos legales de la granja Agrocachaca.

Pregunta	Respuesta
¿Han realizado ustedes mediciones a las emisiones atmosféricas de su proceso de producción?	No
¿Han caracterizado las aguas residuales de su proceso de producción?	No
¿Conocen el tipo y la cantidad de residuos que generan en su proceso de producción?	No

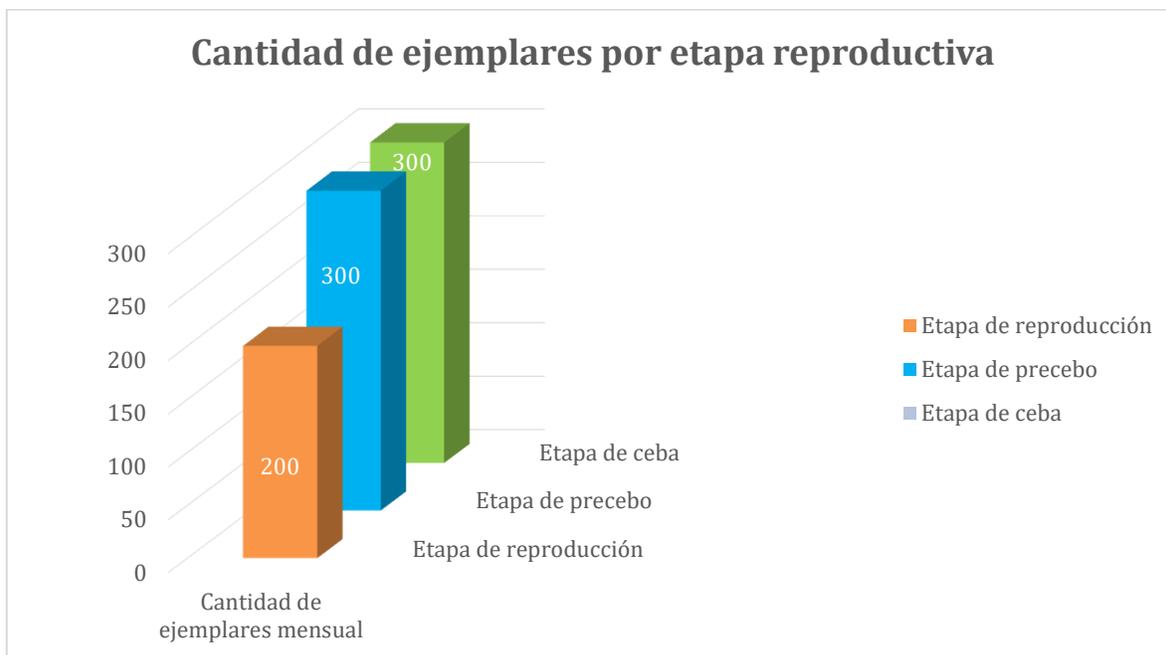
¿Han hecho mediciones del ruido generado en su proceso de producción?	No
¿Conocen los peligros potenciales relacionados con su operación?	No
¿Disponen de datos relacionados con el consumo de energía de la planta y demás edificaciones?	Si
¿Conocen el consumo de energía relacionado con sus procesos y líneas de producción?	Si
¿Tienen conocimiento de todos los requisitos legales que su organización debe cumplir?	Si
¿Tienen evidencia que sus proveedores cumplen con los requisitos legales que a ellos les aplican?	Si
¿Sus productos o servicios cumplen con las regulaciones legales requeridas?	Si

Fuente: Elaborado por Autores

10.1.1 Identificación de entradas y salidas en el proceso productivo de la granja Agrocachaca.

Para la identificación de entradas y salidas del proceso se realizó una caracterización en la cual se evidenciaron la cantidad de ejemplares por etapa y los recursos o materiales necesarios para llevar a cabo la producción y los residuos o subproductos generados; a partir de ello se realizó un diagrama de las entradas, procesos, salidas por etapas (reproducción, precebo y ceba) obteniendo los siguientes resultados

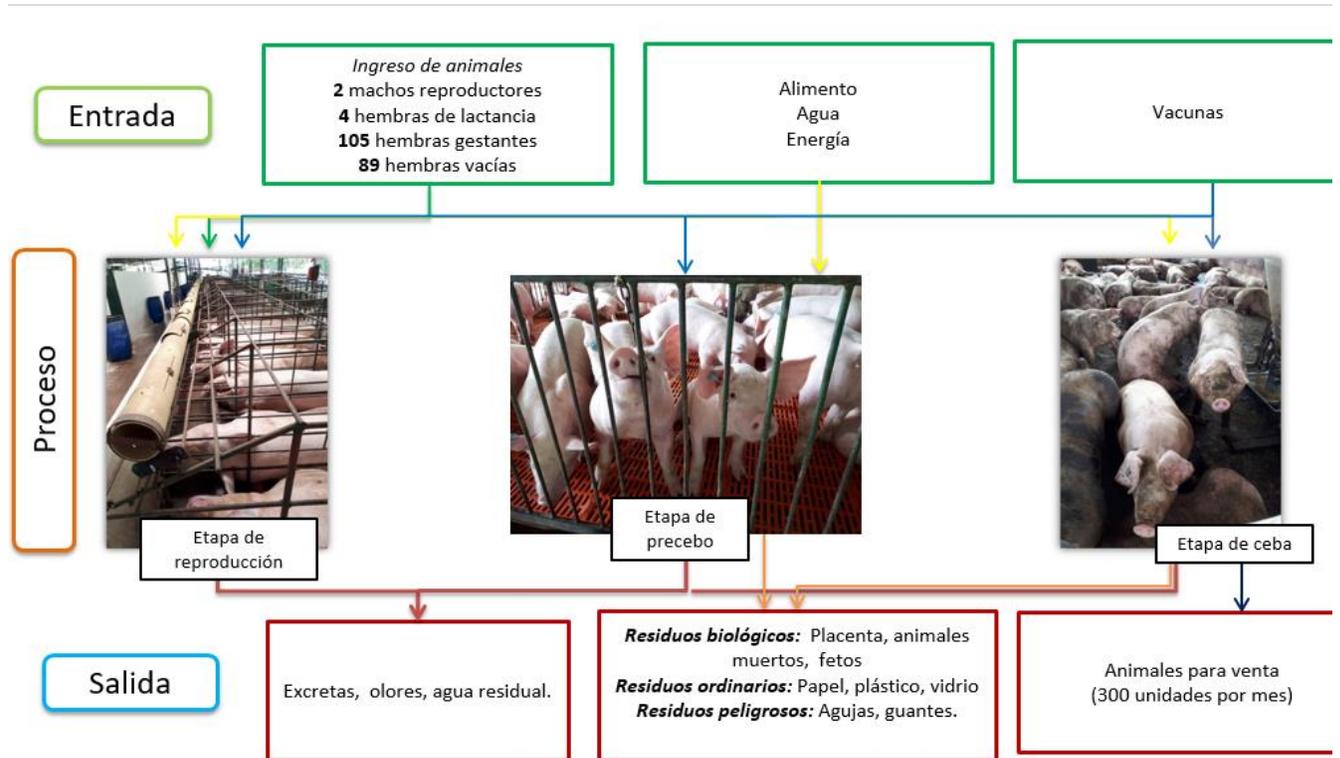
Figura 14. Cantidad de ejemplares por etapa reproductiva (mensual).



Fuente: Elaborada por autores

A continuación, se puede reflejar gráficamente las entradas, procesos y salidas del proceso productivo de la granja:

Figura 15. Diagrama de entradas, procesos y salidas del proceso productivo de la granja "Agrocachaca".



Fuente: Elaborado por Autores

A partir de lo anterior, se tomaron los registros necesarios en cuanto consumo de agua, energía, materia prima y la generación de residuos aprovechables, peligrosos y aguas residuales en el desarrollo del proceso productivo de la granja “Agrocachaca”. Los cuales se verán reflejados en tablas a continuación:

10.1.2 Consumo de energía eléctrica

El consumo de energía tiene un costo aproximado de \$ 2.000.000 por mes los cuales son facturados por la empresa Condensa S.A. ESP-Enel-Emgesa, este valor representa el consumo de toda la granja con aproximadamente 1362 Kwh que equivalen a 16344 Kw/año puesto que es necesario un uso masivo de 12 horas en la noche para los lechones, todo esto sumado al consumo de la casa del propietario y la de los empleados.

10.1.3 Consumo de agua por etapas

Para sistematizar los datos de consumo de agua por etapas se tomó información secundaria de la guía ambiental para el subsector porcícola por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Sociedad de Agricultores de Colombia debido a que la granja no tiene un control del consumo de ésta, esto es porque las aguas que ellos usan provienen de la recolección de agua lluvia y adicionalmente no permitieron hacer las mediciones respectivas ni se comprometieron a realizarlas ellos mismos. A continuación, se presentan las tablas con la información secundaria respecto al consumo de agua para limpieza y para beber.

Tabla 10. Consumo de agua para beber.

		Necesidades de agua		
		Mini mo	Máxim o	Promedi o
Edificio	Cerdo	kg / cerdo / día		
Gestación	Reproductores	12	20	16
	Hembras en gestación	15	20	18
	Hembras vacías	15	20	18
Maternidad	Hembras lactantes	18	25	22
	Lechones (hasta 7 kg)	0.2	1	0.6
Destete	Precebo (7 – 23 kg)	2	4	3
Finalización	Levante (23 – 55)	4	6	5
	Engorde (55 – 100)	6	9	8

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2002

Tabla 11. Datos consumo de agua para limpieza

Clase de Cerdo	Necesidades de agua para limpieza
	Litros/ día
Reproductor	4,5
Hembra	4,5
Engorde	1

Fuente: SOLLA, s.f

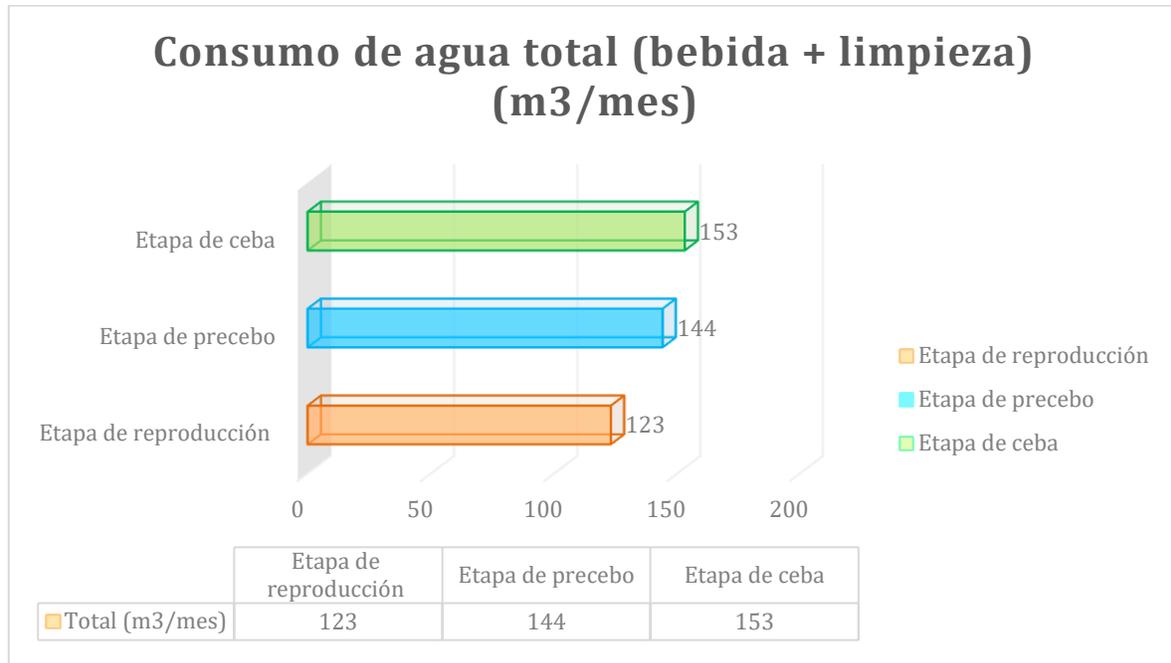
A partir de lo anterior se pudo determinar el consumo de agua en unidades de (m^3 /mes) como se puede evidenciar en la tabla 14 y figura 16:

Tabla 12. Consumo de agua por etapas del proceso productivo

<i>Etapas del proceso</i>	<i>Clase</i>	<i>Cantidad de ejemplares</i>	<i>Consumo de agua</i>		
			<i>Limpieza (m³/mes)</i>	<i>Bebida (m³/mes)</i>	<i>Total (m³/mes)</i>
<i>Etapa de reproducción</i>	Reproductor	2	0,3	1	1
	Hembra lactancia	4	0,5	2	2
	Hembra gestante	105	14,2	50	65
	Hembra vacía	89	12,0	43	55
<i>Etapa de precebo</i>	Lechón	300	0	144	144
<i>Etapa de ceba</i>	Cerdo de engorde	300	9,0	144	153
<i>Total</i>		800	36,0	384	420

Fuente: Elaborado por Autores

Figura 16. Consumo de agua total (bebida y limpieza) de las etapas productivas en m^3 /mes



Fuente: Elaborado por Autores

En la tabla se evidencia un consumo de agua significativo de los cerdos de engorde que corresponden a la etapa de finalización o ceba con aproximadamente un consumo de 420 m³/mes (limpieza + bebida), esto es debido a que desde el punto de vista fisiológico se considera que el agua es esencial para que los animales puedan tener un proceso metabólico equilibrado tanto en la parte osmótica como en su regulación térmica, y al comparar con la literatura según (Rodríguez, 2017) los cerdos de engorde consumen el 62% del agua utilizada en el conjunto de todas las etapas de producción, y en condiciones de temperatura de 18° a 25° C, la temperatura normal de la zona de estudio (Nocaima) normalmente un cerdo de 100 kg requiere aproximadamente de 7 Litros de agua /día, por lo que se puede afirmar que lo que pasa actualmente en la granja es que los propietarios en dicha etapa se aseguran que diariamente el consumo de agua sea el máximo, generando que en esta etapa se consuma más agua ya sea por factores como la gran cantidad de cerdos (300 cerdos), un aprovechamiento máximo por cada cerdo para poder venderlo a mayor precio por lo que es necesario que su crecimiento sea exponencial y su engorde sea acelerado lo cual es directamente proporcional con la cantidad de agua que consumen.

Por otro lado, el consumo de agua para la limpieza de esta etapa es evidente puesto que al momento de la observación en campo se pudo evidenciar que no se tiene una cama baja que permita una recolección adecuada de los excrementos,

como se puede ver en la imagen 8 sino que se limpia con una manguera a chorro abierto aproximadamente 1 a 2 veces por semana, esto está generando un foco de contaminación alto puesto que esas aguas residuales no se les hace un manejo y tratamiento adecuado antes de que llegue al suelo y posterior a aguas superficiales generando problemas de eutrofización del agua y la disminución de la vida acuática puesto que se aumenta la demanda de oxígeno. El río Negro es la principal receptora del agua residual que genera en la granja Agrocachaca.

Figura 17. Registro fotográfico de la etapa de ceba.



Fuente: Elaborado por Autores

De igual manera analizando respecto a la fisiología de los cerdos, el consumo de limpieza más significativo es el de la hembra gestante debido a que al ser de un tamaño grande, gracias a que está preñada, requiere tanto consumo como limpieza mayor.

10.1.4 Consumo de materia prima total

La granja realiza una compra de concentrado a las empresas Cipa y Solla, encargada de la venta de productos para alimento de animales de granja, en este caso la granja compra para cada etapa de esta manera:

- Para la etapa de reproducción se utiliza marranas gestación, marranas y marranas lactancia primeriza.
- Para la etapa de precebo se utiliza preiniciador, lechón, lechón 50 y cerdos levante.
- En la última etapa de ceba el alimento proporcionado es cebarápido.

Tabla 13. Consumo diario de alimento por etapa.

		Alimentación por cerdo		
		Mínimo	Máximo	Promedio
Edificio	Cerdo	kg / cerdo / día		
Gestación	Reproductores	2.0	3.0	2.5
	Hembras en gestación	2.0	2.5	2.2
	Hembras vacías	3.0	3.0	3.0
Maternidad	Hembras lactantes	4.0	6.0	5.0
	Lechones	0.1	0.1	0.1
Destete	Precebo	0.5	0.6	0.5
Finalización	Levante	1.5	2.0	1.7
	Engorde	2.0	3.5	2.7

Fuente: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. 2002

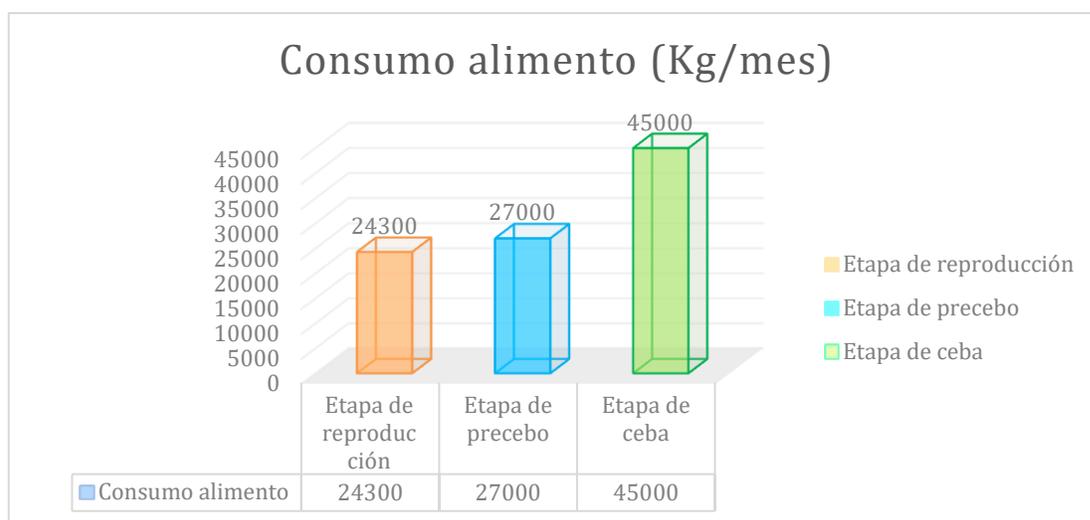
En base a lo anterior consultado y al tener en cuenta que la cantidad de alimento es sobredimensionada debido a que la granja alimenta más a los animales con el fin de querer engordarlos y poder venderlos en un periodo corto de tiempo, es decir, mientras que un cerdo de engorde necesita 3,5 kg al día, en la granja lo alimentan con 5kg al día, así mismo han aumentado en la etapa de precebo y en las hembras vacías para que puedan recuperarse más rápido y seguir con el proceso, ante esto se determinó la cantidad de alimento por etapa en la granja “Agrocachaca” en la tabla 14 y figura 18:

Tabla 14. Cantidad de alimento requerido por etapa.

<i>Etapas del proceso</i>	<i>Clase</i>	<i>Cantidad de ejemplares mensual</i>	<i>Alimento (Kg* cerdo/mes)</i>
<i>Etapa de reproducción (anual)</i>	Reproductor	2	240
	Hembra lactancia	4	780
	Hembra gestante	105	12600
	Hembra vacía	89	10680
<i>Etapa de precebo</i>	Lechón	300	27000
<i>Etapa de ceba</i>	Cerdo de engorde	300	45000
<i>Total</i>		800	96300

Fuente: Elaborado por autores

Figura 18. Consumo de alimento Kg*cerdo/mes de las etapas productivas.



Fuente: Elaborado por autores

La tabla muestra una diferencia significativa en el consumo de alimento para la etapa de ceba respecto a las otras etapas puesto que según la revista (ElSitioPorcino, 2016) la alimentación representa un promedio entre 65% a 70% de los costos de producción del proceso productivo, y se considera que la etapa de finalización o engorde representa el 70% del porcentaje anterior. Por lo cual en la granja dicha etapa de ceba es la que mayor consume puesto que la cantidad de cerdos es más del triple que en las demás. Adicional a esto, al ser una etapa de engorde, el consumo debe ser más constante y la dieta debe tener una precisión en el fraccionamiento de los nutrientes para poder entregar en el menor tiempo posible los cerdos con el peso solicitado por el comprador.

De igual manera según el (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2014) es de gran importancia que la etapa de levante y ceba, se estimule su crecimiento y mejora de la conversión de dicho alimento, por lo cual por cada 100 kilos vivo en la granja se le debe suministrar: 12-4% de proteína, 65% de energía, lípidos o grasas 10%, fibra 6%, 1,5 a 2 gramos de calcio y fósforo.

10.1.5 Generación de residuos peligrosos

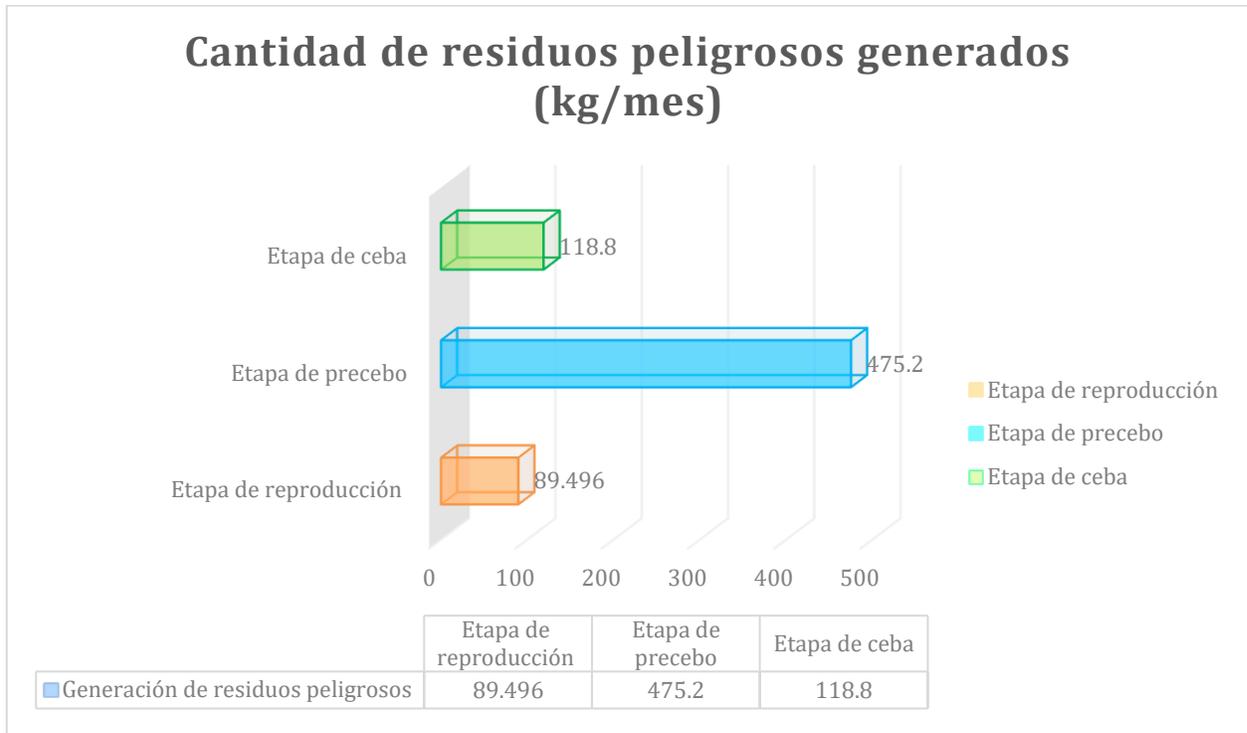
En una industria porcina como la granja Agrocachaca de ciclo completo, es necesario tener en completo orden los temas de sanidad y vacunación de los cerdos y como se observó en las visitas a campo es uno de los residuos que se generan principalmente, ante ello, se consultó en la Asociación Uruguaya de Productores de Cerdos la cantidad de vacunas que se necesitan por tipo de cerdo en una granja. En base de la información se multiplicó por el peso de una jeringa (13,2 g) y por la cantidad de cerdos correspondientes, posterior a ello se pasó a kilogramos y se multiplica para que dé mensual. En base a lo anterior se consolidó por etapa la cantidad de residuos peligrosos como se evidencia en la tabla 15 y en la figura 19:

Tabla 15. Generación de residuos peligrosos por etapa del proceso productivo.

<i>Etapas del proceso</i>	<i>Clase</i>	<i>Cantidad de ejemplares</i>	<i>Residuo peligroso (kg/mes)</i>
<i>Etapa de reproducción</i>	Reproductor	2	3,2
	Hembra lactancia	4	3,2
	Hembra gestante	105	83,2
	Hembra vacía	89	0
<i>Etapa de precebo</i>	Lechón	300	475,2
<i>Etapa de ceba</i>	Cerdo de engorde	300	118,8
Total		800	680,3

Fuente: Elaborado por Autores

Figura 19. Cantidad de residuos peligrosos generados en Kg*cerdo/mes



Fuente: Elaborado por Autores

En esta tabla los residuos peligrosos la etapa de precebo presenta una gran variación respecto a las demás etapas, puesto que es donde se usa mayor cantidad de residuos peligrosos más específicamente de carácter biológico, principalmente de elementos cortopunzantes (jeringas, agujas, bisturí) usados para las vacunas, esto se puede corroborar con el estudio que realizó (Amado, 2006) enfocado en el diseño de un sistema de costos por procesos en la granja porcícola el refugio en Alban -Cundinamarca donde demuestra que a los lechones se les debe aplicar las medicinas por individual de 2 ml de hierro por cerdo, peste porcina 2 ml y leptospira de 2 ml, ya que los lechones se caracterizan por ser vulnerables y se aplican a los 3 a 5 días de nacidos para que haya un desarrollo y crecimiento adecuado. De igual manera, en esta etapa se presentan mayor cantidad de residuos anatomopatológicos como lechones nacidos muertos o que mueren a los pocos días de su nacimiento (Jiménez D, 2010).

Cabe aclarar que la granja maneja y dispone de manera adecuada estos residuos peligrosos, los almacena de manera segura desde que llegan a la granja hasta que acaban su vida útil, los trabajadores se encargan de llamar a la empresa Empresa REII S.A. E.S.P para que ellos posteriormente les hagan un tratamiento adecuado y los dispongan.

10.1.6 Generación de estiércol

La generación de estiércol está dividida entre la cantidad de materia fecal y orina. Este estiércol es generado por la cantidad de alimento suministrado y la cantidad de agua que beben los animales. El problema principal se centra en esta área debido a que no se hace una recolección ni una disposición final adecuada, por lo que para tener el dato de las excretas generadas se tomó en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 16. Generación de estiércol por animal (diario).

Estado	Promedio	Rango	Peso X kg/animal	Estiércol kg/cab./día
Hembra vacía	4.61	3.3 – 6.4	150	6,91
Hembra gestante	3.00	2.7 – 3.2	180	5,40
Hembra lactante	7.72	6.0 – 8.9	190	14,67
Macho reproductor	2.81	2.0 – 3.3	160	7,38
Lechón lactante	8.02	6.8 – 10.9	3,5	0,28
Precebos	7.64	6.6 – 10.6	16	1,22
Levante	6.26	5.9 – 6.6	35	2,19
Finalización	6.26	5.7 – 6.5	80	5,01

Fuente: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2002

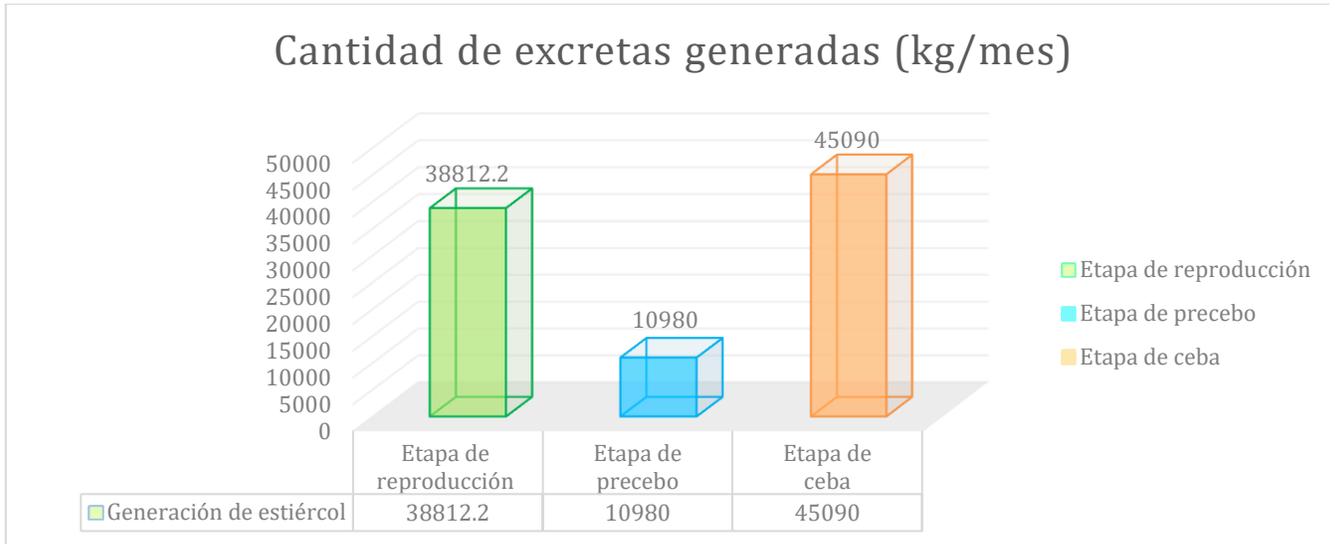
A partir de ello, se calculó las excretas totales por etapa y clase de animal junto el porcentaje de orina y heces que corresponden a un 45% y 55% respectivamente como se puede observar en la tabla 17.

Tabla 17. Generación de estiércol en la granja "Agrocachaca"

Etapas del proceso	Clase	Cantidad de ejemplares mensual	Excretas totales (Kg/mes)	Cantidad de orina	Cantidad de heces
<i>Etapa de reproducción (anual)</i>	Reproductor	2	337	152	185
	Hembra lactancia	4	1760	792	968
	Hembra gestante	105	17010	7655	9356
	Hembra vacía	89	19705	8867	10838
<i>Etapa de precebo</i>	Lechón	300	10980	4941	6039
<i>Etapa de ceba</i>	Cerdo de engorde	300	45090	20291	24800
<i>Total</i>		800	94882	42697	52185

Fuente: Elaborado por Autores

Figura 20. Cantidad de excretas generadas en Kg/mes



Fuente: Elaborado por Autores

A partir de la anterior gráfica se puede evidenciar que la mayor cantidad de excretas se generan en la etapa de ceba, principalmente porque es donde más se les proporciona alimento para llegar al engorde deseado y según lo observado en visita es donde hay mayor cantidad de ejemplares por espacio asignado y se lavan una vez por semana, por lo cual está generando que el excremento se acumule por varios días. Ante esto, se evidencia un gran problema debido a que no se tiene un control y disposición final adecuado a estos ya que al lavar con agua, conlleva a que dicha agua residual por temas de escorrentía contamine a fuentes hídricas cercanas a la granja, ante esto se ve un punto crítico que con urgencia necesita un manejo, por lo que sería adecuado realizar capacitaciones de buenas prácticas por parte del personal enfocadas en reducir las aguas residuales con el fin de que tengan en cuenta las consecuencias al momento de hacer este tipo de actividades.

A partir de la información recolectada y sistematizada en las anteriores tablas, se realizó una tabla general que indica de forma resumida y completa los consumos y las generaciones por cada etapa reproductiva y su porcentaje respecto al total, a partir de ello se hizo el ecomapa, el cual nos muestra el o las áreas críticas del proceso productivo y posteriormente darle prioridad para establecer oportunidades de PML.

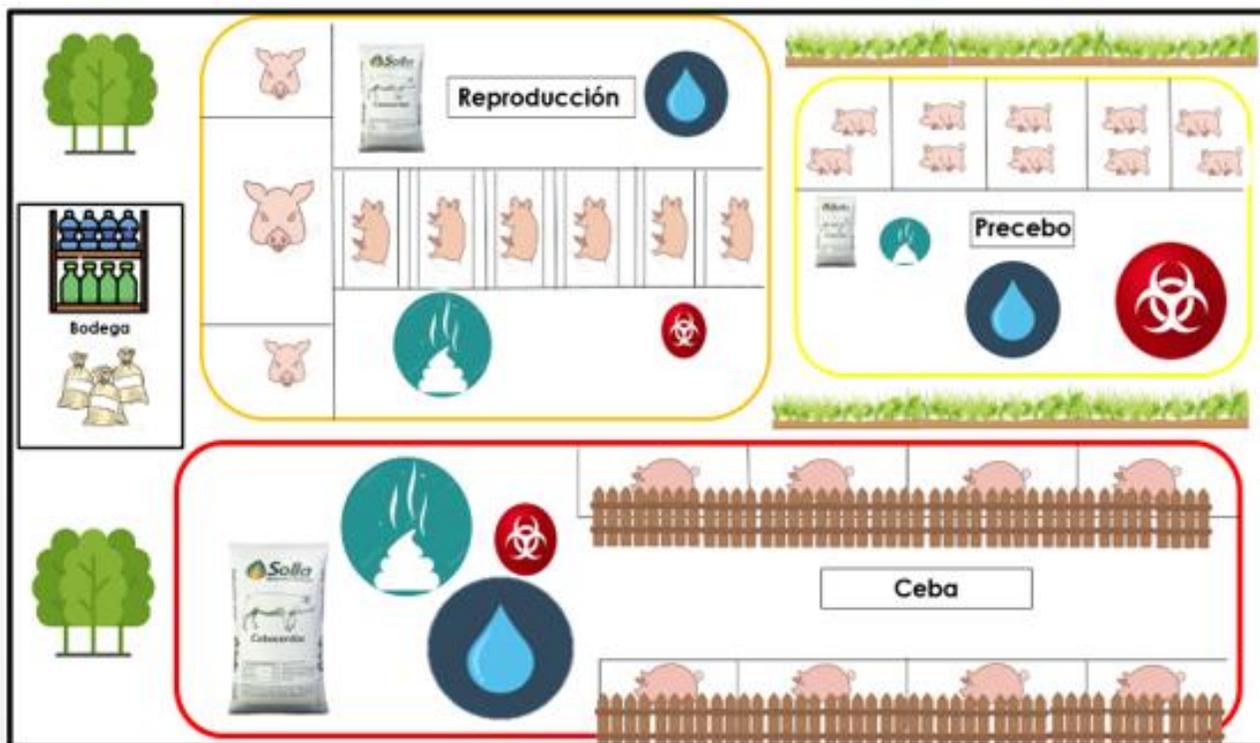
Tabla 18. Resumen de los consumos y generaciones por etapa productiva.

Etapas productivas	Consumo de agua m3/mes	%	Consumo alimento (kg/mes)	%	Generación de residuos peligrosos (kg/mes)	%	Generación de excretas (kg/mes)	%
Reproducción	123	29.29	24300	25.23	89.5	13.09	38812	40.91
Precebo	144	34.29	27000	28.04	475.2	69.52	10980	11.57
Ceba	153	36.43	45000	46.73	118.8	17.38	45090	47.52
Total	420	100	96300	1000	683.5	100	94882	100

Fuente: Elaborado por Autores

A continuación se diseñó un ecomapa en base de la información recolectada y así con ayuda de iconos y de la tabla anterior se evidenciaron las áreas que tienen mayor cantidad de consumos y generaciones (iconos grandes) y las que menos impactan (iconos pequeños), es decir para el consumo de agua (m3/mes) la etapa de ceba es la que mayor consume (36,46%) y la que menos consume es la etapa de reproducción (29,29%), respecto al consumo de alimento (kg/mes) la etapa que más consume es la de ceba con un 46,73% y la que menos consume es la de precebo con un 25,23%, por otro lado en generación de residuos peligrosos (kg/mes) la etapa que más consume es precebo con un 69,52%, esto debido a que en dicha etapa se realizan las vacunas correspondientes y la que menos genera es la etapa de reproducción con un 13,09%, por último la generación de excretas (kg/mes) presento un alto porcentaje en la etapa de ceba (47,52%) y en menor cantidad (11,57%) en la etapa de precebo.

Figura 21. Ecomapa de las etapas del proceso productivo de la granja "Agrocachaca"



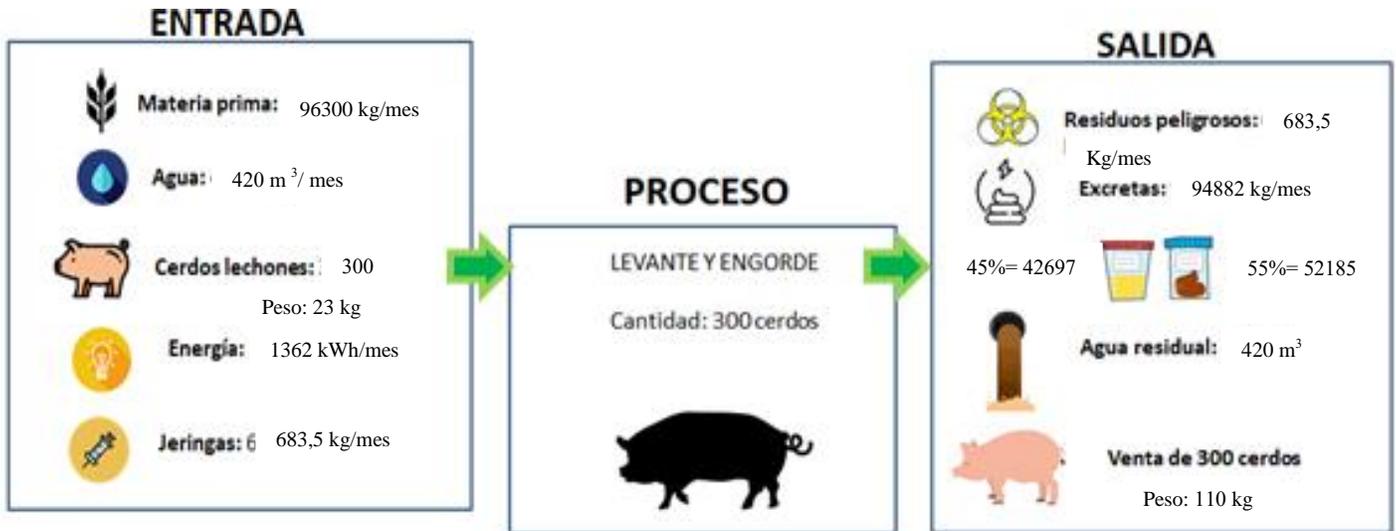
-  Generación de residuos peligrosos
-  Consumo de agua (bebida + limpieza)
-  Generación de residuos pecuarios (excremento)
-  Consumo de alimento comercial

Fuente: Elaborado por Autores

Como se explicó anteriormente, la herramienta de eco balance permite tener un detalle de cada proceso de la producción teniendo en cuenta las entradas y salidas con el fin de identificar los consumos como las pérdidas y así poder calcular la

eficiencia del proceso, por lo cual se realizó el eco balance de la granja “Agrocachaca” como se puede ver a continuación:

Figura 22. Ecobalance en general del proceso productivo de la granja "Agrocachaca"



Fuente: Elaborado por Autores

Eficiencia del proceso:

$$= \frac{\left(96300 \frac{kg}{mes} + \frac{420 m^3}{mes} + 1362 kWh + 683,5 \frac{kg}{mes} + 300 cerdos\right) - \left(94882 \frac{kg}{mes} + \frac{420 m^3}{mes} + 683,5 \frac{kg}{mes} + 300 cerdos\right)}{\left(96300 \frac{kg}{mes} + \frac{420 m^3}{mes} + 1362 kWh + 683,5 \frac{kg}{mes} + 300 cerdos\right)} = 2.8\%$$

A partir del uso de la herramienta de ecomapa y eco balance, se identificó que el área más crítica es la etapa de ceba principalmente por la cantidad de agua que se consume para bebida como en limpieza (36,46%), además se presenta un gran consumo de materia prima (46,73%) por la cantidad de ejemplares y lo más relevante es la generación de estiércol (47,52%), puesto que la cantidad es alta y no posee ningún tipo de tratamiento representando un foco de contaminación alto principalmente por la falta de información del dueño y los trabajadores sobre las consecuencias de no realizar un manejo a dichos excrementos. Ante esto, se puede observar que la eficiencia en temas ambientales es muy poca puesto que lo mismo que entra sale, ya que no se está realizando un producto sino que se un levante y engorde del animal y básicamente entra, procesa, pero vuelve y sale como residuo.

10.2 Objetivo 2: Identificar y priorizar las oportunidades de producción más limpia que abordan los puntos críticos identificados.

En base a la información recolectada en el diagnóstico de la granja porcícola donde se evidencia que el punto crítico de la granja es la etapa de ceba, a partir de ello se plantearon oportunidades que pueden generar un beneficio a ésta.

10.2.1. Complementar el alimento de los animales con porquinaza. En base a que el gasto de alimento para los animales es 70'000.000 equivalente a 44 Ton/mes equivalente al 65 - 70% de los costos de producción (ElSitoPorcino,2016). Una de las alternativas es poder sustituir un porcentaje del alimento comercial que se les suministra a los cerdos por aproximadamente un 10% del excremento que se genera en la etapa de ceba, la manera de hacer esto es principalmente con una recolección de porquinaza y posteriormente pasarla por un proceso de secado al sol o a un horno de aire forzado a 60°C hasta conseguir una muestra homogénea, es decir, una materia seca, puesto que según estudios realizados por (Universidad Libre de Colombia , 2013) los beneficios que se tienen al incorporar esto son los siguientes:

- ✓ Existe un beneficio económico puesto que se reduce el gasto por compra de concentrado para cada etapa.
- ✓ Presentan una mayor ganancia de peso, una ganancia diaria al incluir un 10% de cerdaza en el alimento.
- ✓ Aumento en la eficiencia alimenticia permitiendo que exista una estrategia importante para el manejo integral de cualquier sistema de producción, puesto que el alimento es lo que mayor costo genera.
- ✓ Permite tener una rentabilidad mayor al 40%.
- ✓ La utilización de porquinaza no puede afectar el desarrollo y crecimiento de los cerdos con esta alternativa.

10.2.2. Instalación de contador de agua por etapa. Debido a que actualmente el agua que se utiliza para el proceso productivo en la granja es recolectada a través de agua lluvia, la oportunidad de mejora que se podría implementar un contador de agua que permita conocer la cantidad de consumo de agua en el proceso industrial con el fin de tener un indicador del consumo para limpieza, para suplir las necesidades de beber, entre otras del cerdo. Y a su vez un indicador que pueda ayudar a detectar posibles excesos o fugas. Puesto que, si existe la sospecha de tener más consumo del que realmente se hace, se puede realizar un análisis sencillo que está basado en comprobar el registro del contador cuando todos los equipos consumidores están parados. Si se detecta consumo puede ser consecuencia de la existencia de una fuga en algún punto de la red (González, 2015).

Al implementar dicha alternativa se podrían conseguir las siguientes ventajas y desventajas tanto económicas como ambientales según (Cardona, 2008):

Tabla 19. *Ventajas y desventajas de la implementación de un contador de agua.*

Ventajas	Desventajas
Se tendrá un registro periódico del consumo de agua por etapa.	Conocimiento en los requisitos específicos que debe tener el contador para que funcione respecto a la dimensión de la granja (UraAgentzia, s,f).
Existe un beneficio económico potencial al ahorrar en el consumo de agua en las diferentes etapas de producción.	Dependiendo el contador su adquisición puede ser baja o elevada (UraAgentzia, s,f).
Reducción en el volumen de agua residual que se va a manejar.	El mantenimiento que se requiera dependiendo el contador (UraAgentzia, s,f).
Disminuir los costos de consumo de agua (en este caso que la granja no posee acueducto con tarifa fija)	
Disminuir el cobro de tasas retributivas por los vertimientos al momento de reducir el volumen de residual.	

Fuente: *Elaborado por Autores*

10.2.3. Recolección en seco de los residuos pecuarios. En base a que la recolección de excremento de los animales se hace mediante presión de agua, la recolección en seco es una alternativa para disminuir el consumo de agua y a su vez evitar la cantidad de aguas residuales que se presenten. Esto puede ser útil para separar los residuos y darles un posterior tratamiento. Las medidas de cómo se debe tomar es principalmente con una pala recoger todos los excrementos desde la etapa de reproducción hasta la etapa de ceba y posteriormente llevarlos en una carretilla hasta un punto de almacenamiento que puede ser de cemento, plástico o madera y con una frecuencia de recolección diaria.

Las ventajas y desventajas que se obtienen al implementar esta oportunidad son las siguientes según (Cardona, 2008):

- ✓ Adquisición de un material caracterizado por ser rico en nutrientes para fertilización.
- ✓ Disminución en los costos de operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento
- ✓ Reducción del consumo de agua en operaciones de lavado.
- ✓ Menor carga orgánica.
- ✓ Permite recuperar o enmendar suelos agrícolas.

- ✓ Preparación de concentrados para bovinos y especies menores.
- ✓ La única desventaja es la demanda de mano de obra.

10.2.4. Generación de energía a través de biodigestores anaeróbicos. Debido a que la cantidad de excretas generadas al mes son 94882 kg, esta alternativa que se plantea para la granja tiene como fin aprovechar los efluentes de porquinaza del área de ceba para utilizar en calefacción en el área de precebo. Esta se basa principalmente en la construcción de un biodigestor que son depósitos o tanques cerrados herméticamente que permiten la carga de sustratos (biomasa) y descarga de efluentes (bio-abono) junto con un sistema de recolección de biogás para aprovechamiento energético (Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación, 2015).

Cabe destacar que el biogás es un gas combustible que se forma a partir de la descomposición microbiana de la materia orgánica llamada biomasa. Es un proceso natural que se genera a partir de un medio húmedo y anaeróbico. Gracias a que es un combustible con un alto nivel calórico, se puede destinar a la generación de energía (Bueso,2014).

Normalmente el estiércol del cerdo puede ser utilizado para la producción de biogás puesto que tiene mayor contenido de grasas, proteínas e hidratos de carbono que permite que tenga mayor biogás (Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación, 2015), el cuál puede ser usado al igual que el gas natural, para la calefacción, la cocción de alimentos o para la producción de electricidad. Se considera que cuando el estiércol es sometido a la digestión anaeróbica, el metano producto de la descomposición de este es capturado y utilizado como fuente de energía (biogás). La producción de biogás constituye una buena práctica de manejo ya que evita emisiones de metano a la atmósfera y el bio-lodo (digestivo) subproducto de la producción de biogás, es un fertilizante de mayor calidad que el estiércol fresco o el compost, dado que, la concentración de nutrientes es más alta y el riesgo de propagación de patógenos y xenobióticos es menor, debido al tratamiento térmico al que el estiércol es sometido durante la digestión anaeróbica.

En temas ambientales, el uso del biogás genera una reducción de los GEI y reduce la generación de aguas residuales, generando así una reducción de la contaminación de los cuerpos receptores (Bueso,2014).

El uso del biogás también beneficia la economía puesto que genera un ahorro en la factura del gas y reduce los costos por uso de leña (Bueso, 2014).

Dentro de las ventajas y desventajas se encuentran las siguientes:

Tabla 20. *Ventajas y desventajas de la implementación de un biodigestor anaerobio.*

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

<p>✓ Generación de energía eléctrica o térmica para uso en temas de cocción de alimentos, calefacción de lechones o hasta reemplazo de combustible (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016).</p>	<p>✓ Se tiene cierto riesgo de explosión por un mal manejo o mantenimiento (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016).</p>
<p>✓ El efluente que se obtiene es un excelente abono y fertilizante (Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación, 2015)</p>	<p>✓ Se requiere de un trabajo diario y constante con un personal capacitado (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016).</p>
<p>✓ Los residuos que se generan de los cerdos no requieren hacerles un pre-manejo antes del biodigestor (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016).</p>	<p>✓ Requiere un área mayor que otros tipos de tratamiento (para 200 cerdos se requiere un área de tratamiento de 400m²) (Corporación autónoma regional del centro de Antioquia, 2016), es decir, que para 800 cerdos de la granja se necesita un área de 1600 m²</p>
<p>✓ Manejo sencillo y no se necesita un mantenimiento sofisticado.</p>	
<p>✓ Su costo no es muy alto y se recupera la inversión al comparar con la disminución de energía de otras fuentes (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016).</p>	
<p>✓ Reducción de gases de efecto invernadero (Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación, 2015)</p>	
<p>✓ Reducción de olores y patógenos (Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación, 2015)</p>	

Fuente: *Elaborado por Autores*

10.2.5. Transformación de residuos pecuarios a través de Lombricompost.

A raíz de la problemática de residuos pecuarios en la granja aumenta consecutivamente y no existe un tratamiento orgánico, una de las alternativas para combatir dicho problema es la implementación de lombricomposteras, el lombricompost es un método de composteo que se usa para transformar los residuos orgánicos en material (humus) usado para proporcionar a los suelos más

permeabilidad tanto para el aire como para el agua ya que se requiere un alto nivel en los cultivos, adicional a esto genera una gran retención de agua y también una capacidad de almacenar y liberar nutrientes requeridos para las plantas, presenta una alta carga microbiana beneficiosa para la actividad biológica del suelo (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2008).

Algunas de las ventajas y desventajas que presenta esta alternativa que se menciona son las siguientes:

Tabla 21. Ventajas y desventajas de la implementación del lombricompostaje

Ventajas	Desventajas
Se procesan las excretas sólidas por lo que no se incrementa el volumen con agua (Corporación autónoma regional del centro de Antioquia, 2016).	Se debe hacer un control y seguimiento de la variable humedad y de los predadores (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016).
No se debe hacer un estricto control de temperatura ni de mayor grado de manipulación para su digestión aerobia (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016)	El espacio normal que requiere es considerable, para 200 cerdos se necesita 85 m ² (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016), es decir, que para 800 cerdos de la granja se requeriría 340 m ²
Ahorro económico en la no compra de fertilizantes (Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2016).	Requiere de mano de obra adicional (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2008).
Solamente se requiere una caja con tabique, una cepa de lombriz californiana roja y residuos orgánicos generados por animales (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2008).	
Aporta permeabilidad al suelo, aumenta retención del agua y la capacidad de almacenar nutriente (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2008).	
Su pH es neutro, se puede aplicar en cualquier suelo sin necesidad de quemar las plantas (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2008).	

<p>Presenta una alta carga microbiana la cual es la que desempeña las funciones de absorción de nutrientes por las raíces (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2008).</p>	
--	--

Fuente: Elaborado por Autores

10.2.7. Encadenamiento productivo con un trapiche vecino para el uso de camas de bagazo para la etapa de ceba. Puesto que el municipio de Nocaima tiene como actividad principal el cultivo y elaboración de panela, una buena alternativa para el dueño de la granja es realizar una simbiosis industrial con los productores de panela puesto que el subproducto que genera la producción panelera (el bagazo) se puede utilizar como camas para los pisos de las porquerizas. Con esta combinación el productor tendría un ingreso extra ya que se genera más material para un compost de buena calidad con el fin de aplicarlo a cultivos o poder comercializarlo (Corporación Autónoma Regional, s.f).

10.2.8 Análisis de las oportunidades de Producción Más Limpia

Como se mencionó anteriormente en la metodología, se realizó el análisis de las oportunidades de Producción Más Limpia respecto a las estrategias que se plantearon este objetivo, se evaluó aspectos técnicos, ecológicos y económicos (Matriz A), compromiso, adaptación, capacitación y comunicación (Matriz B) y finalidad, identidad, autonomía y autocontrol (Matriz C). Para dicha evaluación se estableció la siguiente escala y los criterios (tabla 6) por común acuerdo:

Tabla 22. Puntaje establecido para el análisis multivariable de las estrategias.

Valoración	Puntaje
Viable	5
Medio viable	3
No viable	1

Fuente: Elaborado por Autores

Priorización de oportunidades de producción más limpia enfocada en incrementar la eficiencia del proceso productivo de la granja “Agrocachaca” en la vereda San José de Nocaima, Cundinamarca para mejorar su desempeño ambiental

Sebastián Vargas Guzmán
Natalia Sabogal Romero

Tabla 23. Matriz A para la evaluación de alternativas.

Alternativa	Técnico				Economico				Ecológica			Generación de residuo	Puntaje total
	Área de uso	Facilidad de adquisición	Complejidad tecnológica	Tiempo de preparación	Costo de inversión	Mano de obra	Ingresos	Aporte directo al proceso productivo	Consumo de agua	Eficiencia energética	Manejo y conversión de los residuos pecuarios		
Complementar el alimento de los animales con porquinaza	5	5	5	3	5	4	1	5	5	5	5	3	51
Instalación de contador de agua por etapa	5	5	4	5	3	3	2	4	5	5	5	5	51
Recolección en seco de los residuos pecuarios	5	5	5	5	5	2	3	2	5	5	5	4	51
Generación de energía a través de biodigestores anaeróbios	4	4	4	3	5	3	5	5	5	5	5	5	53
Transformación de los residuos pecuarios a través de lombricompostaje	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	5	56
Encadenamiento productivo con un trapiche vecino para el uso de camas de bagazo para la etapa de ceba	5	5	5	3	5	4	3	3	5	5	5	5	53

Fuente: Elaborado por Autores

Tabla 24. Matriz B del análisis de multivariabes

Alternativa	Compromiso	Adaptación	Capacitación	Comunicación	Puntaje Total
Generación de energía a través de biodigestores anaeróbios	5	3	3	5	16
Lombricompostaje	4	5	5	5	19
Encadenamiento productivo con un trapiche vecino para el uso de camas de bagazo para la etapa de ceba	2	3	3	4	12

Fuente: Elaborado por Autores

Tabla 25. Matriz C del análisis de multivariantes.

Alternativa	Identidad	Finalidad	Autonomía	Autocontrol	Puntaje Total
Generación de energía a través de biodigestores anaeróbios	5	5	3	3	16
Lombricompostaje	2	5	5	5	17

Fuente: Elaborado por Autores

Gracias a la matriz de multivariable se pudo evidenciar que las alternativas más viables fueron la de generar energía a través de un biodigestor con un puntaje de 16 y del lombricompostaje con un puntaje de 17 como se evidencia en la tabla anterior. El lombricompostaje da ventajas tanto económicas como de área de uso, adicional presenta un procedimiento sencillo el cual puede ser aprendido por el operario de la granja de manera sencilla. El proceso es la implementación de microorganismos descomponedores y con la ayuda de la energía solar, donde se transforma en material estabilizado a partir de la mezcla de material vegetal y estiércol dando como resultado un abono orgánico muy bueno que puede ser vendido y tener un ingreso extra. Por otro lado, el biodigestor permite tener un manejo integral de los residuos sólidos y convertirlos en flujos de bienes y servicios con un valor agregado en la parte ecológica y económica. Uno de los residuos son lodos orgánicos (biol) que pueden ser desviados para dirigirlo directo a los cultivos y usarlos como fertilizante y por otro lado está el biogás que permite usarse para generación de energía eléctrica, para generadores, para reemplazo del gas entre otros.

10.3 Objetivo 3. Diseñar propuestas con las oportunidades de producción más limpia priorizadas para la granja porcícola.

Para el manejo, tratamiento y conversión de 94.882 kg/mes de excretas porcinas generadas en la granja Agrocachaca, se decidió elegir las dos alternativas con mayor puntaje derivadas del análisis multivariable realizado en el Objetivo 2 las cuales son: Lombricompostaje y generación de energía a través de biodigestores anaeróbios, puesto que la cantidad generada representa un valor amplio y junto con el sobredimensionamiento no se podría llegar a manejar una sola alternativa. Ante esto se realizará una descripción de la propuesta mostrando el funcionamiento, la finalidad, el dimensionamiento y la valoración económica/ambiental a continuación:

Objetivos

Objetivo general: Aplicar técnicas para el tratamiento y la reutilización de los residuos pecuarios de la granja.

Objetivos específicos:

- Disminuir la cantidad de residuos pecuarios que se disponen de manera inadecuada en el suelo y en los cuerpos de agua cercanos.
- Conversión y utilización eficiente de la energía generada por el biodigestor.
- Obtener recursos económicos adicionales que contribuyan a la economía de la granja.

A partir de dichos objetivos, una de las alternativas para controlar la cantidad de excretas generadas en el proceso productivo que están impactando negativamente a los cuerpos de agua. Esta alternativa fue evaluada anteriormente con otras propuestas mediante una matriz de análisis multivariable de estrategias.

10.3.1 *Lombricompost*

El lombricompost es una técnica de producción usando la lombriz californiana roja para transformar residuos orgánicos biodegradables para generar, a partir de ellos, un fertilizante orgánico (humus) de gran valor al suelo. El humus de lombriz esta principalmente formado por oxígeno, carbono, nitrógeno e hidrogeno, además una gran cantidad de microorganismos benéficos, hormonas y todos los macros y micro nutrientes y biológicas de los suelos, influyendo de la siguiente manera según (Agencia de Desarrollo Económico y comercio exterior, 2002)

Tabla 26. *Propiedades químicas y físicas del humus de lombriz.*

Propiedades químicas	Propiedades físicas
Inhibe el crecimiento de bacterias y hongos patógenos.	Mejoran la estructura, dando menor densidad a los suelos pesados y compactos y aumentando la unión de partículas en suelos muy arenosos.
Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su gran capacidad de absorción.	Mejora la permeabilidad y aireación.
Estabiliza la reacción del suelo	Reduce la erosión del suelo.
Incrementa también la eficiencia de fertilización, particularmente con el nitrógeno	Incrementa la capacidad de retención de humedad.
Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre.	Confiere color oscuro al suelo reteniendo calor.

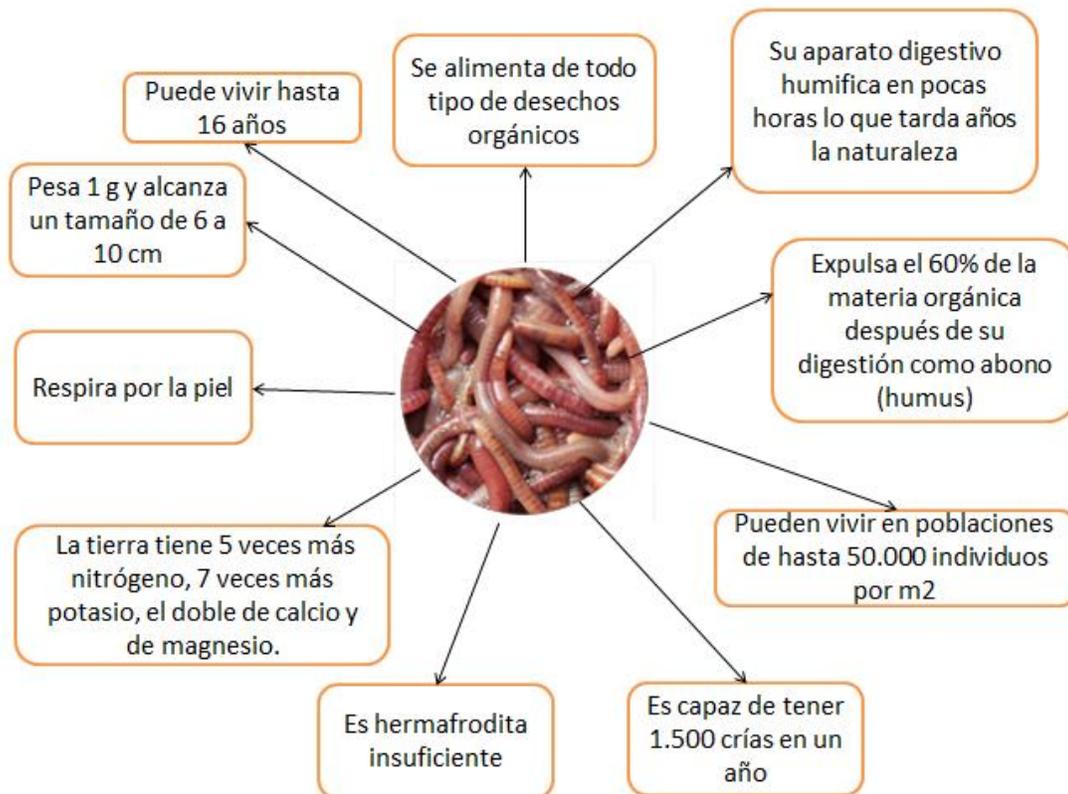
Fuente: Agencia de Desarrollo Económico y comercio exterior, 2002.

Los beneficios que tiene en las propiedades biológicas son que estimula la bioactividad al tener los mismos tipos de microorganismos benéficos del suelo,

pero mayor cantidad, creando un grupo antagónico para los patógenos existentes, además neutraliza sustancias tóxicas como restos de herbicidas, insecticidas, etc. Y solubiliza elementos nutritivos poniéndolos en condiciones de ser aprovechados por las plantas debido a la presencia de enzimas que incorpora y sin las cuales no sería posible alguna reacción química (Agencia de Desarrollo Económico y comercio exterior, 2002).

La especie usada para este proceso es la lombriz californiana roja “Eisenia foetida” Debido a que presenta estas características que son idóneas para el proceso:

Figura 23. Características de la lombriz californiana roja.



Fuente: Agrolanzarote, s.f

10.3.1.1 Zona de almacenamiento

La zona de almacenamiento es la encargada de almacenar todos los residuos orgánicos que se generan en el proceso productivo para su posterior entrega al lombricompostaje. Como no se tiene un centro de almacenamiento, los residuos actualmente son extraídos mediante limpieza con mangueras de agua. Debido a

esto, es recomendable la creación de un punto de almacenamiento y que a su vez sirva como zona de compostaje antes de ser entregada a las camas de lombricompost. La recolección de estas excretas debe hacerse en seco para poder facilitar su transporte, almacenamiento y evitar gran cantidad de agua residual. La recolección de estas excretas se debe hacer los martes, jueves y domingo en horas de la mañana. La zona de almacenamiento debe tener un piso de concreto para evitar derrames y accidentes a la hora de manipular el material compostado.

10.3.1.2 Diseño del lombricompost

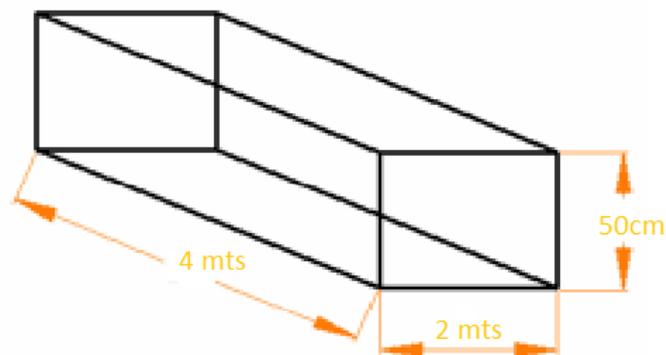
El diseño se hizo en base a la cantidad de residuos que serán enviados mensualmente la lombricompostera, los cuales son 47,441 kg. Las camas se diseñaron con una altura de 50 cm de alto, 2 metros de ancho y 4 metros de largo, adición a esto la estructura va a tener una cubierta de plástico para darle óptimas condiciones a las lombrices.

Tabla 27. Medidas para el diseño del lombricompost.

Parámetro	Medida
Alto	50 centímetros
Ancho	2 metros
Largo	4 metros
Número de camas	4
Borde libre	10cm

Fuente: Elaborado por Autores

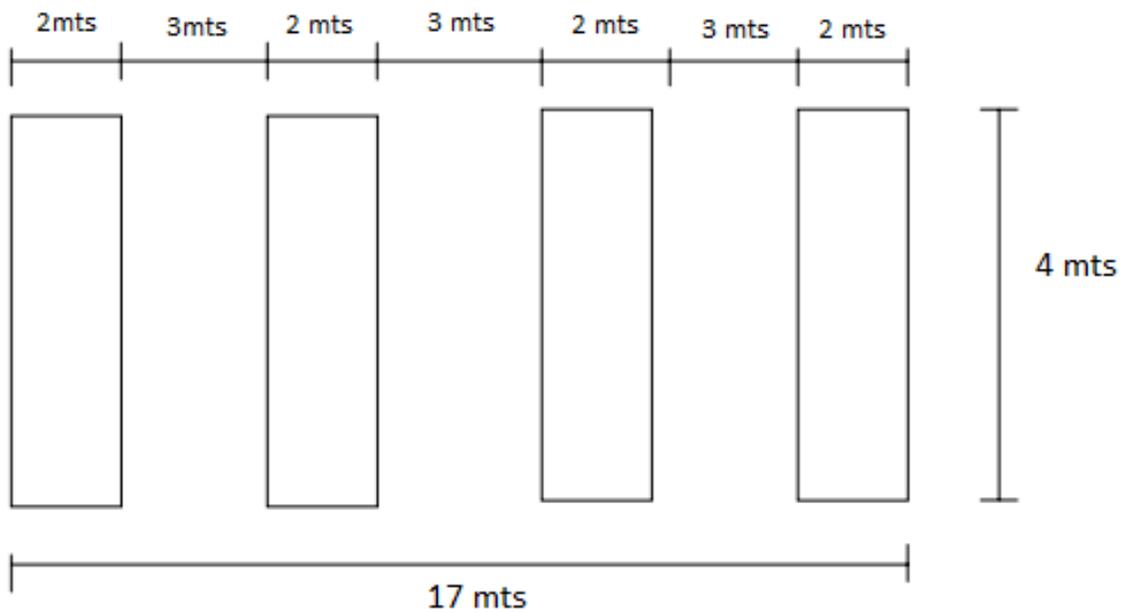
Figura 24. Medidas de la cama



Fuente: Elaborado por Autores

Para que todos los residuos puedan ser aprovechados se plantea el diseño de 4 camas de lombriz con la misma medida, ya que para cada una saldría mensual 7.116 kg de humus lo que en total salen 28.464 kg al mes. Las camas se organizan en dos filas con una distancia entre cada una de 3 metros y en cada esquina se debe poner una tubería donde salga el humus líquido que será almacenado en contenedores plásticos. Se aconseja ubicar el sistema de lombricompost en una zona aledaña a la fase final del proceso productivo (ceba) debido a que allí es donde se almacena la mayor cantidad de excretas.

Figura 25. Medidas entre camas



Fuente: Elaborado por Autores

La cantidad de kg de pie de cría de lombriz que se debe incorporar a cada cama, teniendo en cuenta que cada lombriz se alimenta diario de 1 g (su propio peso), es de 20 kg (Lombricultura de Tenjo, s.f).

Tabla 28. Cantidad de lombrices en el proceso.

Cantidad de excretas (kg)		Alimento a las camas (kg)	Cantidad de lombrices		Pie de cría (kg)
Mensual	Diario	cada 14 días	Diaria	Mensual	Inicial
47441	1581	23720.5	1600	48000	48

Fuente: Elaborado por Autores

A continuación se presenta la producción de humus por cama y el valor económico, basados en que según Lombricultura de Tenjo (s.f), la tonelada de humus de lombriz está a un precio de 400.000 COP.

Tabla 29. Producción de humus por cama y valor

Número de camas	Alimento por cama (kg)	Cantidad de lombrices por cama	Humus producido (kg)/ cama	Valor económico. (Ton)
	Cada 14 días		Mensual	Mensual
4	5930.125	6000	7116.15	\$ 2'846.460

Fuente: Elaborado por Autores

10.3.1.3 Camas de lombricompost

Para que las camas tengan un excelente proceso deben tener disponibilidad de agua, debe ser de fácil acceso, la superficie debe ser plana, con una ligera pendiente donde se pueda drenar bien en épocas de lluvia (Agrolanzarote, s.f).

Para su funcionamiento correcto, se debe colocar una capa de al menos 10 cm de altura que contenga pasto seco, paja, trozos de madera, etc., después se agrega material compostado (ubicados en la zona de almacenamiento) hasta lograr una altura y ancho deseado. La maduración de esta cama dura aproximadamente 15 días. El material seco retendrá el nitrógeno que poco a poco vaya escurriendo desde la parte superior; de igual manera servirá como refugio de las lombrices en caso tal de que no acepten el alimento por falta de condiciones óptimas (Agrolanzarote, s.f).

Con el tema de la humedad, se debe proveer a las camas una humedad inicial del 70% hasta llegar a un 40% al final para facilitar el movimiento de las lombrices. Se debe tener en cuenta que un exceso de humedad puede provocar la muerte de las lombrices. Debido a esto, el alimento debe suministrarse poroso y húmedo, como también el canal por donde se desliza la lombriz debe estar lleno de aire y las paredes húmedas. Se debe realizar el tipo de riego por aspersion ½ hora cada 3 días. Después de los 15 días, 20 a 30 minutos por semana (Agencia de Desarrollo Económico y comercio exterior, 2002).

Para poder alimentar las camas, el centro de almacenamiento se requiere alimento ya compostado por al menos 15 días debido a que las excretas en ese proceso tienden a acidificarse y calentarse, lo que puede causar daño a las lombrices (Agrolanzarote, s.f).

El manejo de las camas consiste principalmente en alimentar, proporcionar agua y proteger a las lombrices, Cuando las camas ya están inoculadas con lombrices pasará un tiempo de 15 días para que las lombrices se alimenten de todo

el sustrato que se adiciono. Uno de los indicadores de que las lombrices no tienen alimento es que se observarán grumos pequeños en la superficie. Para saber que el material ingresado para las lombrices fue aceptado por ellas, al cabo de 2 o 3 días las lombrices van a estar colonizando el nuevo alimento, pero si se presenta ausencia es un alimento descalificado y habría que removerlo y cambiarlo por uno nuevo. Una recomendación es que encima de las camas, aparte del plástico, se disponga material seco (hojas, paja, cartón) permitiendo conservar la humedad gracias a que no deja entrar los rayos del sol directamente (Agrolanzarote, s.f).

10.3.1.4 Humus

El humus hay que secarlo y mezclarlo con el material resultante de las diferentes camas, después se puede almacenar en bolsas de polietileno. Para el almacenamiento de estas bolsas, la granja cuenta con un espacio amplio cerca donde se entregan los cerdos a las diferentes empresas. Este espacio era usado para almacenar el estiércol seco y posteriormente vendido como un abono.

10.3.1.5 Costos

A partir de la propuesta anterior y teniendo en cuenta los aspectos y elementos necesarios para el lombricompost, se muestra a continuación los costos del proyecto propuesto en la tabla 30:

Tabla 30. Costos del lombricompost.

Costos			
Cantidad	Concepto	Valor/unidad	Valor total
1	Mano de obra	\$ 8,000,000	\$ 8,000,000
4	Estructura metálica a medida	\$ 1,200,000	\$ 4,800,000
1	Equipo de bascula	\$ 219,900	\$ 219,900
1	Termómetro	\$ 30,000	\$ 30,000
1	Hidrometro	\$ 26,900	\$ 26,900
2	Aspersor manual	\$ 140,000	\$ 280,000
1	Manguera de riego	\$ 129,900	\$ 129,900
3	Palas	\$ 25,990	\$ 77,970
3	Horquillas	\$ 184,900	\$ 554,700
Total			\$ 14,119,370

Fuente: Sandoval, 2018.

10.3.1.5.1 Valoración económica

A continuación, se demuestra la comparación sin la propuesta del proyecto de PML y si se llegará a implementar en la tabla 31:

Tabla 31. Beneficio esperado de la producción de abono orgánico.

Recursos o insumo que va impactar con la iniciativa	Situación actual (sin proyecto PML)		Situación esperada (con proyecto PML)		Beneficio esperado (situación actual - situación esperada)	
	Consumo o generación por unidad	Costo por unidad	Consumo o generación por unidad (kg)	Costo por unidad	Ahorro en consumo o generación por unidad (kg)	Ahorro en dinero (\$) anual
Producción abono orgánico	0	0	28460	\$ 11,384,000	28460	\$ 11,384,000

Fuente: Elaborado por Autores

10.3.1.6 Resumen de beneficios

En la siguiente tabla se da un resumen del proyecto enfocado en el tiempo de recuperación y en los beneficios ambientales y económicos.

Tabla 32. Resumen de la propuesta de lombricompost.

Inversión inicial requerida	\$14,119,370
Cantidad de humus mensual	28,46 ton
Venta de humus mensual	\$11,384,000
Tiempo de recuperación de inversión (meses)	$\$14,119,370 / \$11,384,000 : 1,24$ meses
Beneficios ambientales	1. Reducción del 50% equivalentes a 210 m ³ /mes de agua residual en cuerpos de agua.
	2. Creación de abono orgánico equivalente a 28,46 Ton.
	3. Emisiones evitadas: 23,4 Ton/año CO ₂ eq
Beneficio económico	1. Ingreso extra por venta de humus equivalente a 11'384.000

Fuente: Elaborado por Autores

Como se puede observar, esta es una alternativa muy económica y además que impacta significativamente al problema que se está abarcando que es el de generación de excretas. Además, al evidenciar la valoración económica, en un periodo de aproximadamente 1,24 meses se recuperaría toda la inversión inicial. Esto nos permite tener ingresos “libres” desde un periodo de tiempo en un año y así brindar a la granja un producto extra que puede venderse y sacar el máximo provecho. En algunos establecimientos compran de igual manera la lombriz para poder generar harina a base de ellas y que sirva como alimento a los animales.

A continuación, se dará una descripción de la segunda alternativa propuesta basada en la generación de energía a través de biodigestores anaeróbicos en la granja Agrocachaca.

10.3.2 Funcionamiento de los biodigestores

Los biodigestores son una tecnología mediante la cual se puede aprovechar un proceso biológico llamado digestión anaerobia el cual se desarrolla en diversas etapas y su principal ejecutor es un consorcio de bacterias, este se basa en una “producción en cadena” donde un grupo de bacterias degrada la materia orgánica sin necesidad de oxígeno y los residuos de dicha descomposición son traspasados a otro grupo, es decir, se convierte en materia prima, luego pasa a degradación y posterior a ello a residuos con el fin de aprovecharse otra vez. Este grupo de bacterias se encuentran presentes en el estiércol de diversos animales como las vacas y los cerdos y sirve como sustrato para alimentar el biodigestor obteniendo biógas y biol (fertilizante) a la vez (Martí, J. 2019).

Teniendo en cuenta esto, el ciclo de la biodigestión se puede demostrar en la siguiente figura:

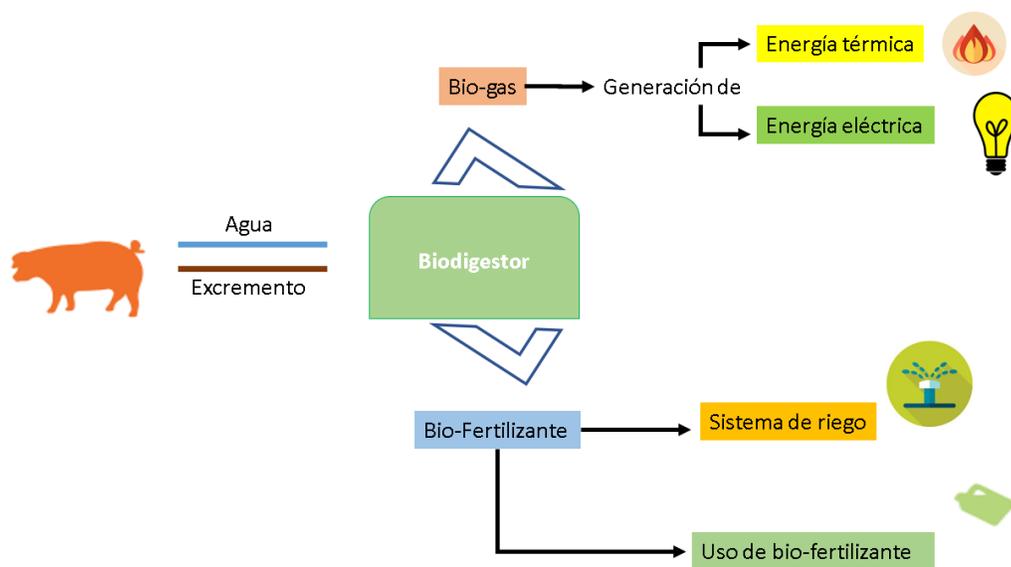
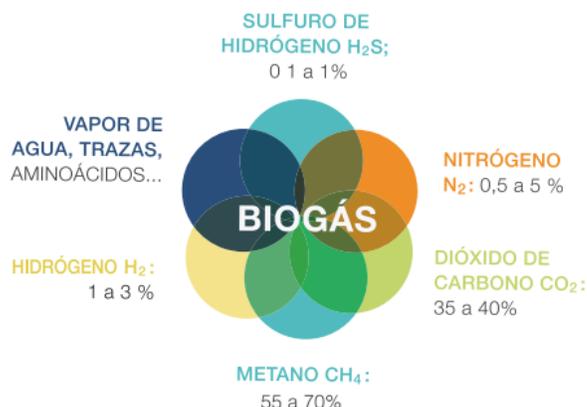


Figura 26. Diagrama básico del ciclo general de la biodigestión.

Fuente: Elaborado por autores

Respecto al biogás se caracteriza por ser un combustible gaseoso que puede sustituir a la leña o al gas de cocina, su composición aproximada se explica en la siguiente figura:

Figura 27. Características del biogás.



Fuente: (RedBiolac, 2015)

Nota: Los porcentajes de la composición del biogás pueden variar dependiendo el tipo y cantidad de residuos, el clima y la temperatura del lugar.

Por otro lado, el fertilizante (biol) es el producto líquido que queda de la digestión y hace que los nutrientes Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K) y entre otros se mineralizan y queden disponibles para las plantas. Cabe resaltar que la fertilización del biol es mayor a la del estiércol fresco sin ningún tratamiento puesto que el nitrógeno es convertido en amonio y posee microorganismos beneficiosos y fitohormonas (Martí, J. 2019).

Cabe destacar que el biodigestor llega a ser eficiente principalmente por factores determinantes como:

Tabla 33. Factores determinantes para el proceso de digestión anaerobia en un biodigestor

TEMPERATURA 11 a 70°C	pH: 6,6 -8,0	CONTENIDO NUTRICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> • A mayor temperatura : Mayor Metano • A menor temperatura: Menor Metano 	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica de pH neutro • Alcalinidad: 1000 a 5000 mg/l CaCO₃ 	<ul style="list-style-type: none"> • Equilibrio entre carbono y nitrógeno • C/N: 30:1 HASTA 20:1

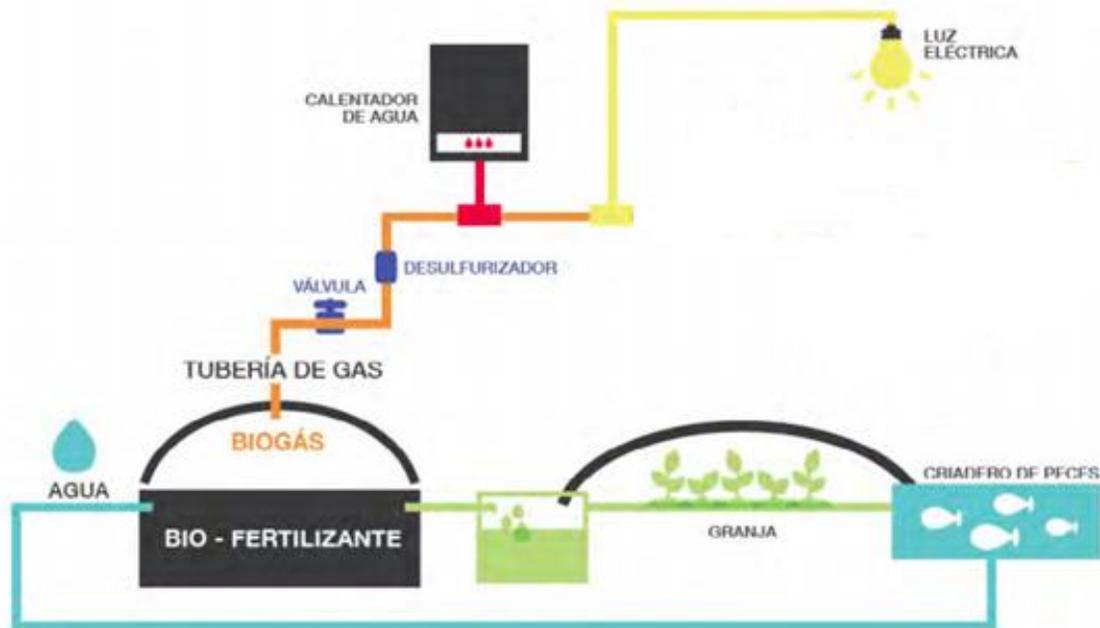
Fuente: (Redbiolac, 2015)

A partir de lo anterior y tener claro los factores y conceptos, se espera que al implementar este tipo de tecnología limpia en la granja Agrocachaca esperamos:

- La granja produzca su propio combustible del biogás para que el productor tenga acceso a su propia fuente de energía renovable y pueda ampliar y mejorar su propio proceso productivo, sin necesidad de aumentar la factura eléctrica.
- Al obtener un fertilizante (biol) permite que el productor fertilice sus propios campos sin necesidad de comprar fertilizantes sintéticos y así mismo tendría un valor agregado al generar un ingreso extra al venderlo a productores externos y así mismo se incentivaría a que las granjas aledañas se rijan por un proceso sostenible puesto que harían una práctica agroecológica de producción al usar este tipo de fertilizante.
- Que la granja Agrocachaca posea un sistema efectivo basado en esta tecnología para manejar, tratar y estabilizar 47441 kg por mes.

Básicamente se espera que la granja Agrocachaca use el biogás como calentador de agua de la casa principal y las de los empleados, para generación de energía eléctrica, y a su vez el bio fertilizante como sistema de riego para fertilizar la granja y/o granjas, con el fin de hacer asociaciones y obtener aún más beneficios. Como se puede visualizar en la siguiente figura:

Figura 28. Aplicaciones del biogás y biofertilizante



Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

10.3.2.1 Dimensiones para la construcción del biodigestor propuesto.

Para el caso del manejo de excretas de cerdos de la granja Agrocachaca se propone y se dimensiona un biodigestor tubular (Taiwán-salchicha) de bajo costo de inversión, puesto que una de las principales ventajas es que una de las tecnologías más aplicadas en Latino América, su instalación dura aproximadamente entre 1 o 2 días después de cavar la zanja, el costo de transporte de materiales es bajo y sus piezas suelen ser ligeras y prefabricadas, su vida útil es alrededor de 15 años y por último puede ser accesible para la granja (Martí, J. 2019).

El funcionamiento básico de este es que la carga de estiércol y agua ingresa por la tubería, se degrada y fluye hasta el otro extremo produciendo biogás, normalmente la cámara tiene forma alargada y está hecha de plástico o geomembranas de PVC. Se escogió este como propuesta por su relación calidad/precio y un costo de inversión bajo (RedBiolac, 2015).

En base a lo anterior a continuación se dimensiona el biodigestor respecto a la cantidad de excretas generadas en la granja, correspondientes a 47441 kg/ mes (50% del total) las cuales serán recogidas en seco:

10.3.2.1.1 Estiércol diario.

Para determinar las dimensiones del biodigestor propuesto, es necesario determinar el estiércol diario, para ello es necesario tomar el dato obtenido de la generación de excretas mensual y convertirlo a diario y como se quiere dimensionar el biodigestor para el tratamiento de 47441 kg/mes, se pudo determinar que la generación de excretas diarias por etapa es la que se relaciona en la siguiente tabla:

Tabla 34. Generación de excretas diarias.

Etapas productivas	Generación de excretas (kg/mes)	Generaciones excretas diarias
Reproducción	19406	647
Precebo	5490	183
Ceba	22545	752
Total	47441	1581

Fuente: Elaborado por Autores

A partir de la anterior tabla, se tiene que 1581kg/día es la carga diaria y de ello se calcula el estiércol disponible para cargar el biodigestor, en el caso de los cerdos que están en establos y con piso de cemento el estiércol disponible es igual a la carga diaria que se genera, puesto que se puede recoger esa cantidad de carga producida y alimentar el biodigestor.

10.3.2.1.2 Mezcla con agua

Al tener el estiércol disponible que puede entrar al biodigestor, es necesario saber la cantidad de agua que se necesita para mezclarlo, lo ideal según Martí, J (2019) es que en un biodigestor tubular la mezcla entre agua y estiércol corresponda valores entre 3% y 16% de sólidos totales, por lo cual la referencia de estiércol: agua para los cerdos es 1:4. Cabe resaltar que la granja está ubicada en una zona templada y como el agua utilizada es tomada de los canales de agua lluvia, si no se tiene lo suficiente para cumplir los requerimientos se puede optar por recircular el biol como sustitución del agua.

10.3.2.1.3 Carga diaria al biodigestor

Para determinar la carga diaria que entra al biodigestor, se hace con la cantidad de estiércol y agua mezclados cada día, para ello se debe tomar la equivalencia de 1 kg estiércol= 1litro de estiércol (densidad del estiércol: 1kg/l). De este modo como se tiene 1581 kg de estiércol y su relación es 1:4 habrá que añadir $(1581 \text{ kg} \times 4) = 6324$ litros de agua puesto que la idea es recolectar los excrementos en seco, entonces al sumar los litros de agua con el estiércol la carga diaria es $(6324 \text{ litros de agua} + 1581 \text{ kg de estiércol}) = 7905$ litros al día.

10.3.2.1.4 Relación Temperatura y Tiempo de Retención (TR)

La temperatura que tendrá el biodigestor depende directamente de la temperatura ambiente, en este caso como la granja se encuentra localizada en Nocaima-Cundinamarca y su temperatura promedio es de 24°C no necesita diseño solar para aumentar la temperatura interna del biodigestor, puesto que a temperaturas menores a 22°C si se requiere criterios como aislante de zanja e invernadero. De igual manera el tiempo de retención aproximadamente que se recomienda es de 35 días de tiempo de retención y llegará a producir 61 litros de biogás por kilogramo.

10.3.2.1.5. Volumen líquido

El volumen líquido del biodigestor está relacionado con la carga diaria y el tiempo de retención a partir de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{V_L: TR \times CD}$$

$\mathbf{V_L}$ =volumen líquido (m³ o L)
 \mathbf{TR} : tiempo de retención (días)
 \mathbf{CD} = carga diaria (m³/d o L/d)

Es decir,

$$\mathbf{V_L: TR \times CD}$$
$$\mathbf{V_L: 35 \text{ días} \times 7905 \text{ l/día: } 276675 \text{ litros} \approx 276,7 \text{ m}^3$$

10.3.2.1.6. Dimensiones de la zanja

Al obtener el volumen líquido para el biodigestor requerido, se prosigue con darle forma a través de la selección de la circunferencia de plástico disponible e inclinación del talud de la zanja, para este cálculo se tomaron diferentes anchos de rollos que existen en el mercado, es decir, se dimensiono varios biodigestores con diferentes circunferencias, pero con el mismo volumen líquido que se requiere. Cabe aclarar que, según Martí, J (2019) para determinar que inclinación del talud tendrá la zanja (α (°) desde vertical) se debe tener en cuenta que tipo de suelo, para el caso estudio corresponde a un suelo arcilloso (Organization of American State, 2019) es decir, que el valor está entre el rango de 7.5° a 30°, por ello se tomó el valor correspondiente a 15.

A partir de ello, se tomaron las circunferencias disponibles y se calculó los radios asociados (Ecuación 1) en el Anexo V, se adiciono las dimensiones óptimas respecto a la circunferencia (Ecuación 2), y a partir de eso se calculó el área de la zanja (Ecuación 3) en el Anexo V. Así mismo, ya conocido el área de la zanja, el área del biogás (Ecuación 4), el área total (Ecuación 5) y el volumen líquido de cada circunferencia se calcula la longitud (L) de la zanja (Ecuación 7) en el Anexo V. A continuación, se demostrará los datos obtenidos al realizar los cálculos respectivos en la siguiente tabla (Ecuaciones paso a paso en Anexo V):

Tabla 35. Dimensiones del biodigestor tubular.

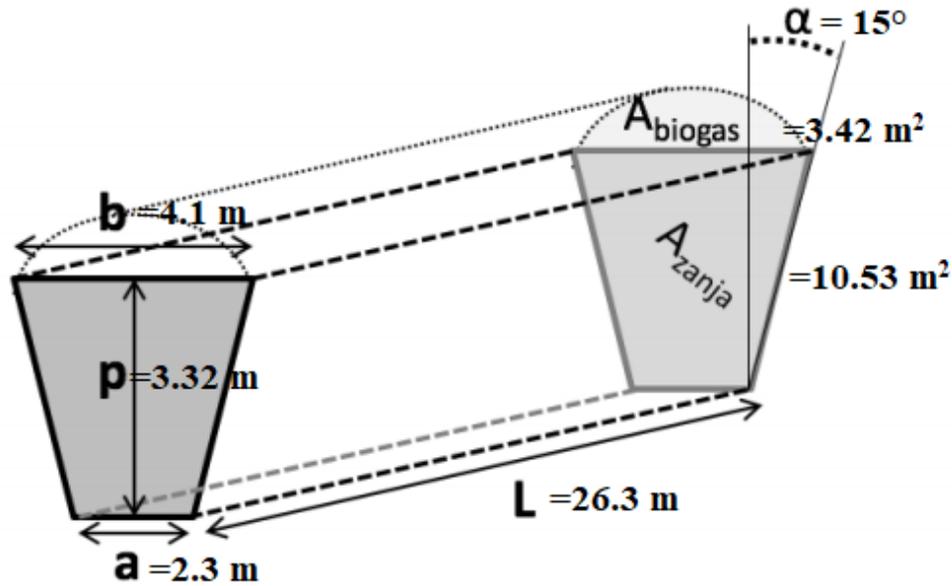
α (°) desde vertical	C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p(m)	Área zanja (m ²)
15	2	0.3183	0.325	0.579	0.474	0.215
15	3	0.4775	0.487	0.869	0.711	0.483
15	4	0.6366	0.649	1.159	0.949	0.859
15	5	0.7958	0.812	1.448	1.186	1.342
15	6	0.9549	0.974	1.738	1.423	1.933
15	7	1.1141	1.136	2.028	1.660	2.631
15	8	1.2732	1.299	2.317	1.897	3.437
15	9	1.4324	1.461	2.607	2.134	4.350
15	10	1.5915	1.623	2.897	2.371	5.370
15	14	2.2282	2.273	4.055	3.320	10.525

α (°) desde vertical	Área biogas (m ²)	Área Total (m ²)	L (m)	D (m)	L/D
15	0.070	0.284	1288.06	0.637	2023.28
15	0.157	0.638	572.47	0.955	599.49
15	0.280	1.135	322.01	1.273	252.91
15	0.437	1.773	206.09	1.592	129.49
15	0.629	2.553	143.12	1.910	74.94
15	0.856	3.475	105.15	2.228	47.19
15	1.119	4.539	80.50	2.546	31.61
15	1.416	5.745	63.61	2.865	22.20
15	1.748	7.092	51.52	3.183	16.19
15	3.426	13.901	26.29	4.456	5.90

Fuente: Elaborado por autores

De este modo, con los cálculos realizados se compara con los criterios establecidos según RedBiolac (2015) para biodigestores tubulares, donde los biodigestores que tengan relación $L/D > 10$ o $L/D < 5$ quedan descartados, pero si están entre el rango de 5-10, se elige ese por su aproximación más cerca a la relación ideal, por lo cual se eligió la circunferencia del plástico de 14 m.

Figura 29. Dimensión del biodigestor.



Fuente: Elaborado por autores.

Tabla 36. Parámetros para el diseño del biodigestor tubular para la granja Agrocachaca.

Parámetros para el diseño del sistema				Resultados		
Categoría de la granja				Comercial mediana		
Capacidad animal de la granja				800		
Estiercol fresco diario				1581 kg		
Agua				6324 litros		
Carga diaria				7905 litros /día		
TRH				35		
Fase líquida del biodigestor				27606 m3		
Producción de biol				1.58 m3/día		
Producción de biogás				96.44 m3/día		
Largo del biodigestor				26,29 m		
Ancho del rollo (m)	Circunferencia (m)	Dimensiones de la zanja				
		Ancho mayor (m)	Ancho menor (m)	Profundidad (m)	Área zanja (m2)	Relación óptima
7	14	4,05	2,27	3,320	10,52	5,90

Fuente: Elaborado por autores

10.3.2.2 Componentes del biodigestor tubular propuesto

1. Se debe disponer de una caja de mezcla de entrada, correspondiente a donde se vaya a almacenar las excretas que serían recogidas en seco con una pala y se dispondrán en este punto con ayuda de una caretilla. Ahí mismo se tendrá

un tanque del agua recogida por agua lluvia para realizar la mezcla requerida según lo mencionado anteriormente.

2. Se debe tener una cámara de digestión donde ingresa la materia con el fin de ser degradada y una cúpula en la que se deposita el biogás producido, es decir, se debe tener una entrada y dos salidas, como ejemplo se cita la siguiente figura:

Figura 30. Ejemplo de biodigestor tubular



Fuente: (Martí, J. 2019).

- Entrada: Puede conectar con la caja de mezcla que estaría ubicada al final de la etapa de ceba a través del tubo para el ingreso de la materia prima.
 - Salida: Habrá que ubicarla en la parte superior del biodigestor, donde se formará la cúpula de biogás. Se recomienda ubicarlo a uno o dos metros del extremo que vaya a ser la entrada del biodigestor y usar un adaptador de tanque para dicha salida. Se debe tener en cuenta que la primera salida es la del biogás y está ubicada en la parte superior de la bolsa y la otra es la de biol y se encuentra al otro extremo de la entrada conectando con la caja de almacenamiento del biol (RedBiolac, 2015).
3. Para la recepción del biol la granja debe tener en cuenta que la cantidad de biol producida es similar a la cantidad de materia orgánica y agua residual que se ingresa. Por lo cual, hay que recopilar este líquido en una caja receptora

que puede ser fabricada en cemento, plástico o en un tanque prefabricado, con el fin de poder tener un acceso fácil para su posterior venta o abono del campo.

4. En cuanto a la conducción y filtrado del biogás es necesario implementar tuberías y llaves de paso, junto al filtro del biogás para eliminar el ácido sulfhídrico que se genera y que puede dañar la mezcla. Así mismo, se debe contar con una válvula de alivio puesto que es el primer elemento para la salida, ya que si no se consume el biogás evita que se escape y que ingrese aire al sistema. Similar a la siguiente imagen obtenida por (RedBiolac, 2015).

Figura 31. Válvula de alivio.

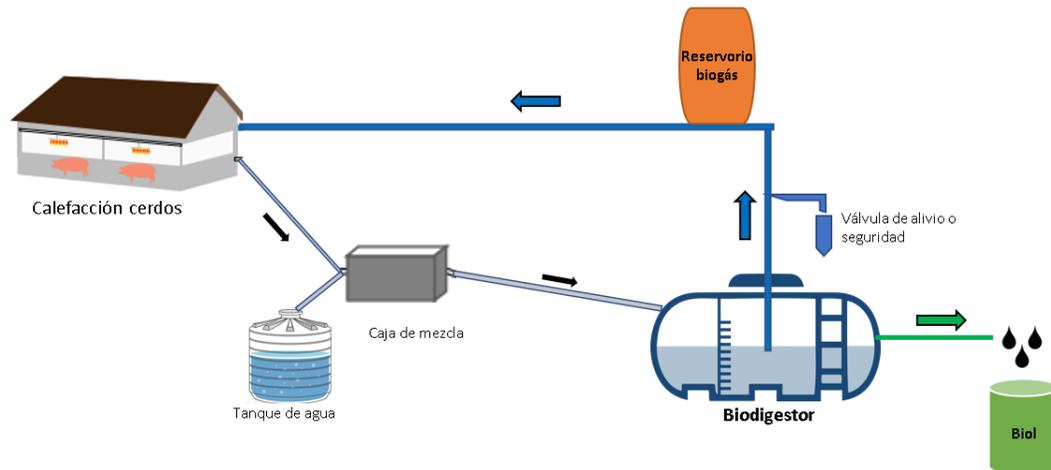


Fuente: (RedBiolac,2015)

Se recomienda usar tuberías con diámetro mayor a una pulgada o se puede almacenar el biogás en reservorios para tener mayor presión al biogás cuando se necesite usar. Para poder conducir el biogás se usará manguera poli tubo, tuberías y accesorios de PVC para conducir el biogás hasta donde se requiera (Martí, J. 2019).

A continuación, se presenta el diagrama de como sería el proceso desde que sale de la etapa de ceba el estiércol hasta como se convierte en bio y biogás, y así mismo la conducción del biogás nuevamente a la etapa de precebo:

Figura 32. Presentación gráfica del proceso de la entrada y salida del biodigestor en la granja "Agrocachaca"



Fuente: Elaborado por autores, 2019

10.3.2.3 Materiales

Dentro de los materiales que se necesitan para la instalación de un biodigestor se encuentran los siguientes:

Tabla 37. Materiales y cantidad necesaria para la instalación de un biodigestor tubular

Componente	Cantidad
Sacos	Lo necesario
Plásticos viejos, lonas o sacos	Lo necesario
Manga tubular	Dos piezas tubulares, cada una con una longitud de la manga= (longitud de la zanja +1 profundidad de la zanja)=26.3 m+ 1m+3.32 m= 30,62 m
Tubería de desagüe de PVC	3 m, 1,5 m para la pieza de entrada y 1,5 m para la salida.
Liga de cámara de neumático	30 a 40 m
Adaptador de tanque en PVC	1
Tubería de agua	3 m
Accesorios PVC	Los necesarios para unir el adaptador del tanque con la válvula de alivio
Cuerda	2,5 veces en metros la longitud del biodigestor

Teflón	3
Válvula de alivio	Una pieza de tubería de 30 cm (Tee), botella de 2 litros vacía y una llave de paso plástica
Tubería de agua para llevar el biogás desde el biodigestor hasta punto de consumo	Metros necesarios, normalmente se trabaja en ½” o ¾”
Llaves de bola	Mínimo 2
Codo	Mínimo 1
Unión universal	Mínimo 1

Fuente: Elaborado por autores

10.3.2.4 Beneficios ambientales.

- Al tener un biodigestor desplaza el uso de combustibles ya sea leña o gas natural, lo que reduce la deforestación y el uso de combustibles fósiles.
- El uso de biol permite un reciclaje de nutrientes e incentiva el no uso de agroquímicos, puesto que puede aumentar la producción desde el 30% hasta el 50% de los cultivos ya que estimula el crecimiento y la germinación de las semillas. Además, se puede usar en cultivos hidropónicos, huertas y medios acuáticos para aumentar el plancton como se puede ver en la gráfica anterior.
- Es una alternativa para el tratamiento de aguas residuales y para cumplir con los parámetros de las normas ambientales, puesto que mejora la calidad de las descargas, reduce la contaminación a cuerpos de agua cercanos y reduce impacto al entorno biodiversidad y personas aledañas.
- Los biodigestores de bajo costo son una medida de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) puesto que reducen la emisión a la atmósfera del metano (CH₄).

10.3.2.5 Beneficios económicos

Para mostrar el beneficio económico se utilizará el método para valoración monetaria, que parte de los costos evitados tal como lo describió Pearce (1993), Turner et.al., (1994), Edwar-Jones (2000); Rusell (2001), donde se tiene en cuenta que la valoración de producción de biogás y flujo de nutrientes se usa para estimar beneficios directos y el valor del biogás se estima según su capacidad de reemplazo con otras fuentes de energía. Por ello es importante considerar los siguientes datos:

Tabla 38. Datos por considerar para los costos del biodigestor.

Carga del estiércol	kg/día	kg/mes	kg/Año
Carga del estiércol diaria	1581	47430	577065
Carga de agua diaria	6324	189720	2308260
Nutrientes en carga	kg/día	kg/mes	kg/año
Nitrógeno N (1,8%)	28.458	853.74	10387.17
Fósforo P ₂ O ₅ (2,5%)	39.525	1185.75	14426.625
Potasio K ₂ O (0,3%)	4.743	142.29	1731.195
Producción de Biogás			
Litros	96441	2893230	35200965
m ³	96.441	2893.23	35200.965

Fuente: Elaborado por autores

10.3.2.5.1 Costos totales

Los costos totales de la construcción del biodigestor se pueden reflejar en la siguiente tabla:

Tabla 39. Costos totales iniciales

Costos	
Concepto	Valor total
Biodigestor prefabricado en geomembrana PVC de 750 micras de espesor	\$ 12,600,000
Filtro H ₂ S por a	\$ 4,800,000
Mano de obra	\$ 219,900
Soplador a gas	\$ 30,000
Criadoras y utensilios	\$ 26,900
Otros	\$ 280,000
Total	\$ 20,973,252

Fuente: Sistema de Biobolsa, 2019.

10.3.2.5.2 Valoración económica

A continuación, se presenta la tabla correspondiente al beneficio esperado al implementar el biodigestor.

Tabla 40. Beneficio esperado

Recursos o insumo que va impactar con la iniciativa	Situación actual (sin proyecto PML)		Situación esperada (con proyecto PML)		Beneficio esperado (situación actual - situación esperada)	
	Consumo o generación por unidad	Costo por unidad	Consumo o generación por unidad	Costo por unidad	Ahorro en consumo o generación por unidad	Ahorro en dinero (\$) anual
Consumo de energía	16344 (kWh/año)	\$ 24,000,000	265716 kWh/año	0	16344 (kWh/año)	\$ 24,000,000
Producción de biol	0	0	577065 litros	\$ 5,770,650	577065 litros	\$ 5,770,650
Total						\$ 29,770,000

Fuente: Elaborado por autores.

En la tabla anterior se evidencia que con la generación de biogás que se llegaría a producir con el biodigestor abastece la necesidad de energía de la granja. Adicional a esto, se genera un excedente de 249372 Kw/año el cual puede ser utilizado como fuente de energía para las granjas vecinas que se dedican a la producción de panela y producción de peces y lograr una asociación con ellos. Por otro lado, la implementación de esta alternativa permite a la granja estar enmarcados en la Ley 1715 del 2014 y así tener una exclusión del IVA como beneficio tributario.

10.3.2.5.2 Resumen del biodigestor

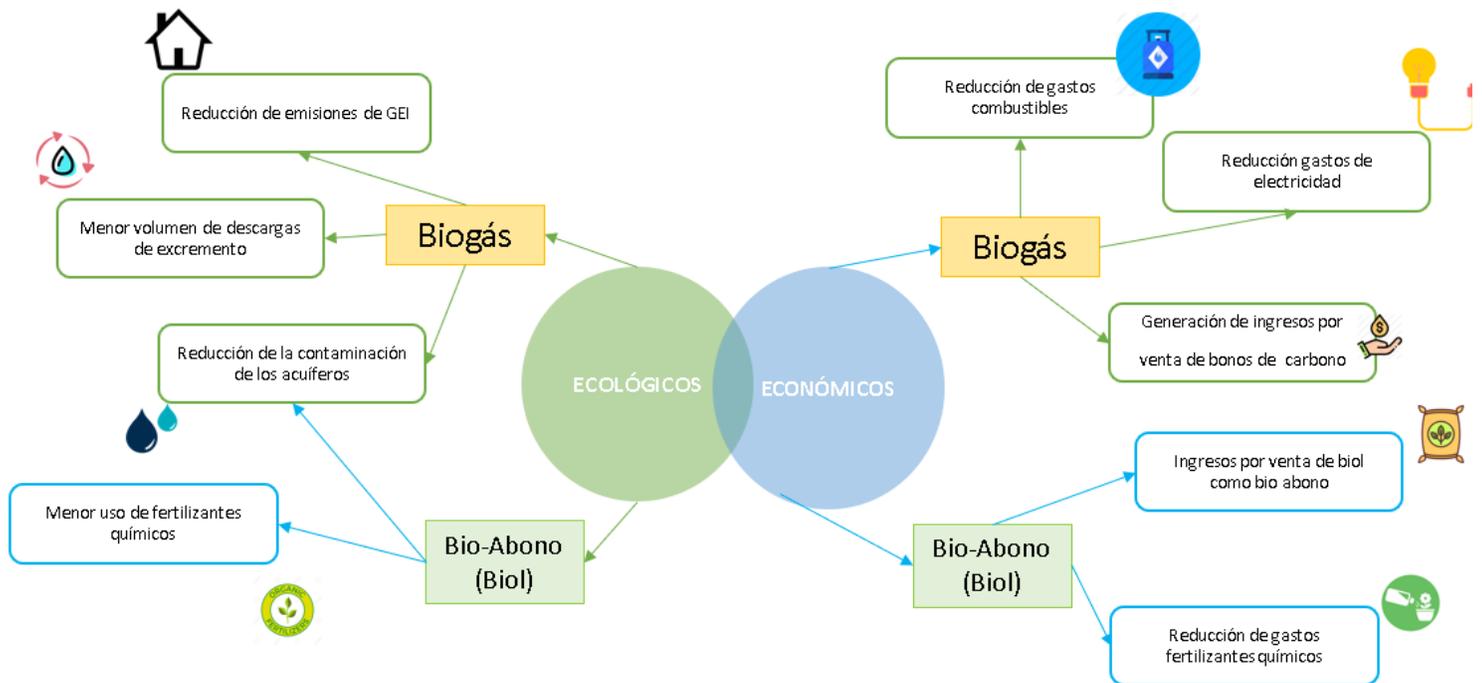
En la siguiente tabla se da un resumen del proyecto enfocado en el tiempo de recuperación y en los beneficios ambientales y de reputación.

Tabla 41. Resumen del biodigestor

Inversión inicial requerida	\$20.973.252
Tiempo de recuperación de inversión (meses)	$\$20.973.252 / \$29.770.000 = 0,70$ meses
Beneficios ambientales	1. En energía: 16344 kWh/año
	2. Producción de Biol: 577,065 litros
	3. Emisiones evitadas: 23,4 Ton/año CO ₂ eq
Beneficio en reputación (alianzas con clientes y proveedores)	Mejora en el procesamiento de la porquinaza sólida y líquida, lo que va a reducir los malos olores y vectores del entorno. Además, mejora la interacción armónica con la comunidad y la Corporación Autónoma Regional.

En base a toda la información descrita anteriormente, en la figura 33 se evidencia los beneficios económicos y ecológicos del biogás y el biol generado a partir del biodigestor y como llegaría a impactar positivamente a la granja al momento de querer implementarlo.

Figura 33. Beneficios económicos y ecológicos del biodigestor.



Fuente: Elaborado por autores

11. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico del proyecto, se logró determinar el estado actual de los aspectos técnicos, ecológicos y económicos de la industria porcina, ubicada en la vereda San José de Nocaima Cundinamarca. En relación con lo anterior se determinó que las actividades desarrolladas en las tres etapas (reproducción, precebo y engorde) presentan puntos críticos reflejados en el alto consumo de agua (420 m³/mes), la gran cantidad de excretas generadas (94882 kg/mes) caracterizadas por no tener un tipo de manejo o tratamiento eficiente y el alto gasto de energía (24'000.000 COP/ año) reflejado del proceso productivo junto a la casa principal del dueño.

De acuerdo con las herramientas de ecomapa y eco balance se pudo determinar que en toda el área productiva el punto que más genera impacto ambiental es el de ceba, debido a la gran cantidad de residuos pecuarios que se genera (45090 kg/mes), así como su consumo de agua (153 m³/mes) y de alimento por cerdo (45000 kg/mes). Gracias a esto se pudieron realizar alternativas para reducir su impacto negativo.

A partir del análisis documental se encontraron alternativas como: Complementar el alimento de los animales con porquinaza, instalación de contador de agua por etapa, recolección en seco, generación de energía a través de un biodigestor anaerobio, transformación de excretas por medio de lombricompost, encadenamiento productivo con un trapiche vecino para el uso de camas de bagazo para la etapa de ceba. Al aplicar el método de análisis multivariable, se eligieron las de lombricompost y generación de energía a través de un biodigestor anaerobio.

Las propuestas basadas en el Lombricompost y el Biodigestor son las que tienen mejores características para la implementación en la granja, ya que además de darle un tratamiento eficiente a las excretas generadas permite reducir 16344 kW/año de energía eléctrica y a su vez aumentar ingresos al producir fertilizante (biol) equivalente a 577 065 litros. Cabe aclarar que tienen una utilidad significativa que permitiría un retorno de la inversión del biodigestor en menos de un mes y del lombricompost de 1 mes y 26 días aproximadamente.

Existe una viabilidad alta al implementar las oportunidades de producción más limpia orientadas al tratamiento, manejo y conversión de las excretas de acuerdo con los resultados obtenidos en los aspectos ecológicos (consumo de agua, eficiencia energética y manejo y conversión de los recursos pecuarios), económicos (inversión, mano de obra, aporte directo al proceso productivo), técnicos (área de uso, tiempo de preparación) y sociales (facilidad de adquisición, ingresos, complejidad tecnológica).

Implementar este tipo de tecnologías limpias dentro del proceso productivo de la granja Agrocachaca puede traer no solo un beneficio ecológico, sino que a su vez se podrían convertir en beneficiarios de las exenciones tributarias que se establecen en la Ley 1715 del año 2014 como la exclusión del IVA en maquinaria destinada para dicho fin.

A pesar de las dificultades de no obtener la información completa y veraz, ni de poder tener el permiso para cuantificar los datos necesarios ya que los dueños por temas de confidencialidad y seguridad no lo permitían. La metodología propuesta fue eficaz ya que permitió cumplir con todos los objetivos planteados en el proyecto de investigación, partiendo desde lo más general (fase de diagnóstico y revisión bibliográfica) hasta lo más particular (diseño de las propuestas del lombricompost y el biodigestor).

Los proyectos propuestos dan un resultado muy viable a la problemática identificada dentro de la granja porcícola, ofreciendo un análisis estructurado en todas las áreas establecidas en materia ecológica y económica y articulando cada uno de los actores involucrados en el proceso con los posibles beneficios. De igual manera durante el transcurso de la construcción del proyecto, permitió plantear una serie de alternativas al afianzar diferentes conocimientos y aplicar diferentes herramientas adquiridas durante el proceso académico de la carrera ingeniería ambiental, que se basan en la disminución de impactos ambientales negativos y en la identificación de oportunidades que permitan un progreso económico.

12. Recomendaciones

Evaluar la posibilidad de realizar la cuantificación de los consumos y generaciones en cuanto a agua, residuos pecuarios, alimento y residuos peligrosos con el objeto de tener datos mucho más exactos para posteriores alternativas.

A pesar de que solo se eligieron dos alternativas de las descritas en el proyecto de investigación, los dueños deben tener en cuenta las restantes para mejorar la eficiencia del proceso productivo entre ellas complementar el alimento de los animales con porquinaza, la instalación de un contador de agua por etapa, la recolección en seco de los residuos pecuarios y principalmente realizar una simbiosis industrial con los productores de panela puesto que el subproducto que genera la producción panelera (el bagazo) se puede utilizar como camas para los pisos de las porquerizas. Como parte de la granja, se compartiría gas para quemar en los hornos y biol con el fin de fertilizar los cultivos de caña.

Realizar la asociación con las granjas aledañas para obtener ingresos extra con la venta del biol y/o fertilizante con el fin de incentivar a que las granjas se rijan por un sistema productivo agrícola orgánico sin el uso de agroquímicos en sus cultivos. También se podría realizar una asociación con los productores de panela para intercambiar el biogás por bagazo generado del trapiche de panela y así usarlas como camas en la etapa de ceba.

Las entidades públicas y privadas deberán continuar con los esfuerzos para fomentar el desarrollo de proyectos de producción más limpia y de buenas prácticas empresariales en la industria porcina.

Se recomienda que se tenga una persona encargada de la administración del área ambiental con la capacitación necesaria para manejar los proyectos de producción más limpia propuestos.

14. Bibliografía

- Acevedo, P. (2006). Biodigestor de doble propósito-producción e investigación-para residuos de granja porcícola. Revista ION: Bucaramanga, Volumen 19(1): 1-6.
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (s. f). Cleaner production Myora Farm. Revisado el 11 de marzo del 2019 en: https://www.epa.sa.gov.au/files/8325_cpmyora.pdf.
- Agroindustria. (2018). Sector porcicultor, uno de los más productivos del momento. Revista Dinero.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (1982). Decreto 2278 de 1982. Revisado el 11 de mayo de 2019 en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=24295>
- Alcaldía Municipal de Nocaima. (2017). Información sociodemográfica de Nocaima. Revisado el 24 de agosto de 2018 en: <http://www.nocaima-cundinamarca.gov.co/eot-192691/plano-10-mapa-geologico>
- Alcaldía Municipal de Nocaima. (2018). Mapa geológico del municipio de Nocaima Cundinamarca. Revisado el 28 de septiembre de 2018 en: <http://www.nocaima-cundinamarca.gov.co/eot-192691/plano-10-mapa-geologico>
- Alcaldía Municipal de Nocaima. (2018). Mapa rural de Nocaima Cundinamarca. Revisado el 05 de agosto de 2019 en: <http://www.nocaima-cundinamarca.gov.co/eot-192691/plano-14-equipamiento-rural>
- Alcaldía Municipal de Nocaima. (2018). Secretaria de proyectos y competitividad. Revisado el 05 de agosto de 2019 en: <http://www.nocaima-cundinamarca.gov.co/directorio-institucional/secretaria-de-salud-proteccion-y-bienestar-social>
- Amado, C. (2006). Diseño de un sistema de costos por procesos en la granja porcícola El Refugio, Albán- Cundinamarca. Revisado el 01 de mayo del 2019 en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/4621/T17.06%20A12d?sequence=1>
- Ambientum. (2018). Residuos agrícolas y forestales. Revisado el 11 de marzo del 2019 en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/residuos_agricolas_y_forestales.asp
- Arcila, J. (2003). Alternativas ambientales para pequeñas explotaciones porcícolas en predios rurales de los municipios de Pacho y La Palma, Cundinamarca. Revisado el 01 de abril del 2019 en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11389/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Beltrán, J. (2012). Analysis of Good Production Practices in pig farms on the

- departamento del Tolima and risk factors associated with presence of Salmonella spp. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, Volumen 7.
- Cáceres, C. (2015). Plan de manejo ambiental (PMA) para el proceso de producción porcícola, una alternativa de producción más limpia en la vereda la aguadita (Fusagasugá, Cundinamarca). Revisado el 11 de marzo del 2019 en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7963/PLAN%20DE%20MANEJO%20AMBIENTAL%20PARA%20EL%20PROCESO%20DE%20PRODUCCI%C3%93N%20PORC%C3%8DCOLA%20EN%20LA%20VEREDA%20LA%20AGUADITA%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Casas, A. (2011). Propuesta para un sistema de producción porcícola Ibagué. Revisado el 01 de mayo de 2019 en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/5423/T12.11%20C264p.pdf?sequence=1>
- Cervantes, J. (2007). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. Revisado el 10 de marzo del 2019 en: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Cervantes/publication/228790955_Estrategias_para_el_aprovechamiento_de_desechos_porcinos_en_la_agricultura/links/0a85e52f8e422c6f03000000.pdf
- Comisión Europea. (2015). Acuerdo de París. Revisado el 11 de mayo de 2019 en: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es
- Comité Paritario de Salud Ocupacional. (1979). Ley 9 de 1979. Revisado el 11 de mayo de 2019 en: http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/ley_9_1979.Codigo%20Sanitario%20Nacional.pdf
- Comité Paritario de Salud Ocupacional. (1979). Resolución 2400 de 1919. Revisado el 11 de mayo de 2019 en: <http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/Res.2400-1979.pdf>
- Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2012). Municipio de Nocaima. Revisado el 14 de agosto del 2018 en: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/432/PMGR%20Nocaima.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. (2015). Decreto 1076 del 2015. Revisado el 12 de mayo del 2019 en: <http://corponor.gov.co/ACTOSJURIDICOS/NORMATIVIDAD/decreto1076.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2006). Resolución 0627 del 7 de abril del 2006. Revisado el 12 de mayo de 2019 en: <http://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2006resolucion627.pdf>
- Corporación Autónoma Regional. (s,f). Oportunidades de producción más limpia. Revisado el 05 de Agosto de 2019 en: <http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/36900/02834B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cozar. (2019). Imagen cerda en periodista digital. Revisado el 05 de Agosto del 2019

- en: <https://www.periodistadigital.com/economia/bolsa/20190803/china-responde-donald-trump-bloquea-carne-cerdo-eeuu-hunden-futuros-noticia-689404041328/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). Socio demografía del municipio de Nocaima-Cundinamarca. Revisado el 28 de septiembre del 2018 en: <http://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/cundinamarca/nocaima.pdf>
- Djekic, I. (2015). Environmental life-cycle assessment in production of pork products. Revisado el 11 de marzo del 2019 en: <https://pdfs.semanticscholar.org/14b3/37933b7f08443da67d6b5227da006e322623.pdf>
- Eliozondo, B. (2012). Beneficios económicos de la PML enfocada en el uso de aguas. Revisado el 12 de noviembre del 2018 en: http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_209_180912_es.pdf
- Granada, E. V., Artunduaga, W., & Gordillo, L. A. (2009). Recuperación parcial del concentrado de la porquinaza, una alternativa ambiental y económica. *Ingeniería y Región*, 6(1), 53-60.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). México: MCGRAW-HILL.
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10972/P.O.A.R.PARA%20LAMICROCUCUENCA%20DE%20LA%20QUEBRADA%20SAN%20JUANITO%20NOCAIM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2007). Resolución 2640 del 2007. Revisado el 12 de mayo del 2019 en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/6bfd1517-10f1-415d-b8cd-3ccb06d51a8f/2640.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2012). Resolución 1192 del 2012. Revisado el 12 de mayo del 2019 en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/3a86c11e-4707-4333-94bd-4e6839bcf562/2012R1192.aspx>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2005). Resolución 1023 del 2005. Revisado el 12 de mayo del 2019 en: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientevdt_1023_2005.htm
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2018). Mapa ubicación de Cundinamarca. Revisado el 15 de agosto del 2018 en: https://geoportal.igac.gov.co/sites/geoportal.igac.gov.co/files/geoportal/cart_o_eg_de_cundinamarca_v5.pdf
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2015). Residuos pecuarios: una problemática que puede transformarse en oportunidad. Revisado el 05 de agosto de 2019 en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustrializacion/Residuos-Pecuarios-ProblematICA-puede-transformarse-en-Oportunidad.pdf>
- Instituto Superior del Medio Ambiente. (2018). Análisis del ciclo de vida. Revisado el 12 de abril en: <http://www.ismedioambiente.com/programas->

formativos/analisis-del-ciclo-de-vida-conceptos-y-metodologia

- Machado, E. M. (2012). Plan de manejo ambiental para un proyecto Porcícola. Estudio de caso: Proyecto la Zambera, Otanche, Boyacá. Bogotá D.C.
- Méndez, R. (2009). Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. Yucatán.
- Mendoza, R. (2018). Producción y Consumo Sostenible. Revisado el 11 de mayo del 2019 en:
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/154-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-7>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1983). Decreto 2104 del 26 de Julio de 1983. Revisado el 11 de mayo de 2019 en:
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/1983/dec_2104_1983.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1997). Decreto 3102 de 1997. Revisado el 12 de mayo de 2019 en:
https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/f7-dec_3102_1997.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1997). Ley 373 de 1997. Revisado el 12 de mayo de 2019 en:
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1997). Política Nacional de Producción Más Limpia. Revisado el 12 de mayo de 2019 en:
http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Politicapolit_produccion_mas_limpiar.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). Guía ambiental para el subsector porcícola. Revisado el 10 de marzo del 2019 en:
<https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/images/porcicultores/publicaciones/GUIA-AMBIENTAL-PORCÍCOLA.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Convención de Viena. Revisado el 11 de mayo del 2019 en:
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=193:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-9>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). El Protocolo de Montreal. Revisado el 11 de mayo del 2019 en:
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=192:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-8>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Protocolo de Kioto. Revisado el 11 de mayo del 2019 en:
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Rio+20. Revisado el 11 de mayo del 2019 en:
<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/389->

- preparacion-de-colombia-para-rio-20-5
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1974). Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974. Revisado el 11 de mayo del 2019 en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Guía ambiental para el subsector porcícola. Revisado el 10 de marzo del 2019 en: <https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/images/porcicultores/publicaciones/GUIA-AMBIENTAL-PORCÍCOLA.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible. Revisado el 11 de mayo del 2019 en: <https://www.rds.org.co/es/recursos/politica-nacional-de-produccion-y-consumo-sostenible>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2015). Glosario de términos. Cualificación profesional: Producción porcina intensiva. Revisado el 11 de marzo del 2019 en: https://incual.mecd.es/documents/20195/1873855/AGA002_2_RV++A_GL_Documento+publicado/a90b4555-4303-43c4-bfa1-f0bc1d927ebb
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). Decreto 1077 del 2015. Revisado el 12 de mayo del 2019 en: <http://www.minvivienda.gov.co/NormativaInstitucional/1077%20-%202015.pdf>
- Nguyen, T. (2010). Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU. Revisado el 11 de marzo del 2019 en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510000078?via%3Dihub>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (2008). Manual de Producción Más Limpia. Revisado el 15 de noviembre de 2018 en: https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook_0.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Cerdos y el medio ambiente. Bogotá D.C.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. Revisado el 15 de septiembre de 2019 en: <http://www.fao.org/gleam/results/es/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2012). ¿Qué es Río+20? Revisado el 11 de mayo de 2019 en: <https://www.un.org/es/sustainablefuture/about.shtml>
- Organización de las Naciones Unidas. (1972). Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano. Revisado el 12 de mayo del 2019 en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Revisado el 11 de mayo del 2019 en: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>

- Organización Panamericana de la Salud. (2007). Riesgos a la salud por la crianza de cerdos alimentados en sitios de disposición final de residuos sólidos en América latina y el Caribe. Lima: Cepis-BS.
- Organization of American State. (2019). Clasificación de los suelos según su capacidad de uso. Revisado el 12 de Octubre de 2019 en: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea30s/ch028r.htm#a.4.1.3%20clase%20iv>
- Osorio, H. (2004). Plan de desarrollo municipio de Nocaimix. Revisado el 12 de octubre de 2019 en: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pd_plan_de_desarrollo_municipio_nocaima_cundinamarca_2004_2007_diagnostico_\(128_p%C3%A1g_829_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pd_plan_de_desarrollo_municipio_nocaima_cundinamarca_2004_2007_diagnostico_(128_p%C3%A1g_829_kb).pdf)
- Pérez, R. (2008). Granjas porcinas y medio ambiente. Contaminación del agua en la Piedad, Michoacán. México: Plaza y Valdez S.A.
- Pinzón, L. (2005). Plan de ordenamiento ambiental rural para la microcuenca de la quebrada San Juanito (Nocaima, Cundinamarca). Revisado el 15 de octubre de 2018 en:
- Porkcolombia. (2016). Creando riqueza sostenible en el sector porcícola mediante la tecnología y la innovación. Revista: Porkcolombia.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2003). Producción más limpia. Revisado el 12 de Julio de 2019 en: <http://www.cprac.org/es/sostenible/produccion/mas-limpia>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2010). Glosario residuos sólidos. Revisado el 11 de marzo del 2019 en: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet5c54.html
- Red de desarrollo sostenible. (2010). Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible. Revisado el 05 de Agosto de 2019 en: <https://www.rds.org.co/es/recursos/politica-nacional-de-produccion-y-consumo-sostenible>
- Robinson, Ann Y. (2008). Searching for Common Approaches Between Agriculture and Environmental Concerns. Meeting the Environmental Challenge. Environmental Symposium.
- Rodríguez, J. A. (2017). Variación del consumo de agua y producción de purín en cerdos. *porciNews*, 2.
- Salas, A. (2012). Estrategias ambientales empresariales para la producción más limpia en establecimientos gastronómicos. Revisado el 11 de marzo del 2019 en: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000339.pdf>
- Sánchez, G. (s,f). Matrices para la evaluación y selección de alternativas. Técnicas participativas para la planeación. 207-210.
- Sanes, A. (2012). El análisis de ciclo de vida (ACV) en el desarrollo sostenible: Propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos. Revisado el 11 de marzo del 2019 en: <http://bdigital.unal.edu.co/8875/1/905079.2012.pdf>
- Scialabba, Nadia (2009). Los residuos del ganado y el medio ambiente. Documento

- preparado para el Taller Internacional de Residuos Periurbanos del Ganado en China. CCEICR, Beijing, 19-22 sept. 2009. FAO, Roma
- Secretaría de Senado. (1991). Constitución Política de 1991. Revisado el 12 de mayo de 1991 en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html
- Secretaría de Senado. (1993). Ley 9 de 1993. Revisado el 12 de mayo de 1991 en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html
- Secretaría Distrital del Ambiente. (2015). Producción Más Limpia conceptos y herramientas. Revisado el 17 de septiembre de 2019 en: http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=38f763fe-6a37-453d-80c6-eaa1663ce349&groupId=24732
- Sistema Único de Información Normativa. (2007). Decreto 2331 de 2007. Revisado el 12 de mayo del 2019 en: <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?id=1437359>
- Solla. (2019). Fases del proceso productivo porcicultura. Revisado el 5 de agosto del 2019 en: <https://www.solla.com/node/1602>
- Universidad Autónoma Chapingo. (2012). Memoria electrónica congreso de investigación en socioeconomía pecuaria. Revisado el 10 de marzo del 2019 en: https://www.researchgate.net/profile/Octavio_Barrera-Perales/publication/273693452_13_Congreso_Socioeconomia_Ambiental_Pecuaria/links/5508934a0cf26ff55f836248/13-Congreso-Socioeconomia-Ambiental-Pecuaria.pdf#page=501
- Universidad de Lleida. (2014). Emisión de amoníaco (NH₃) y gases con efecto invernadero (CH₄ y N₂O) en cerdos en crecimiento: efecto del nivel de proteína y fibra de la ración. Revisado el 15 de septiembre de 2019 en: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/285580/Thjmn1de3.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Universo Porcino. (2013). Producción de excretas porcinas y contaminación ambiental. Revisado el 15 de septiembre de 2019 en: http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/manejo_porcino_03-2013_produccion_de_excretas_porcinas_y_contaminacion_ambiental.html
- Van Hoof, B. Monroy, N. Saer, A. (2007). Producción más limpia. Paradigma de la gestión ambiental. Alfaomega.
- Varela, I. (s.f). Definición de producción más limpia. Revisado el 27 de noviembre del 2018 en: http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1481/1371

14.1. Referencias bibliográficas

- Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior . (2002). *Guía delombricultura* . Nicaragua Municipio capital de la Rioja .

- Agrolanzarote. (s.f). Manual práctico para lombricultura. Revisado el 8 de Octubre de 2019 en: <http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/01Actualidad/documentos/manual-lombricultura.pdf>
- Bueso, C. (febrero de 2014). Uso y beneficio del Biogás. Revisado el 13 de mayo del 2019 en: <http://programabiogasnicaragua.org/wp-content/uploads/2014/09/Biogas-Usos-y-Beneficios.pdf>
- Campabadal, C. (2009). Guía técnica para la alimentación de cerdos. Revisado el 13 de mayo del 2019 en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L02-7847.PDF>
- Cardona, J. E. (2008). *Caracterización de la gestión y uso del agua en fincas porcícolas en la cuenca del río la vieja (Departamento de Quindío y Risaralda)*. Pereira.
- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. (2008). Programa Organización Productiva para Mujeres Indígenas. Revisado el 13 de mayo del 2019 en: <http://www.cdi.gob.mx/dmdocuments/lombricomposta.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. (2016). Guía para la elaboración de plan de manejo de residuos peligrosos en granjas porcícolas. *Actúa*, 46.
- Corporación Autónoma Regional. (s,f). Oportunidades de producción más limpia en la industria panelera. Revisado el 07 de Agosto de 2019 en: <http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/36901/02835.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). *Levante y ceba de cerdos: etapas de una industria en continuo crecimiento*. Dirección de Difusión, Mercadeo y Cultura Estadística.
- ElSitioPorcino. (2016). Nutrición de los cerdos en crecimiento y finalización. *ElSitioPorcino*, 1
- González, R. (3 de marzo de 2015). ¿Qué es un contador de agua? Revisado el 13 de mayo del 2019 en: <https://twenergy.com/a/que-es-un-contador-de-agua-1674>
- Jiménez, D. (2010). Programa de manejo de impactos ambientales de la granja porcícola Monterrey. Revisado el 17 de Septiembre de 2019 en: <https://docplayer.es/17925857-Programa-de-manejo-de-impactos-ambientales-de-la-granja-porcicola-monterrey.html>
- Lombricultura de Tenjo. (s,f). Disposición de residuos orgánicos. Revisado el 01 de octubre de 2019 en: <https://www.lombriculturadetenjo.com/disposicion/>
- Martí Herrero J. 2019. Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación. Redbiolac. Ecuador. ISBN: 978-9942-36-276-6
- Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación. (2015). Buenas prácticas de manejo y utilización de efluentes porcinos. Revisado el 06 de Agosto de 2019 en: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/prensa/folletos_digitales/contenido/Manual_Porcino.pdf

- RedBiolac. (2015). Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador. Un aporte a la mitigación y adaptación al cambio climático. Quito-Ecuador
- Rodríguez, J. A. (2017). Variación del consumo de agua y producción de purín en cerdos. *porciNews*, 2.
- Sandoval, P. (2019). Planta de lombricompost a partir de desechos s[olidos org[ánicos de origen alimenticio provenientes de las plazas de mercado en la ciudad de Bogotá,D.C. Revisado el 13 de octubre de 2019 en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13556/1/PLANTA%20DE%20LOMBRICOMPOST%20A%20PARTIR%20DE%20DESECHOS%20SOLIDOS%20ORGANICOS%20DE%20ORIGEN%20ALIMENTICIO.pdf>
- Sistema Biobolsa. (2019). Biodigestor Sistema. Revisado el 13 de octubre de 2019 en: <https://sistema.bio/mx/>
- Universidad Libre de Colombia. (2013). Sustitución de alimento comercial por excretas de porcinos en la dieta de cerdos en ceba. *Innovando en la U*, 6.
- UraAgentzia. (s, f). Hoja informativa sobre tipos de contadores. Revisado el 18 de septiembre de 2019 en: http://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/informacion/sistemas_control_tipos/es_def/adjuntos/hoja_informativa_Medidores_caudal.pdf