



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE
PURINES DE CERDO PARA ABASTECIMIENTO DE LA
GRANJA CINMEX UBICADA EN EL MUNICIPIO DE
SANTUARIO, ANTIOQUIA**

Eder Rodolfo Alvarez Montoya
Edwin Alejandro Sánchez Giraldo

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería
Departamento de ingeniería Industrial
Medellín, Colombia
2020



Generación de energía eléctrica a partir de purines de cerdo para abastecimiento de la granja Cinmex ubicada en el municipio de santuario, Antioquia.

Eder Rodolfo Álvarez Montoya
Edwin Alejandro Sánchez Giraldo

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de Especialista en
Preparación y Evaluación de Proyectos Privados

Asesor(a):

Camilo Ignacio Coronado Ramírez

Economista, Ingeniero geólogo y Magíster en ciencias económicas

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería
Departamento de ingeniera industrial
Medellín, Colombia

2020

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Planteamiento del Problema.....	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general.....	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
2 MARCO TEORICO.....	14
2.1 Energía	14
2.2 Histórico y estado actual	16
2.3 Técnico y tecnológico	18
2.3.1 Tipos de Biodigestores.....	18
2.3.2 Biodigestores de régimen continuo.....	18
2.3.3 Cálculo de la masa seca	19
2.3.4 Cálculo de la masa volátil	20
2.3.5 Selección del tiempo de retención hidráulica (TRH).....	20
2.3.6 Grupo electrógeno a biogás.....	21
2.4 Geográfico.....	22
2.5 Marco legal	23
2.5.1 Incentivos y beneficios tributarios	23
2.5.1.1 Ley 1715 de 2014 y Resolución CREG 030 de 2018	23
2.5.1.2 Protocolo de Kyoto	24
2.5.2 Normas y reglamentos técnicos	26
2.5.2.1 RETIE	26
2.5.2.2 NTC 2050.....	26
2.5.2.3 Normas EPM.....	26
2.5.3 Legislación ambiental	26
2.5.3.1 Decreto 2041	26
2.6 Marco ambiental	27
3 METODOLOGIA	28
3.1 Estudio de entorno	28

3.1.1	Entorno macroeconómico.....	28
3.1.2	Sector porcícola.....	29
3.1.3	Sector eléctrico.....	30
3.1.4	Entorno del proyecto.....	31
3.2	Estudio de mercados	32
3.2.1	Producto	32
3.2.2	Precio de la energía eléctrica	32
3.2.3	Plaza.....	33
3.2.4	Oferta	33
3.2.5	Demanda	33
3.3	Estudios técnicos.....	33
3.3.1	Recolección y procesamiento de información del proceso productivo.....	33
3.3.2	Dimensionamiento técnico.....	34
3.3.3	Selección de tecnología.....	36
3.3.4	Generación de bioabono.....	37
3.3.5	Obras de ingeniería.....	38
3.4	Estudio legal y ambiental.....	40
3.4.1	Aplicación del proyecto a los beneficios tributarios.....	40
3.4.2	Identificar posibles limitantes legales y ambientales para el proyecto.	40
3.4.3	Impacto ambiental.....	40
3.5	Estudio de riesgos	41
3.5.1	Identificación de riesgos cualitativos.....	41
3.5.2	Identificación de riesgos cuantitativos.....	42
3.6	Estudio financiero	44
3.6.1	Proyectar el valor de la inversión inicial.....	44
3.6.2	Proyectar los gastos operativos y de mantenimiento	45
3.6.3	Análisis del crecimiento de la demanda energética de la granja.....	45
3.6.4	Análisis del incremento del precio de la energía.	45
3.6.5	Financiación.....	45
3.6.6	Ingresos del proyecto	46
3.6.6.1	Ingresos por beneficios de la ley 1715 de 2014.....	46
3.6.6.2	Ingresos por generación de energía eléctrica y venta de bioabono.....	47
3.6.7	Costo nivelado de la electricidad (LCOE):	47
3.6.8	Evaluación financiera del proyecto.....	48

3.7	Gerencia del proyecto	48
3.7.1	Estructura de desglose del trabajo.....	48
3.7.2	Cronograma.....	50
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
	BIBLIOGRAFÍA	52
	ANEXOS	
	Anexo A	
	Anexo B	
	Anexo C	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Incentivos tributarios ley 1715.	23
Tabla 2. Variables macroeconómicas.	29
Tabla 3. Consumo de energía.	33
Tabla 4. Distribución etaria y excretas.	33
Tabla 5. Caudales de biogás.	34
Tabla 6. Generación de energía eléctrica.	35
Tabla 7. Producción de biogás.	35
Tabla 8. Dimensionamiento de biodigestor.	35
Tabla 9. Ajustes de biodigestor y energía.	36
Tabla 10. Cálculo preliminar de bioabono.	38
Tabla 11. Cálculo de bioabono ajustado.	38
Tabla 12. Materiales de construcción biodigestor.	38
Tabla 13. Obras civiles preliminares.	39
Tabla 14. Obras civiles ajuste técnico.	39
Tabla 15. Riesgos y consecuencias.	41
Tabla 16. Riesgos y medidas.	41
Tabla 17. Riesgo de fluctuación de grupo etario.	42
Tabla 18. Escenarios de riesgo.	42
Tabla 19. Calculo de probabilidad $VPN > 0$	43
Tabla 20. Presupuesto de las opciones de inversión.	44
Tabla 21. Gastos operativos y de mantenimiento.	45
Tabla 22. Aplicación de los beneficios tributarios de la ley 1715 de 2014.	46
Tabla 23. Ingresos por generación de energía.	47
Tabla 24. Resultados de la evaluación financiera del proyecto.	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Flujo de energía solar almacenada en biomasa residual.	14
Figura 2. Producción adicional con biogás.	15
Figura 3. Planta de biogás para autoconsumo.	16
Figura 4. Sistema de biodigestor continuo.	18
Figura 5. Concepto de diseño básico de Biodigestor tipo laguna.	19
Figura 6. Biodigestor fabricado en polietileno linear de baja densidad (LLDPE).	19
Figura 7. Grupo electrógeno a biogás.	21
Figura 8. Localización geográfica de la granja.	22
Figura 9. Fuentes renovables no convencionales de energía.	24
Figura 10. Precio del kg en pie de la carne de cerdo.	30
Figura 11. Factura servicio de energía eléctrica EPM granja CINMEX.	32
Figura 12. Estructura de desglose del trabajo EDT.	49
Figura 13. Cronograma resumido.	50

GLOSARIO

Con el fin de establecer bases que permitan entender el proyecto y su desarrollo, es necesario definir los conceptos básicos y relevantes de la investigación, tales como:

Biomasa: El término biomasa o sustrato, se refiere a toda materia orgánica que proviene de desechos animales (estiércoles), desechos de mataderos, vinazas, o los provenientes de la agricultura, así como los residuos urbanos como basura orgánica; todos los desechos orgánicos que pueden ser convertidos en energía. (Moncayo, 2014).

Purines de cerdo: Biomasa compuesta por la mezcla de residuos agroindustriales de las granjas porcícolas, contienen las heces (porcinaza), orina y aguas de lavado producidas en los galpones de los cerdos. (Moncayo, 2014).

Digestión anaeróbica: La digestión anaeróbica, es un proceso natural microbiano que ocurre en forma espontánea en la biomasa en ausencia de oxígeno. Es un sistema ecológico delicadamente balanceado en donde, cada microorganismo tiene una función esencial. Se genera una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como biogás y una suspensión acuosa (bioabono) que contiene los componentes no degradados o parcialmente degradados y los restos orgánicos inicialmente presentes en la biomasa.

Hidrólisis: En esta etapa la materia orgánica es metabolizada por los microorganismos. (Moncayo, 2014).

Acidogénesis: En esta fase se convierten los productos intermedios en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. (Moncayo, 2014). Estas dos primeras fases son realizadas por bacterias hidrolíticas-acidogénicas y las acetogénicas que hidrolizan y fermentan las cadenas complejas de la materia orgánica en ácidos orgánicos simples (acético mayormente). (Moncayo, 2014).

Acetogénesis: Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético. (Moncayo, 2014).

Metanogénesis: En esta fase un segundo grupo de bacterias convierte los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono. Se trata de bacterias metanogénicas estrictamente anaerobias, es decir, que la presencia de oxígeno molecular las elimina. (Moncayo, 2014).

Biodigestor: Los biodigestores son depósitos o tanques cerrados herméticamente, se componen generalmente de un tanque de alimentación, del biodigestor, sistema de captación, purificación y aprovechamiento del biogás, sistema de monitoreo y control, una laguna de descarga, lecho de secado de lodos y antorcha para la combustión de biogás en exceso. (Moncayo, 2014).

Bioabono: El bioabono es el efluente del biodigestor. Es un lodo con propiedades fertilizantes, compuesto por la fracción orgánica que no alcanza a degradarse, el material orgánico agotado y por los desechos inorgánicos que no se degradan, es decir, mantiene los nutrientes originales tales como Nitrógeno, Fósforo y Potasio, que son esenciales para los

cultivos. Es un abono libre de olores, patógenos y de fácil aplicación. (Moncayo, 2014).

Masa seca (MS): La masa seca (MS), se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. Es el contenido de biomasa orgánica más la masa inorgánica que contiene un sustrato. Se define también como la biomasa seca total con la que se alimenta diariamente el biodigestor. (Moncayo, 2014).

Masa volátil (MV): La masa volátil o sólidos volátiles es el contenido de masa orgánica que tiene la biomasa. La masa volátil (MV) es el componente que se volatiliza después de la incineración de la masa seca durante 6 horas a 550 °C. Las cenizas restantes que quedan después del secado corresponden al componente inorgánico de la masa seca. (Moncayo, 2014).

Carga orgánica volumétrica (COV): Se entiende como (COV), a la cantidad de materia orgánica volátil (MV) con la que se alimenta diariamente el biodigestor por m³ de volumen de biodigestor. Se define en kg de MV por m³ de volumen de biodigestor y por día (kg MV/m³. d). (Moncayo, 2014).

Tiempo de retención hidráulica (TRH): EL TRH en días, es el tiempo de permanencia de la biomasa en el biodigestor. No existe un criterio unificado para determinar el tiempo de retención. Este valor depende de la temperatura ambiente y de la carga orgánica volumétrica (COV) seleccionada para el biodigestor. (Moncayo, 2014).

Biogás: El biogás es un combustible renovable. El poder calorífico del biogás es de 4.700 a 5.500 kcal/m³ o 5 a 7 kWh/m³ dependiendo del contenido de gas metano CH₄ y, puede generar en promedio una cantidad de calor equivalente a 22.000 BTU/m³ o 21,5 MJ/m³, valor que puede variar entre 17,7 y 23 MJ/m³. Su temperatura de auto ignición es similar a la del metano puro y varía de 650 - 750 °C. (Moncayo, 2014).

RESUMEN

La granja CINMEX ubicada en el municipio de El Santuario - Antioquia tiene una capacidad de 150 cerdos. Su actividad económica es la porcicultura, específicamente la comercialización de lechones, dentro de su actividad se destaca la investigación y desarrollo realizado por una alianza universidad – empresa que busca mejorar procesos y técnicas en la porcicultura.

El objetivo principal de esta monografía es evaluar a nivel de pre factibilidad un proyecto de generación de energía a partir de biomasa. En el caso de la granja CINMEX, se pretende determinar si es viable el aprovechamiento de los residuos de la actividad porcícola: excremento de cerdo, aguas de lavado y orines para generar biogás y a partir de ese biocombustible generar energía usando un grupo electrógeno (motor de combustión interna a biogás – generador eléctrico).

Para el desarrollo se investigan variables macroeconómicas y de entorno con el fin de determinar si existe un ambiente propicio para la sostenibilidad del proyecto, asimismo, se indaga sobre las perspectivas del precio de la energía eléctrica. Se hace un análisis técnico con el fin de estimar la producción de biogás y de bioabono. También se realiza un análisis financiero con el fin de determinar la viabilidad del proyecto. Por otro lado, se estiman los riesgos del proyecto y se realiza análisis de sensibilidad para poner a prueba el proyecto ante eventos imprevistos.

Los resultados obtenidos inicialmente, indican que el proyecto no es viable en las condiciones actuales de la granja, ya que se obtiene un VPN negativo, por este motivo, se procede a evaluar diferentes escenarios para determinar a partir de qué cantidad de cerdos es viable el proyecto. El resultado del ejercicio es que el proyecto es viable si la granja aloja como mínimo una cantidad de 240 cerdos (150 cerdos con la cantidad por grupo etario inicial más 90 cerdos de engorde). Con esa cantidad de animales, el VPN del proyecto es positivo y ante la prueba de sensibilidad se encuentra que, en ese escenario, el proyecto es relativamente estable ante cambios en las variables de entrada.

Con lo anterior, se puede concluir que el proyecto permite economía de escala, es decir, ante mayor cantidad de biogás y por ende energía generada como efecto de aprovechar mayor cantidad de desechos de la actividad productiva de la granja, el costo de la energía generada se hace menor, aumentando la rentabilidad lo que deriva en la viabilidad del proyecto.

Finalmente, teniendo en cuenta el entorno en el que se desarrollaría el proyecto donde una de las actividades principales de la granja es la investigación y el desarrollo, el aspecto financiero no sería el único criterio para determinar la viabilidad del proyecto, también se deben considerar criterios como el ambiental y hasta el impacto social y económico que la réplica de este tipo de proyectos podría tener en otros pequeños productores, es decir, el proyecto se podría convertir en un piloto para el desarrollo de esta tecnología, adecuándola al entorno Colombiano generando un impacto positivo al mejorar las condiciones económicas de los pequeños productores porcícolas.

Palabras clave: porcícola, desechos, biogás, energía, ambiental.

ABSTRACT

The CINMEX farm is located in El Santuario, Antioquia town; it has a capacity of 150 pigs. Its economic activity is pig farming, specifically piglet's sale. Research and development it's another activity made by a university – company alliance than looks for improving pig farming techniques and processes.

The main objective of this work is to do a feasibility of an electrical generating project from biomass. In the CINMEX farm case, it's pretends to determine if it is feasible the use of waste of the pig farming activity: sewage, pig excrement and pee to generating biogas and from this biofuel generate electrical energy using a biogas genset.

The researching includes macroeconomics and environmental variables in order to determine if exist a favorable environment for project sustainability, as well; it looks into about the electrical energy price perspective. A technical analysis it is made with the purpose of estimate biogas and electricity production. In addition, a financial study it is done in order to know about the project viability. On another hand, project risks are estimated and a sensitivity analysis in order to know if the project is able to faced unexpected events.

Initially results obtained indicate project unfeasibility under current conditions of the CINMEX farm because VAN is negative, because of this reason, it proceed to evaluate several scenarios in order to know from what quantity of pigs the project it's feasible. The exercise result is that the project is feasible if the farm increase its capacity up to 240 pigs (150 pigs with initial quantity per age group plus 40 fattening pigs). With that, animals quantity, the project VNA is positive and faced to sensitivity prove the project is relatively steady.

It's possible conclude the project is able to get scale economy, that is, faced to largest biogas quantity consequently generated energy as an effect of use more quantity of waste from the farm, the cost of generated energy is made low, increasing profitability derivations in the feasibility of the project.

Finally, having in count the environment of the project where the main activity of the farm is research a development, the financial criteria isn't the only to decide about the feasibility of the project, also it must to consider another criteria like environmental, social and economic impact into another small farms, that is, the project could be a pilot project to make easier the technological development, adjusting it to the Colombian environment generating a positive impact improving the economic conditions of small pig farming business.

Keywords: pig farming, waste, biogas, energy, environmental

INTRODUCCIÓN

Colombia al igual que la mayoría de países sudamericanos basa su economía principalmente en la venta de materias primas (Portafolio, 2019), sus mayores ingresos económicos se dan por medio de la exportación de hidrocarburos y minerales, productos agrícolas, agropecuarios, manufacturas, entre otros (DANE, 2019). El PIB de Colombia alcanzó para el año 2018 un valor de 333.11 billones de dólares creció 2.7% respecto al año 2017, de este valor 2% del crecimiento correspondió al sector de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, que para el primer trimestre de 2018 representó 4.2% del PIB nacional (DANE, 2019).

Sin embargo, factores tanto macro como microeconómicos hacen que los costos de la energía, los combustibles y los insumos para este sector, históricamente se incrementen y tiendan a seguir aumentando en el tiempo (DANE, 2019), asimismo, la regulación ambiental es cada vez más estricta haciendo que la agroindustria en el corto y mediano plazo tenga que enfrentarse a un escenario hostil en cuanto a costos y restricciones regulatorias del tipo ambiental.

Se hace necesario entonces, generar soluciones innovadoras que permitan reducir los costos de producción de las empresas dedicadas a la industria agropecuaria y que dichas soluciones aporten a mejorar los indicadores ambientales, reduciendo también los costos asociados a ese rubro.

1.1 Planteamiento del Problema

El consumo de energía eléctrica derivado de la actividad de las granjas porcícolas incrementa los gastos operativos que, a su vez disminuye el margen de utilidad de las empresas productoras. Por otro lado, las granjas generan residuos orgánicos cuyo vertimiento excesivo es causa de contaminación de fuentes hídricas y de la tierra.

Con el fin de minimizar el impacto ambiental del vertimiento y al mismo tiempo ahorrar en gastos operativos por consumo de energía, se plantea realizar un estudio en fase de pre factibilidad para la implementación de un sistema de generación de energía por medio del aprovechamiento de los residuos orgánicos. Para tal fin, se utilizará el proceso de descomposición anaeróbica, ampliamente conocido y utilizado en países como Alemania, España, El Salvador, Nicaragua, entre otros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar pre factibilidad para la generación de energía eléctrica con fines de autoconsumo por medio del aprovechamiento de purines de cerdo producidos de la granja porcina CINMEX ubicada en el municipio de Santuario, Antioquia.

1.2.2 Objetivos específicos

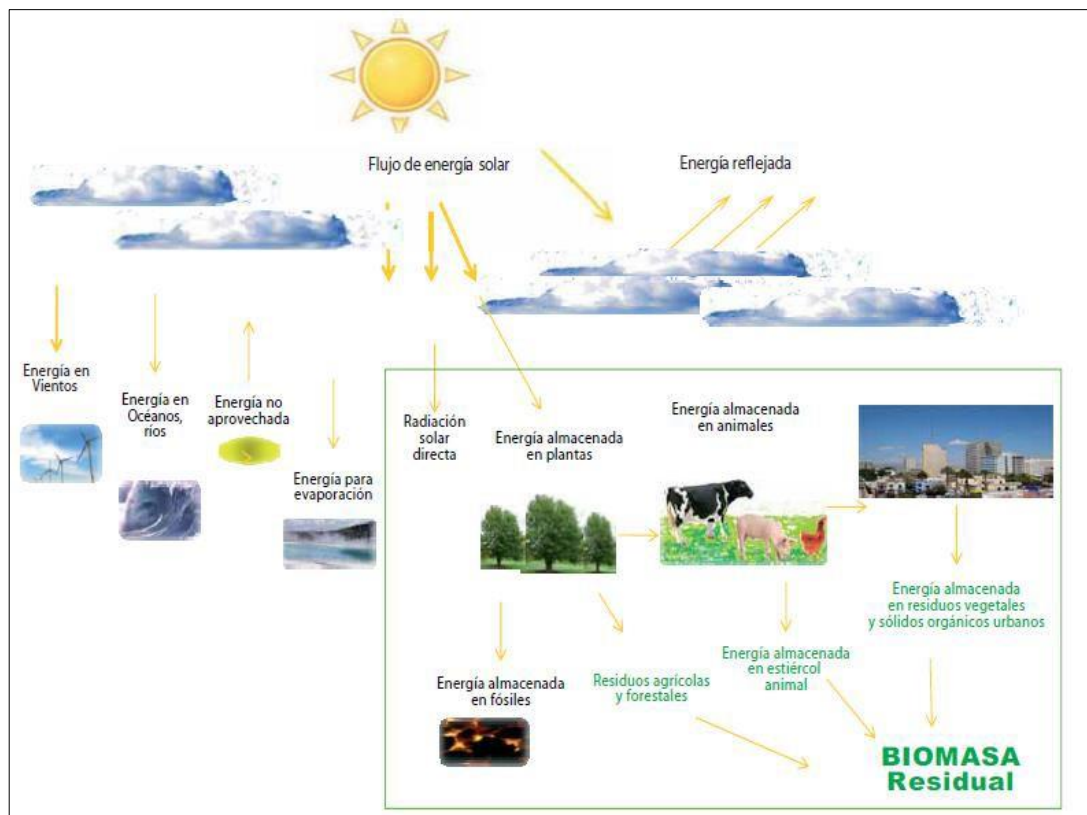
- Realizar estudio técnico que permita conocer el potencial energético de los purines de la granja y dimensionar la infraestructura para su aprovechamiento.
- Realizar estudio legal y ambiental con el fin de identificar el marco legal y los impactos ambientales del proyecto.
- Identificar y gestionar los riesgos inherentes al proyecto.
- Realizar evaluación financiera del proyecto.

2 MARCO TEORICO

2.1 Energía

El sol es la fuente de energía natural más importante del planeta, actualmente se puede decir que es una fuente inagotable de energía. La energía solar es la responsable de generar dinamismo en los ecosistemas, incluyendo el del ser humano, pero su principal aporte es proveer de luz a las plantas para que estas a su vez la transformen por medio de la fotosíntesis en alimento y finalmente convertirlo en biomasa.

Figura 1. Flujo de energía solar almacenada en biomasa residual.



Fuente: (Burgos, 2017).

La biomasa surge del proceso natural de descomposición de la materia orgánica, por tal motivo se considera renovable ya que este proceso es repetitivo y continuo dentro de la naturaleza.

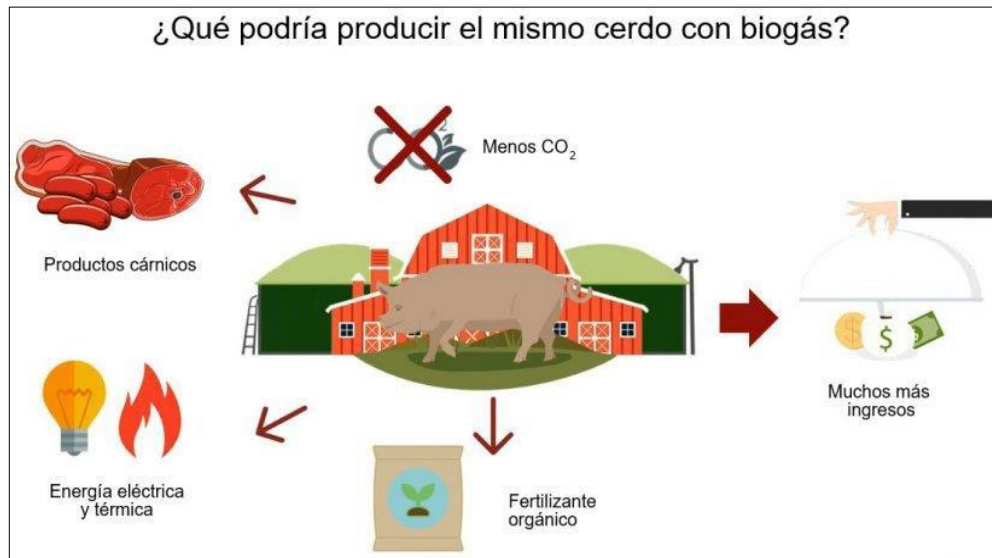
En la composición de la biomasa se encuentran grandes cantidades de carbono, oxígeno e hidrógeno; por lo tanto, la biomasa representa una gran cantidad de energía almacenada en su conjunto de componentes orgánicos de origen tanto vegetal como animal.

Cuando la biomasa se somete a un proceso de combustión, el aporte al calentamiento global por sus emisiones de CO₂ es neutro, lo cual significa que su uso como recurso energético

no contribuye al aumento del CO₂ en la atmósfera, siempre y cuando exista un balance cero entre la biomasa producida por el medio natural y la usada en la producción energética. (UPME, 2019).

Una de las biomásas más utilizadas por su riqueza energética es la derivada del proceso de descomposición del estiércol de cerdo o purines de cerdo. Debido a la alta demanda de carne de cerdo, Colombia cuenta con un gran potencial para el aprovechamiento de esta biomasa.

Figura 2. Producción adicional con biogás.



Fuente: (Burgos, 2017).

El biogás se produce mediante un proceso de digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno), en la que los purines se encierran en unas cámaras llamadas biodigestores y se someten a un proceso biológico de fermentación mediante distintos tipos de bacterias con dos fases consecutivas principales: una de acidificación del digestato (así se denomina la materia orgánica en el biodigestor) y otra en la que los microorganismos convierten el material orgánico en gas metano.

Los biodigestores se cierran herméticamente, por lo que no hay emisiones de nitrógeno a la atmósfera, olores, moscas, etc.

El resultado es una gran proporción de gas metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), y en pequeñas porciones, otros gases; por ello se somete a un proceso de depuración y queda listo para ser quemado en un motor-generator, capaz de generar energía eléctrica directamente. El gas resultante del proceso de depuración (biogás) es un combustible limpio de fuentes renovables que reduce la emisión de gases de efecto invernadero (el CO₂ que se produce al quemarse tiene 21 veces menos efecto invernadero que el metano que producirían los purines al aire libre).

Por otro lado, se tendría un abono líquido y un compost orgánico de alta calidad, pues el

nitrógeno orgánicamente enlazado y de lenta descomposición se convierte por un lado en amoníaco y por otro en nitratos de alta disponibilidad para las plantas (produce menor concentración de nitrógeno en suelos). Este abono más fácilmente absorbible por las plantas no consume nutrientes del suelo durante la maduración. Por último, la estabilización y madurez que se consigue tras la digestión evita posibles problemas de fitotoxicidad, lo que lo hace muy adecuado para fertilización de fondo y siembra, y de acidez, por lo que es óptimo para fertilización de cobertera.

Figura 3. Planta de biogás para autoconsumo.



Fuente: (Burgos, 2017).

2.2 Histórico y estado actual

La generación de energía eléctrica y térmica a partir de biogás a nivel mundial representa una alternativa viable desde el punto de vista ambiental y económico. En algunos países europeos se han desarrollado y mejorado las diferentes técnicas de producción de biogás para suplir las demandas energéticas que antes cubrían los sistemas fósiles o nucleares.

El centro y sur de América no son la excepción en cuanto a desarrollos en el campo de la generación de biogás; empresas como Aqualimpia Engineering e.K. de origen Alemán, se ha especializado en el desarrollo de proyectos integrales de aprovechamiento de recursos renovables (biomasa, desechos orgánicos, aguas residuales, etc.) para la producción de biogás, generación de energía eléctrica y calorífica, ejecutando proyectos en Venezuela, Ecuador, Nicaragua, El Salvador, Bolivia, Chile, Perú, Argentina, Guatemala, México, Cuba, Colombia, Venezuela, Costa Rica y Panamá.

Por su geografía, clima y economía soportada en gran parte por la producción

agropecuaria, los países latinoamericanos son considerados potenciales en materia de producción de biomasa.

En vista del crecimiento y efectividad que ha tenido la generación energética a partir de los diferentes tipos de biomasa, Colombia ha destinado recursos importantes para la investigación y ejecución de proyectos que puedan potenciar esta tecnología. Atendiendo la premisa de uso eficiente y racional de la energía y bajo el amparo de la Unidad de Planeación Minero Energética UPME el gobierno nacional en el año 2011 por medio del Ministerio de Minas y Energía entrega el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.

Este documento contiene información importante sobre la cantidad y distribución de biomasa con que cuenta Colombia; en una serie de mapas se ilustra el potencial y ubicación geográfica según el tipo de biomasa agrícola (cultivos de maíz, caña, arroz, café entre otros), pecuario (purines avícolas, porcinos o bovinos) y residuos sólidos orgánicos urbanos. Dividido en los tres grupos anteriores, el atlas busca contribuir a una mayor planificación y ejecución de proyectos energéticos que aprovechen la biomasa del territorio nacional y permitan disminuir la dependencia energética de sistemas convencionales, generar mayores ingresos económicos y disminuir el impacto ambiental en la producción.

Además del Ministerio de Minas y Energía, Porkcolombia - Fondo Nacional de La Porcicultura, se ha enfocado en los últimos años a generar recursos que permitan tecnificar y potenciar la industria porcina, de manera que cada día sea más rentable invertir en el sector y aumentar su contribución al PIB nacional. Algunos de los recursos obtenidos por parte de Porkcolombia son presentados en el informe de sostenibilidad de 2019, en el cual se resaltan los esfuerzos por identificar los potenciales del sector en materia de biomasa y bioabonos con el acompañamiento de entidades académicas como la Universidad de Antioquia y Universidad de los Andes.

El presente proyecto se basa en la generación de energía eléctrica a partir de biogás producido por purines de cerdo o porcinaza (biomasa), por tal motivo los avances e informes elaborados por PORKCOLOMBIA son fundamentales para su desarrollo. Aunque se tiene evidencia de algunos desarrollos y proyectos de esta índole en el país, es difícil precisar cuántos y de qué manera se han desarrollado, y mucho menos sobre sus resultados.

Algunos estudios académicos como el presentado por la Universidad EAN (Escuela de Administración de Negocios) en su artículo del 2016 “Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca” muestran un mapeo del potencial para este tipo de proyectos en zonas específicas, o el informe presentado por la Universidad Nacional de Colombia en el 2018 bajo la contratación de la UPME “Estimación del Potencial de Conversión a Biogás de la Biomasa en Colombia y su Aprovechamiento”, son aportes de gran importancia técnica para apoyar no solo este proyecto sino los que se puedan desarrollar en el futuro.

2.3 Técnico y tecnológico

Los proyectos de generación de energía a partir de biomasa requieren de la utilización de tecnologías y aspectos técnicos específicos que garanticen su correcto funcionamiento a continuación se definen los más importantes:

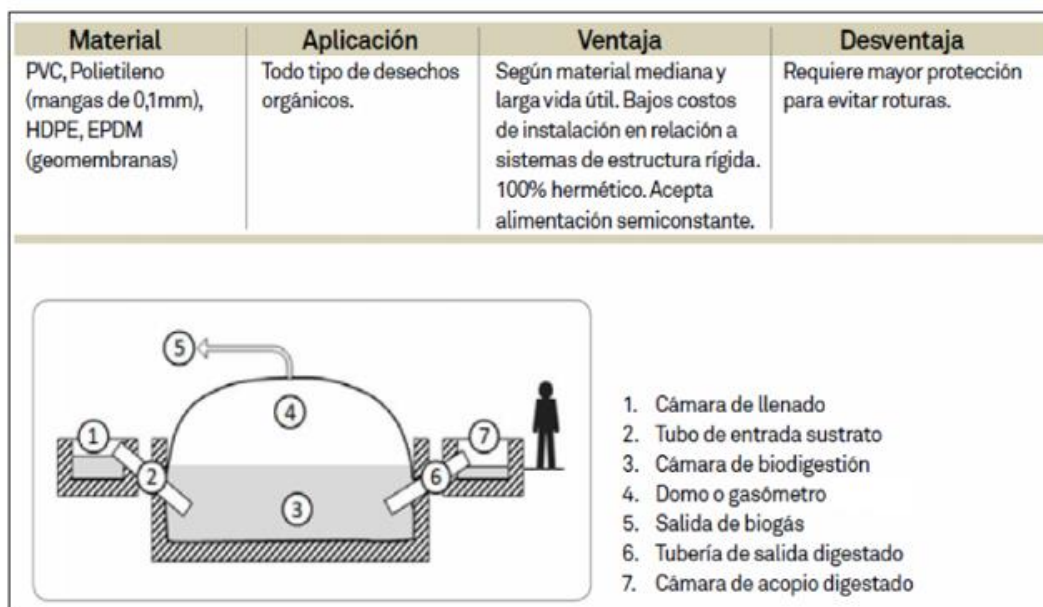
2.3.1 Tipos de Biodigestores

Los Biodigestores se clasifican por el tipo de proceso o modo de operación, llenado y vaciado. Se los define en digestores de régimen estacionario o por lotes, de régimen semicontinuo, de régimen continuo, entre otros. (Moncayo, 2014).

2.3.2 Biodigestores de régimen continuo

Este tipo de sistemas se caracteriza por ser efectivo en el tratamiento de purines y por operar con sustratos líquidos de bajas concentraciones de materia sólida, permitiendo una operación en la mayoría de los casos por rebose, tanto en su ingreso como en la salida del sistema. Esto lo hace un sistema de bajo costo debido principalmente a la ausencia de un sistema de calefacción y agitación. Presenta condiciones psicrófilas en un rango de temperaturas de entre 10°C a 25°C (Temperatura ambiente).

Figura 4. Sistema de biodigestor continuo.

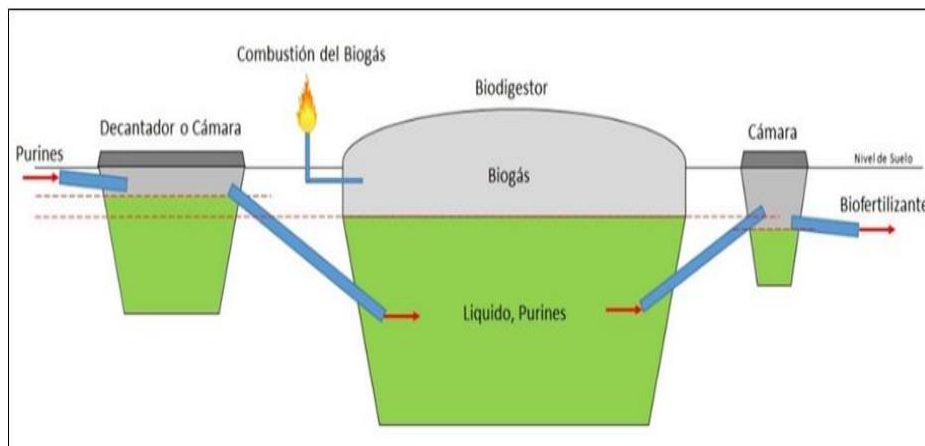


Fuente: (Burgos, 2017)

A través de este sistema se logra la construcción de biodigestores económicos (no baratos), bien diseñados que cumplen con todas las normas de seguridad. Los costos de construcción de estos biodigestores están en el orden del 35 y 50% del costo de otros con el mismo volumen y rendimiento en la producción de biogás que los construidos de forma tradicional.

El concepto básico de diseño es la instalación de un tanque de polietileno (plástico) semienterrado o bajo tierra donde se almacena todo el material para su descomposición.

Figura 5. Concepto de diseño básico de Biodigestor tipo laguna.



Fuente: (Burgos, 2017)

Figura 6. Biodigestor fabricado en polietileno linear de baja densidad (LLDPE).



Fuente: (García, 2020)

2.3.3 Cálculo de la masa seca

La masa seca o sólidos totales de los residuos agroindustriales, puede ser muy variable. Algunos como el suero de leche, los purines de cerdo pueden tener un 1 - 5% de ST o MS, mientras que en otros puede superar el 30% como en la gallinaza. El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla con la que se alimenta un biodigestor, debe ser del 8 - 12%. En la práctica, se ha generalizado utilizar un porcentaje de dilución del 10%. Se logra esta dilución mezclando la biomasa con agua o recirculando biol o bioabono.

La determinación de la masa seca, se debe realizar de acuerdo con el método “2540 E de Standard Methods for examination of water and wastewater (ApHA, 1995)” o similar.

Para la determinación de la masa seca, se toma una muestra, se la pesa y se seca a 105°C en un horno o mufla de laboratorio durante 48 horas.

El cálculo de la humedad contenida en la biomasa se realiza con base en la siguiente ecuación (Moncayo, 2014):

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(P1 - P2) * 100}{P1}$$

P1 = Peso inicial de la muestra en gramos

P2 = Peso después de secado en gramos

$$\text{Masa seca (\%)} = 100\% - \text{Humedad(\%)}$$

2.3.4 Cálculo de la masa volátil

El porcentaje de sólidos volátiles respecto al de los sólidos totales (% de sólidos volátiles o MV) suele variar entre el 70 - 95%. Los residuos que tienen un porcentaje inferior al 60% no suelen considerarse “buenos” sustratos para la digestión anaeróbica.

El conocimiento de la MV es importante ya que solo este porcentaje es el contenido real de masa orgánica en la biomasa. El resto es humedad, trazas inorgánicas y otras materias que no producen biogás. Solo este contenido de MV es el que produce biogás durante la digestión anaeróbica en el biodigestor. El contenido de humedad (agua) no produce biogás, pero facilita el proceso de digestión.

Este valor es también necesario para el cálculo de la carga orgánica volumétrica. COV (kg.MV/m³. día), con la cual se alimenta al biodigestor.

La masa volátil se calcula con base en la siguiente ecuación (Moncayo, 2014):

$$\text{MV(\%)} = \frac{(\text{MS (g)} - \text{Ceniza (g)}) * 100}{\text{MS (g)}}$$

2.3.5 Selección del tiempo de retención hidráulica (TRH)

En los países tropicales se dimensionan los biodigestores para un TRH entre 10 y 25 días, dependiendo de la temperatura ambiental y del tipo de biomasa.

Si se selecciona un TRH demasiado corto, las bacterias no tienen tiempo de formarse y crecer. Las bacterias, necesitan, aunque sea los días necesarios para duplicarse. Por esta razón, se considera como límite inferior un TRH de 10 días como mínimo para la

producción de bacterias metanogénicas.

Mientras más baja la temperatura, mayor será el TRH, algunos autores recomiendan TRH superiora 50 o 60 días para condiciones psicofílicas y, aunque en particular no existe límite superior, no se recomienda TRH superiores a 100 días ya que la producción de biogás cae considerablemente. Estos sistemas no contemplan sistema de agitación a causa de la inexistencia de un sistema de calefacción, por ende, no hay necesidad de homogenizar la temperatura de la mezcla con agitación

El TRH debe ser seleccionado considerando los siguientes aspectos:

- El volumen de biodigestor.
- Temperatura del proceso.
- Costos de construcción.
- Análisis costo - beneficio (rentabilidad).
- La COV resultante debe ser $\leq 3 \text{ kg/m}^3$.

$$\text{TRH} = \frac{\text{Volumen Biodigestor}}{\text{Caudal de entrada}} = \frac{V}{Q_e}$$

2.3.6 Grupo electrógeno a biogás

Equipo electromecánico compuesto de un motor de combustión interna, cuyo combustible es el biogás, un generador de corriente alterna y un sistema electrónico de control llamado sincronismo que permite conectar el grupo electrógeno con la red eléctrica local o comercial con el fin de exportar la energía generada, y de esta manera, aprovecharla en forma de trabajo o comercializar en el mercado de energía.

Figura 7. Grupo electrógeno a biogás.



Fuente: (Ma, 2020).

Para el dimensionamiento de un grupo electrógeno a biogás, se debe tener en cuenta de manera estimativa:

Asumir que 1 m³ de biogás con el 65% de metano puede producir un estimado de 1,8 kWh de electricidad (Ma, 2020).

Asimismo, se debe conocer la siguiente información:

- Producción de biogás de los biodigestores. Este valor debe indicar la producción real que se va a obtener en el biodigestor. Es recomendable tener datos medidos de la producción de biogás.
- Grado de eficiencia total del grupo electrógeno, incluye eficiencia del motor y del generador. Por lo general, este porcentaje de eficiencia llega al 85%.
- Porcentaje de metano contenido en el biogás, que oscila entre 55 - 75%. Lo más recomendable, es realizar mediciones de la concentración de metano.
- Grado de eficiencia eléctrica del generador. (Romero, 2013).

2.4 Geográfico

El proyecto e investigación se realizará en la granja porcícola CINMEX propiedad de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad CES, localizada en el Municipio de Santuario, Departamento de Antioquia. La temperatura promedio es de 16.9 °C, con una precipitación promedio de 2708 mm/año y una altura de 2164 m.s.n.m. Las coordenadas son 6° 7'13.91"N 75° 15'22.67"O.

En este espacio de investigación se asegura el método científico en el desarrollo del proyecto. La infraestructura es adecuada para la producción, la academia, la investigación, la transferencia de tecnología y la extensión social.

Figura 8. Localización geográfica de la granja.



La Finca CINMEX tiene una extensión de 18 hectáreas y está dotada completamente para desarrollar actividades prácticas en grandes especies y en manejo de praderas.

2.5 Marco legal

2.5.1 Incentivos y beneficios tributarios

En la última década, en términos políticos y legales, Colombia ha dado pasos, que, aunque parecen tímidos y lentos, han permitido una dinámica interesante para la generación de energía con fuentes no convencionales. Es importante resaltar los esfuerzos que se han hecho a nivel internacional y ver las oportunidades que han generado estos esfuerzos en términos de ingresos económicos adicionales para el desarrollo de proyectos verdes:

2.5.1.1 Ley 1715 de 2014 y Resolución CREG 030 de 2018

El 13 de mayo de 2014 se sancionó la Ley 1715 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. La finalidad de la ley es incentivar el aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía (principalmente renovables), contribuir a la gestión eficiente de la energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mediante el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía (UPME, 2019).

Algunos de los beneficios de la Ley 1715, se muestran en la Tabla 1

Tabla 1. Incentivos tributarios ley 1715.

Beneficio	Descripción general
Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta I. Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014. II. Artículo 2.2.3.8.2.1 y siguientes del decreto 2143 de 2015 (incorporado al decreto 1073 de 2015). III. Artículo 174 de la Ley 1955 de 2019.	Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir de FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones. El valor por deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente.
Depreciación acelerada. I. Artículo 14 de la ley 1715 de 2014. II. Artículo 2.2.3.8.5.1. del decreto 2143 de 2015 (incorporado al decreto 1073 de 2015)	Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta por una porción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.

<p>Exclusión de bienes y servicios de IVA</p> <p>I. Artículo 12 de la ley 1715 de 2014.</p> <p>II. Artículo 2.2.3.8.3.1. del decreto 2143 de 2015 (incorporado al decreto 1073 de 2015)</p>	<p>Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados.</p>
--	---

Fuente: (UPME, 2019).

Con el fin de reglamentar la ley 1715, a partir del 1 de marzo de 2018 se da la entrada en vigencia la Resolución CREG 030 de 2018, en la se regulan las actividades de generación a pequeña escala y generación distribuida. Esta resolución define las reglas que permiten a los usuarios conectarse al Operador de Red (OR) de manera fácil y sencilla, sea como auto generadores o generadores distribuidos.

De acuerdo con la resolución CREG 030 del 2018 es posible generar energía con fuentes no renovables y renovables. Las energías renovables son, por ejemplo:

Figura 9. Fuentes renovables no convencionales de energía.



Fuente: (EPM, 2020).

Al producir su propia energía, los usuarios podrán reducir el consumo de este servicio y el valor a pagar en su factura. Además, podrá vender al sistema interconectado nacional la energía que sobre (excedentes), en el marco de la resolución se definen dos tipos principales de generadores:

Autogenerador a pequeña escala (AGPE): Son aquellos usuarios cuya capacidad de generación instalada es menor o igual a 1000 kW.

Generador distribuido (GD): Usuarios cuya capacidad de generación instalada es menor o igual a 100 kW. (EPM, 2020).

2.5.1.2 Protocolo de Kyoto

En 1997 se adoptó el Protocolo de Kyoto en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMNUCC. Dicho acuerdo internacional tiene por objeto reducir

las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), causantes del calentamiento global en un porcentaje de 5,2 en el periodo 2008 - 2012, con base en las emisiones de 1990, el cual entró en vigor en febrero 16 de 2005. Este hecho dio el campanazo de salida para la creación de los mercados de carbono.

El mercado de carbono se basa en el esquema cap and trade. El umbral, tope o cap asegura el cumplimiento de objetivos ambientales y climáticos; el mercado (trade) garantiza la eficiencia y puede contribuir a la equidad de todo el sistema.

El Protocolo de Kyoto, impone una restricción a las emisiones de los países desarrollados (cap) Países Anexo I, eximiendo a los países en vías de desarrollo Países no Anexo I, por la mayor responsabilidad histórica de los primeros, y se complementa con un mercado (trade). Los países desarrollados deben asumir la restricción impuesta por el Protocolo (reducción promedio de emisiones de un 5.2%), y la hacen extensiva a sus empresas más relevantes, las cuales son autorizadas a emitir sólo un volumen determinado de emisiones GEI. Tales autorizaciones se traducen en títulos denominados derechos de emisión, que a su vez pueden ser objeto de transacción en el mercado, lo que asegura su asignación eficiente de acuerdo con las condiciones y expectativas de cada empresa.

El Protocolo de Kyoto contempla tres mecanismos de flexibilización para su implementación. Primero está el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones, en el cual se realizan transacciones sobre los permisos de emisión entregados por los gobiernos a las empresas llamados Derechos de Emisión Europeos (EUA, por las siglas en inglés de European Union Allowances). El segundo mecanismo es la implementación conjunta, donde cualquier país del anexo I puede invertir en un proyecto de reducción de emisiones (denominado «proyecto de implementación conjunta») situado en cualquier otro país del anexo I como alternativa a reducir sus propias emisiones nacionales. Finalmente, el Protocolo de Kyoto contempla el denominado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual permite emprender proyectos en países no Anexo I (países en vías de desarrollo) que mitiguen emisiones de GEI, tales proyectos pueden ser acreedores a Certificados de Reducción de Emisiones (CERs) o bonos de carbono otorgados por las Naciones Unidas y comercializarlos para apalancar financieramente proyectos ambientalmente limpios y contribuir al desarrollo sostenible.

Paralelo al mercado de carbono de Naciones Unidas surgieron los mercados voluntarios de carbono los cuales han adquirido gran importancia para los proyectos agrícolas y forestales. Los créditos de carbono en el mercado voluntario se denominan Reducción Verificada de las Emisiones de carbono (VER, por sus siglas en inglés) los cuales son adquiridos principalmente por el sector privado y se emiten bajo diferentes estándares, entre los más importantes y conocidos están: VCS22, CCB+ y GOLD STANDAR2. (group, 2019).

2.5.2 Normas y reglamentos técnicos

2.5.2.1 RETIE

Los proyectos eléctricos en Colombia son reglamentados actualmente por el “REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS” RETIE. Dicho reglamento obliga a que cada elemento, equipo o material dispuesto en un sistema o red eléctrica debe contar con su respectiva certificación nacional o internacional amparada bajo el mismo reglamento, toda instalación estará sujeta a labores de inspección con fines de certificación. En conclusión, el RETIE se encarga de exigir y avalar los productos, personas y sistemas o redes del sector eléctrico. Quien no cumpla con los estándares y las obligaciones estipuladas incurre en un delito sancionable tanto para el usuario final como para quien ejecuta el proyecto.

2.5.2.2 NTC 2050

El “Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación” ICONTEC, ha desarrollado una serie de normas con las cuales se busca orientar en materia de diseño e instalación al sector eléctrico para que, bajo parámetros basados en normas internacionales, las instalaciones cumplan a cabalidad con estándares de calidad y seguridad. Dicha normatividad se encuentra consignada en el “CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO” NTC2050; el reglamento RETIE exige que, para certificar bajo la reglamentación vigente, todas las instalaciones eléctricas deben realizarse según lo establecido por esta norma.

2.5.2.3 Normas EPM

Los operadores de red como máximas autoridades territoriales en materia energética, también han elaborado un sinnúmero de normas aplicables para proyectos que involucran de forma directa las redes eléctricas administradas e instaladas por ellos. Para el caso de Antioquia el grupo EPM es el encargado de velar por el correcto funcionamiento y suministro eléctrico de la región y para brindar garantías a sus usuarios. Además, cuenta con una serie de normas discriminadas por tipo de instalación y necesidad energética; de este modo, cualquier tipo de proyecto que requiera conexión con la red de distribución eléctrica tanto para consumo como para generación debe contar, según las especificaciones técnicas dictadas por EPM, con un permiso y aval del mismo ente para que pueda realizarse la puesta en marcha.

2.5.3 Legislación ambiental

2.5.3.1 Decreto 2041

El ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, a través de sus leyes, decretos y resoluciones ha fijado diferentes criterios que se deben evaluar y respetar para proyectos que involucran afectaciones a los recursos ambientales de la Nación; es por tal razón que el Decreto 2041 de 2014, encargado de definir qué proyectos de deben realizar las gestiones para la consecución de licencias ambientales cumpliendo con todos los parámetros y metodologías decretadas allí, establece en el numeral 4 del artículo 9 que será exigida

licencia ambiental a los proyectos de generación de energía que tengan las siguientes características:

- La construcción y operación de centrales generadoras con una capacidad mayor o igual a diez (10) y menor de cien (100) MW, diferentes a las centrales generadoras de energía a partir del recurso hídrico.
- La construcción y operación de centrales generadoras de energía a partir del recurso hídrico con una capacidad menor a cien (100) MW; exceptuando las pequeñas hidroeléctricas destinadas a operar en Zonas No Interconectadas (ZNI) y cuya capacidad sea igual o menor a diez (10) MW;

Adicionalmente se decretan en el numeral 4 del artículo 8 los proyectos de generación de energía diferentes a los hídricos que deben poseer licencia ambiental, tales como:

- La construcción y operación de centrales generadoras de energía eléctrica con capacidad instalada igual o superior a cien (100) MW.
- Los proyectos de exploración y uso de fuentes de energía alternativa virtualmente contaminantes con capacidad instalada superior o igual cien (100) MW.

2.6 Marco ambiental

Los proyectos de generación de energía alternativa y en especial los que se realizan a partir de la utilización de desechos orgánicos de producción, como lo es el estiércol porcino o porcínaza, tienen un impacto positivo en el medio ambiente por los usos y tratamientos eficientes que se le dan a estos desechos. Actualmente las granjas porcinas deben estar sujetas a diferentes reglamentaciones del tipo ambiental, sanitario y técnico, por lo cual es importante determinar el estado actual en que se encuentran estos espacios, realizando validación de documentación en materia legal para determinar qué tan significativo puede ser el impacto del proyecto sobre la granja, ya sea que contribuya a la despenalización si es el caso o al acceso a otros beneficios ambientales otorgados por las entidades locales o nacionales.

Si bien los proyectos de generación de energía a pequeña escala no requieren licencia ambiental y por lo tanto no requieren implementar plan de manejo ambiental según el artículo 21 del decreto 2041, se debe aportar información necesaria a la granja para que dentro de su plan ambiental actual sea tenida en cuenta y realizar las actualizaciones pertinentes, adicionalmente se debe hacer estudios que permitan informar y cuantificar la contribución ambiental del proyecto.

3 METODOLOGIA

3.1 Estudio de entorno

3.1.1 Entorno macroeconómico.

El panorama internacional durante el primer trimestre del año 2020, evidenció consecuencias importantes producto de la covid -19 en países como Estados Unidos, Alemania, Italia y Francia, donde las contracciones económicas fueron del orden del 5%, en China fueron del 6,8% (Bancolombia, 2020).

Para el caso de Latinoamérica se estima que las contracciones en el PIB de la región varíen entre un 5,2 y 5,5% según el BID (Banco interamericano de Desarrollo). Para Colombia la perspectiva según el ministerio de hacienda es que el PIB tenga una contracción del 5,5% y el grupo Bancolombia espera que sea del 3,4%. (Bancolombia, 2020).

Por otro lado, el banco de la república de Colombia disminuyó la tasa de interés de referencia a su mínimo histórico de 2,25%, con el fin de estimular la economía ante la crisis generada por el desempleo y la inflación, dicha tasa se estará revisando periódicamente para ajustarse a la realidad económica del país. (Colombia, 2020). El grupo de investigación económica de Bancolombia prevé que para finales del 2020 el recorte en la tasa de interés estaría por debajo del 2% llegando incluso al 1,25%, y solo hasta el segundo periodo del 2021 se comenzaría con la normalización monetaria.

Asimismo, el grupo económico de Scotiabank Colpatria revisó a la baja la proyección económica para Colombia de cara al cierre del año con una caída del PIB del 7,5%. (Analitik, 2020).

La dirección de investigaciones económicas de Bancolombia plantea las principales implicaciones que tendría Colombia en términos económicos:

- **Crecimiento económico:** para todo 2020 la caída del PIB estaría entre 5% y 6%. Además, los riesgos para este pronóstico están sesgados a la baja.
- **Importaciones:** se espera una caída que oscilaría entre 25% a 36% este año. Los bienes de consumo final de mayor valor, tales como vehículos y electrodomésticos, así como los bienes de capital, serían los rubros más afectados.
- **Tasa de cambio:** se considera que en las retadoras condiciones externas que prevalecerán en el futuro previsible el USDCOP promediará un nivel en 2020 entre \$3.910 y \$4.030 pesos. Esto implicaría una devaluación nominal de entre 19% y 23%.
- **Inflación:** habrá una marcada desaceleración de la inflación como consecuencia del retroceso en la demanda agregada y las medidas de alivio a los hogares que ha tomado el gobierno, por lo que esperamos que cierre el año entre 1,3% y 1,8%. (Bancolombia, 2020).

Tabla 2. Variables macroeconómicas.

Indicador	2019	2020
Crecimiento PIB (var. % anual)	3,30%	[-5%, -6%]
Tasa desempleo urbano (% PEA, promedio año)	11,20%	[18,5%, 20,3%]
Inflación consumidora (var. % anual, fin de año)	3,80%	[1,3%, 1,8%]
Tasa de referencia BanRep (% anual, fin de año)	4,25%	[1%, 1,25%]
Tasa de cambio USDCOP (promedio de año)	\$ 3.281	[\$ 3.910, \$ 4.030]
Devaluación nominal (% promedio año)	11,00%	[19,2%, 22,8%]

Fuente: (Bancolombia, 2020)

3.1.2 Sector porcícola

La demanda de carne de cerdo en Colombia ha crecido considerablemente desde el año 2010 cuando el consumo per cápita era de 4,8 kg, luego para el año 2019 se llegó a 11,2 kg, representando un crecimiento del 135%, ubicándose por encima del consumo de Perú de 7,7Kg (Actualidadporcina, 2020) y cerca al consumo que presentó Brasil en 2018 con 14,3 Kg (pigprogress, 2019).

La carne de cerdo ocupa el tercer lugar en el mercado de carnes con cerca del 12% del consumo, siendo el líder del mercado el pollo con 35,5%, seguido por la carne de res con 18,1% y en cuarto lugar el pescado con 7%.

Vale la pena resaltar que, de acuerdo con el último inventario del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en 2018, se contabilizaron 239.199 granjas porcícolas en todo el país con una población porcina de más de 5,5 millones de animales.

En ese volumen, se destacan Antioquia (45%), Valle del Cauca (15%), Eje Cafetero (8,6%), Meta (5,6%) y Atlántico (2,9%), como las regiones con mayor producción de cerdos. Sin embargo, Bogotá también sobresale por ser un importante epicentro del beneficio porcino, ya que acoge la mayoría de la producción del centro del país. (Dinero, 2018).

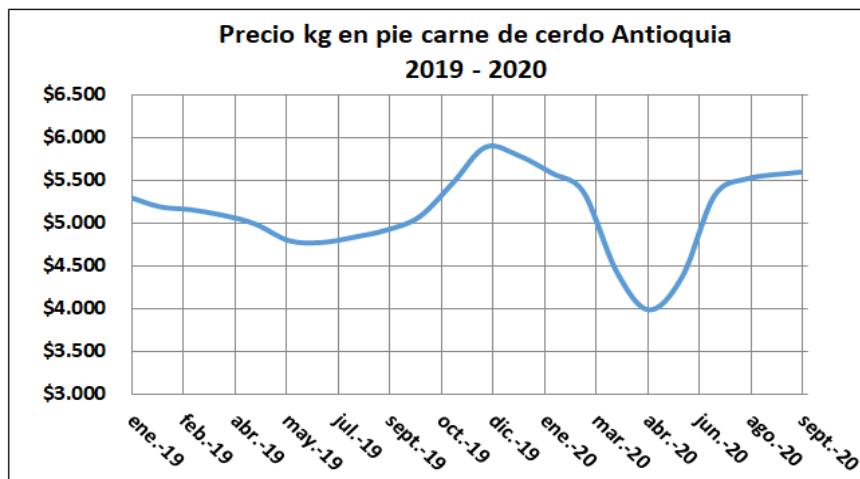
Esta industria es cada vez más sólida y prueba de ello es que el sector porcícola tiene una participación de 1,4% del PIB agropecuario y de 4,8% del PIB pecuario, según el último estudio sectorial del Dane de 2016. (Agronegocios, 2019).

El sector porcícola, cuenta con una agremiación que agrupa a sus productores, Porkcolombia – FNP que ha liderado campañas importantes de mercadeo y ha fomentado el crecimiento del sector aumentando la tecnificación de los aprovechamientos. Dentro de su plan estratégico proyectado a 2025 contempla como uno de sus pilares la disminución de la huella de carbono que usaría el aprovechamiento del subproducto del negocio (la porcínaza) como combustible y abono para generar energía eléctrica e ingresos y ahorros por el uso de fertilizantes orgánicos, de igual manera, contemplan la participación en el mercado de desarrollo limpio MDL mediante la comercialización de bonos de carbono derivados de estos proyectos. (Miporkcolombia, 2019). Por otro lado se da el surgimiento

de la una comercializadora internacional de carne llamada CI Porkco que comenzará a trabajar con el objetivo de ganar espacio en mercados asiáticos como los de China y Corea del Sur. (Dinero, 2018).

Debido al crecimiento en el consumo y la demanda, el precio del kg en pie del cerdo ha sufrido fuertes fluctuaciones, a continuación, se muestra la gráfica con las variaciones del de precio según informe de PorkColombia.

Figura 10. Precio del kg en pie de la carne de cerdo.



Fuente: (Porkcolombia, 2020)

3.1.3 Sector eléctrico.

El sector eléctrico en Colombia es estratégico dentro del Plan Energético Nacional 2050 – PEN 2050 desarrollado por la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Con este plan se busca tener un mejor entendimiento de las incertidumbres que se presentan actualmente respecto del futuro del sector energético colombiano.

Debido a los compromisos internacionales de reducción de emisiones tales como ODS, COP 21 (2015) y COP 25 (2019) sumado a las buenas prácticas OCDE que se deben interiorizar dentro del sector, se estima que para el año 2050 serán la electricidad y el gas natural los energéticos de mayor participación en la matriz energética nacional con un 46%, a diferencia de los predominantes en la actualidad que son el diésel y la gasolina con un 45%. Esto aunado a las proyecciones de demanda energética de los próximos 30 años, que crecerá en más de un 60% a tasas del 1.5% anual significa un gran reto para el sistema eléctrico del país.

Los compromisos internacionales de reducción de emisiones de CO2 conducirán de manera inevitable a emplear fuentes renovables no convencionales de energía. El país ha venido dando pasos en esa dirección, un impulso importante a ese proceso de transformación se ha dado con la ley 1715 de 2014 que ha introducido estímulos y abrió el camino a la implementación FNCE. Con el empleo de fuentes alternativas, y el uso eficiente y racional

de la energía, se pretende llegar a un escenario de consumo de más energía per cápita, pero más eficiente, logrando de esa manera que el mercado eléctrico en general sea competitivo y amigable con el medio ambiente. (UPME, 2019).

Actualmente el sector eléctrico enfrenta riesgo de aumento del precio de la energía superando valores históricos de incremento anual, y en el peor de los escenarios un racionamiento debido a las implicaciones que tiene el fenómeno del niño. Para el año 2020, a pesar de la disminución de la demanda de energía en el primer semestre, hubo una reducción significativa de los niveles de los embalses, a tal punto que se debió aumentar la entrada de centrales térmicas y la importación de energía desde Ecuador, lo que ha terminado por aumentar el precio del kWh. La tendencia al alza del precio de la energía se mantendrá en función de la entrada en operación del proyecto hidroeléctrico Ituango, ya que la formación de precios será más complicada, y la demanda seguirá en crecimiento obligando el despacho de más centrales térmicas y la importación de energía para evitar el racionamiento. (Andeg, 2020).

El incremento de centrales térmicas despachadas aumentará el precio de la energía eléctrica debido a que se podría llegar hasta 1/3 de generación por medio de estas fuentes, de las cuales, la mayor proporción funciona con gas natural. Considerando las proyecciones de la UPME, la tasa de crecimiento del precio del gas natural en un escenario alto se acerca al 3,22% mientras que el escenario medio es de 1,51% y el bajo lo hace en 1,17% en el periodo 2020-2040.

Durante los últimos 20 años (1999 – 2019) las tarifas de la energía eléctrica en Colombia han aumentado en promedio por encima del crecimiento total del índice de precios al consumidor. Teniendo en cuenta el contexto actual, factores como el atraso de hidroituango, la lenta penetración de las FNC en la matriz energética y fenómenos naturales impredecibles como “el niño” se genera un ambiente propicio para que la tendencia de las dos últimas décadas se mantenga, o incluso supere el promedio histórico.

3.1.4 Entorno del proyecto.

El estudio de pre factibilidad propuesto en la presente monografía se desarrollará al interior de la granja CINMEX propiedad de la universidad CES, esta granja porcícola es además parte de la facultad de zootecnia de dicha universidad por lo que su actividad económica principal es académica, la expansión futura no está contemplado actualmente y el proyecto busca generar ahorros energéticos que permitan a la actividad secundaria, la producción y venta de lechones una mayor rentabilidad y adicionalmente contribuir con la disminución de los impactos negativos al medio ambiente generados en la producción.

DATOS GRANJA CINMEX:

- Actividad Económica: Porcícola y académica
- Cantidad de cerdos: 150.
- Consumo Energético al mes: 2.000 kWh/mes

- Precio de energía EPM: \$ 521,240
- Total costo energía mes: \$ 982.000
- La granja produce en promedio 42 partos año
- Lechones promedio destetos x cerda = 12, total 504 lechones
- Peso promedio precebo 70 días: 28 kg
- Precio de tabla del lechón menos 10%
- Lechón de 28 kg: \$ 245.548 x 10%(-) = \$ 220.993 c/u lechon
- Precio x kilo = \$ 7.893
- Ventas anuales: \$ 111.386.016
- Clientes: Todos los lechones de 70 días de vida y con 28 kg de peso promedio (precebos), producidos en la granja se venden a un solo cliente que los engorda y los comercializa en el municipio.

3.2 Estudio de mercados

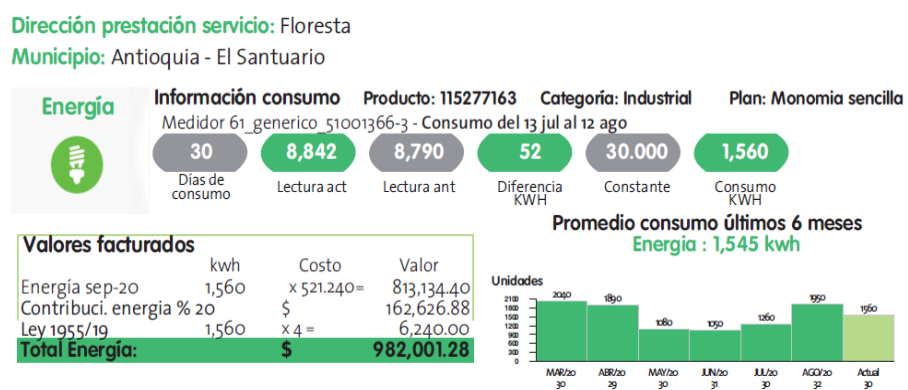
3.2.1 Producto

Energía eléctrica generada a partir de biogás producido mediante el proceso de biodigestión de los purines de cerdo.

3.2.2 Precio de la energía eléctrica

El precio de la energía está definido por el comercializador (Empresas Públicas de Medellín). En la Figura 11 se muestra la tarifa que aplica para la granja.

Figura 11. Factura servicio de energía eléctrica EPM granja CINMEX.



Fuente: granja CINMEX

3.2.3 Plaza

El proyecto tiene lugar en la granja CINMEX, todo lo que sea generado en materia de energía y mejoras o subproductos será consumido y utilizado para beneficio interno de la granja representando ahorros en costos y/o contribuciones al manejo del proceso ambiental interno.

3.2.4 Oferta

Totalidad de la energía generada por el proyecto, es decir, 730 kwh-mes.

3.2.5 Demanda

Proceso productivo de la granja CINMEX que, de acuerdo a los datos de la Figura 11, está entre 1.500 y 2.000 kWh-mes.

3.3 Estudios técnicos

3.3.1 Recolección y procesamiento de información del proceso productivo

- La Información relevante sobre el consumo de energía actual de la granja para su desarrollo productivo es solicitada por medio de la cuenta de servicios públicos.

Tabla 3. Consumo de energía.

Descripción	Valor
Comercializador de energía	EPM
Facturación mensual promedio	2.000 kWh-mes equivalente a \$ 1.042.480
Precio kWh	\$ 521,24
Numero de Cerdos	150
Tipo de granja	Ciclo Cerrado

Fuente: Información granja CINMEX

- Se solicita vía correo electrónico información a las personas responsables del proceso productivo de la granja, donde se detalle la cantidad de animales por grupo etario para estimar la cantidad de estiércol producido por día de acuerdo al peso promedio.

Tabla 4. Distribución etaria y excretas.

Tipo de cerdo	Peso promedio por tipo cerdo [kg]	Cantidad de cerdos
Reproductor	200	2
Hembra en gestación	180	24

Hembra en lactancia	190	4
Lechón lactante	3,5	40
Lechón en precebo	16	80
Total cerdos		150

Total excretas producidas [kg/d]	552
---	------------

Fuente: Elaboración propia

- La granja no cuenta con personal capacitado para la manipulación de los equipos de proyecto, por tal motivo se debe realizar un acompañamiento y capacitación del personal de mantenimiento para que se encargue de la operación una vez se realice la puesta en marcha.

3.3.2 Dimensionamiento técnico.

- Generador a biogás

Teniendo en cuenta la cantidad de biogás generado por medio del cálculo de masa seca y masa volátil se procede con el dimensionamiento del generador o grupo electrógeno y se calcula un estimado de producción de energía eléctrica.

Tabla 5. Caudales de biogás.

Dimensionamiento y selección del generador	
Método #1	
Caudal de biogás [m3/h]	0,69
Método #2	
Caudal de biogás [m3/h]	0,94
Potencia promedio a instalar [kW]	
Caudal de biogás promedio [m3/h]	0,82
Potencia promedio calculada del generador [kW]	1,47
Selección de la potencia del generador [kW]	3

Fuente: Elaboración propia

La capacidad de generación de la granja 1,47 kW por lo que se debe seleccionar el generador más pequeño comercialmente de 3kW.

Después de calcular la capacidad del generador y los caudales de biogás se procede a estimar la generación de energía que tendría la granja bajo el presente escenario.

Tabla 6. Generación de energía eléctrica.

Generación de energía	
Horas almacenamiento [h]	16,50
Biogás almacenado [m3]	13,46
Consumo generador [m3/h]	1,66
Potencia generador [kW]	3,00
Horas de generación [h]	8,11
Energía generada [kWh-día]	24,33
Energía generada [kWh-mes]	730
Energía generada [kWh-año]	8.759

Fuente: Elaboración propia

- Biodigestor preliminar

Se contempla un porcentaje de generación de estiércol para el grupo etario de 8% con respecto al peso de los cerdos (Moncayo, 2014).

Tabla 7. Producción de biogás.

Dimensionamiento del sistema de producción de biogás	
Variable	Cantidad
Producción de biogás por m3/tMH	30
Producción de biogás por (%MV) en m3/kg	0,35

Fuente: Elaboración propia

- Una vez se realizan estos cálculos preliminares se procede con el dimensionamiento del biodigestor.

Tabla 8. Dimensionamiento de biodigestor.

Dimensionamiento del biodigestor	
Cálculos preliminares	
(COV) Carga Orgánica Volumétrica [kgMV/m3d]	2,5
Volumen útil del biodigestor [m3]	25,83
Volumen de diseño del biodigestor [m3]	31,00
Verificación COV [kgMV/m3d]	2,08
Temperatura ambiente °C	20
Tiempo de retención hidráulica de diseño [d]	40
Tiempo de retención hidráulica calculado [d]	43,40
Volumen de diseño del biodigestor ajustado [m3]	29
Verificación COV ajustada [kgMV/m3d]	2,26

Fuente: Elaboración propia

El biodigestor debe tener la capacidad de almacenamiento para contener el volumen de diseño del biodigestor más el biogás almacenado, por lo tanto, el tamaño del biodigestor es de:

$$31 \text{ m}^3 + 13,46 \text{ m}^3 = 44,46 \text{ m}^3$$

- Biodigestor ajustado

Debido a que la capacidad del generador seleccionado es de 3kW, se calcula el tamaño máximo del biodigestor de manera que pueda darse un crecimiento en la cantidad de cerdos de la granja sin sobrepasar el límite máximo de generación de energía ya establecido por el grupo electrógeno, el resultado es el siguiente.

Tabla 9. Ajustes de biodigestor y energía.

Cálculos ajustados	
(COV) Carga Orgánica Volumétrica [kgMV/m3d]	2,5
Volumen útil del biodigestor [m3]	52,79
Volumen de diseño del biodigestor [m3]	63,35
Generación de energía	
Biogás almacenado [m3]	40,00
Energía generada [kWh-mes]	2.169
Energía generada [kWh-año]	26.024

Fuente: Elaboración propia

Para este caso se debe contemplar el total de biogás almacenado después del ajuste sumado con el volumen de diseño del biodigestor.

$$63,35\text{m}^3 + 40\text{m}^3 = 103,35\text{m}^3$$

De esta manera se logra el dimensionamiento máximo del biodigestor.

3.3.3 Selección de tecnología.

- Generador a biogás

La generación de energía eléctrica a partir de combustibles gaseosos, debe realizarse con tecnología mecánica capaz de realizar la combustión con dicho gas sin que este tipo de combustible comprometa las piezas y equipos del grupo electrógeno, para el presente proyecto se selecciona un generador a biogás el cual está construido para soportar las corrosiones generadas por el biogás impuro, garantizando así una vida útil de 25.000 horas.

El generador requiere de cambios de aceite periódicos como parte del mantenimiento preventivo cada 2.500 horas, además de inspecciones y ajustes de piezas, por el horizonte de panificación del proyecto se contempla el reemplazo total a los 5 años de operación debido al esfuerzo al que será sometido estimando una vida útil de 5 años.

La granja debe contar con personal capacitado para atender cualquier novedad mecánica y garantizar la operación y por lo tanto la generación de energía, la tecnología de motores a biogás es común en el mercado e incluso pueden encontrarse equipos nacionales con características similares, pero con vida útil más corta, es por este motivo que se plantea la importación del generador desde China.

- Biodigestor

Este equipo es indispensable para la generación del biogás que alimentara el generador eléctrico, para este equipo se utilizara proveedores nacionales debido al bajo costo, soporte técnico y postventa que ofrece.

El material con el que se construye el biodigestor es polietileno, esta membrana se construye de forma cilíndrica y se introduce en una brecha en tierra para evitar que se mueva del lugar destinado para su operación, el biodigestor tendrá una operación en régimen continuo y por lo tanto debe contar con válvulas de alivio, tuberías y filtros para la limpieza del biogás producido, este tipo membrana es vulnerable a rasgaduras o perforaciones que pueden generar reprocesos e incluso detener la producción de energía según la magnitud del daño.

El sistema de protección para el biodigestor consta de un encerramiento perimetral el cual soportará a su vez un techo que brindará protección y un efecto invernadero útil para acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica, de esta manera se espera mitigar el riesgo de daño al biodigestor.

El mantenimiento del biodigestor no se debe hacer periódicamente y queda a criterio de la granja realizarlo, lo recomendado es que anualmente se haga una limpieza total. Este tipo de equipos tiene una vida útil de entre 15 y 20 años.

- Periféricos

Este tipo de elementos compuestos por tuberías, válvulas, tableros, protecciones eléctricas y obra civiles no poseen características especiales, los materiales y equipos son de comercialización nacional y deben cumplir los reglamentos y normas vigentes

3.3.4 Generación de bioabono

Después de la etapa de descomposición anaeróbica, en el fondo del biodigestor resulta materia orgánica que es extraída y secada al aire libre convirtiéndose en bioabono sólido, a continuación, se muestra el cálculo de la cantidad de abono generado y cuanto seria el ingreso basado en precio de venta del mercado aproximado de \$210.

Tabla 10. Cálculo preliminar de bioabono

Producción de bioabono	
Bioabono generado [kg/mes]	640,46
Bioabono generado [kg/año]	7.685
Ingreso por venta de bioabono COP/año	\$ 1.613.954

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Cálculo de bioabono ajustado.

Producción de bioabono	
Bioabono generado [kg/mes]	1308,76
Bioabono generado [kg/año]	15.700
Ingreso por venta de bioabono COP/año	\$ 3.298.080

Fuente: Elaboración propia

Para el aprovechamiento del bioabono se deben contemplar la construcción de lechos de secado en los que se da el proceso de solidificación de la materia orgánica para posteriormente ser regado en los prados.

3.3.5 Obras de ingeniería

Se deben calcular los periféricos o equipos como tuberías, bombas, tableros de control, circuitos eléctricos, entre otros, necesarios para el funcionamiento del sistema. En esta sección, se seleccionan y dimensionan estos materiales y equipos de manera preliminar utilizando los resultados arrojados por las herramientas de cálculo y los requerimientos específicos del proyecto.

Tabla 12. Materiales de construcción biodigestor

Biodigestor	
Tanque de alimentación	Tanque de 5000 l (existente)
Tubería de alimentación	Tubería PVC presión 6"
Biodigestor [m3]	31-63
Tubería de descarga	Tubería PVC presión 6"
Laguna de descarga [m3]	2
Tubería captación biogás	Tubería PVC presión 1"
Bomba extracción de lodos [hp]	3
Requerimientos eléctricos	Adecuaciones generales
Membrana cubierta EPDM [m2]	60
Membrana fondo HDPE [m2]	115
Muro perimetral [m]	0,6

Fuente: Elaboración propia

Adicional a los periféricos se deben contemplar las obras de ingeniería civil para la instalación y protección del biodigestor, como son los siguientes:

Tabla 13. Obras civiles preliminares

Biodigestor			
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Biodigestor tipo Taiwán (cilíndrico) Diámetro: 2,2 m y largo: 11,00 m	m ²	90

Obra civil			
1	Excavación	m ²	25
2	Transporte	Gl	1
3	Válvulas	Un	2
4	Cubierta	Un	26
5	Estructura en madera	Gl	46
6	Cerramiento poli sombra	m	30
7	Mano de obra	Gl	1

Lecho de secado			
1	Ladrillo Cemento 25x12x5	Un	340
2	Ladrillo De Arcilla 25x12x5	Un	250
3	Bulto Cemento 50 Kg	Un	6
4	Varilla Corrugada 3/8x6m	Un	5
5	Arena	bulto	38
6	Triturado 3/4	m ³	2
7	Tubería 4"X3m	Un	7
8	Mano De Obra	Gl	1
8	Transporte	Gl	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Obras civiles ajuste técnico

Biodigestor			
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Biodigestor tipo Taiwán (cilíndrico) Diámetro: 2,2 m y largo: 11,00 m	m ²	146

Obra civil			
1	Excavación	m ²	76
2	Transporte	Gl	1

3	Válvulas	Un	2
4	Cubierta	Un	42,12
5	Estructura en Madera	Gl	74,52
6	Cerramiento polisombra	m	48,6
7	Mano de obra	Gl	1

Lecho de secado			
1	Ladrillo cemento 25x12x5	Un	680
2	Ladrillo de Arcilla 25x12x5	Un	500
3	Bulto cemento 50 Kg	Un	12
4	Varilla corrugada 3/8x6m	Un	10
5	Arena	bulto	76
6	Triturado 3/4	m3	4
7	Tubería 4"X3m	Un	14
8	Mano de Obra	Gl	2
9	Transporte	Gl	2

Fuente: Elaboración propia

3.4 Estudio legal y ambiental

3.4.1 Aplicación del proyecto a los beneficios tributarios

El proyecto se considera una fuente no convencional de energía renovable, por lo tanto, aplica a los beneficios tributarios que establece la ley 1715 de 2014. La aplicación de estos beneficios se explicará a detalle en el estudio financiero del proyecto.

3.4.2 Identificar posibles limitantes legales y ambientales para el proyecto.

No existe un limitante desde el punto de vista legal – ambiental para llevar a cabo el proyecto porque la capacidad instalada (3 kW) es inferior al límite exigido por el decreto 2041 de 2014 (100 MW), a partir del cual se debe tramitar y obtener licencia ambiental para su construcción.

3.4.3 Impacto ambiental

La granja CINMEX maneja los vertimientos de aguas domésticas mediante el sistema de pozo séptico. Las aguas contaminadas por la actividad productiva de porcicultura son dispuestas en varios potreros de propiedad de la finca y en la actualidad no se tiene problemas por olores o sanciones de la autoridad ambiental (CORNARE), sin embargo, ya que el principal objeto de la grana es académico, se han hecho estudios del suelo cuyo resultado es que el riego de los purines de cerdo en los potreros hace que el pasto que se cultiva contenga exceso de nutrientes que generan efectos negativos en la alimentación de los animales.

La ejecución del proyecto contribuye a manejar de una manera más amigable las aguas que

actualmente se vierten en los potreros, ya que al pasar por el proceso anaeróbico se logra tener un efluente con menor carga contaminante.

3.5 Estudio de riesgos

3.5.1 Identificación de riesgos cualitativos.

Partiendo de un análisis exhaustivo sobre los diferentes riesgos asociados al proyecto se tiene la siguiente tabla donde se evidencia cada uno de ellos y sus consecuencias.

Tabla 15. Riesgos y consecuencias.

Item	Riesgo	Consecuencia
1	Incremento del precio del dólar	Aumento en el costo de equipos importados como el generador a biogás
2	Incremento en tiempo de Importación generador eléctrico	Incremento en los tiempo para la puesta en marcha Se deja de generar ingresos para el proyecto
3	Falla en el biodigestor	Perdida de combustible para la generación de energía
4	Biológico	Reducción en la producción de porcinaza, biogás y energía
5	Falla del generador	Paro en generación de energía
6	Fluctuación de grupo etario	Menor generación

Fuente: Elaboración propia

De igual forma se plantean las medidas para mitigar o evitar la materialización de un riesgo que pueda afectar el proyecto.

Tabla 16. Riesgos y medidas.

Ítem	Riesgo	Lista de posibles medidas
1	Incremento del precio del dólar	Asumir una TRM proyectada según criterio experto.
2	Incremento en tiempo de Importación generador eléctrico	Compra de un generador a biogás de fabricación local
3	Falla en el biodigestor	- Protección perimetral y cubierta. - Instalación de válvulas de sobrepresión
4	Biológico	Vacunación y revisión veterinaria periódica a cargo de granja
5	Falla del generador	- Tener repuestos y capacitar el personal para atender las contingencias
6	Fluctuación de grupo etario	Dimensionamiento y construcción de biodigestor con máxima capacidad

Fuente: Elaboración propia

La variable de riesgo que más afecta el proyecto es la fluctuación en el grupo etario, para determinar el impacto se define la siguiente matriz de riesgo donde se puede observar la variación del VPN en el flujo de caja libre según la cantidad de cerdos que puede tener la granja durante su tiempo de operación.

Tabla 17. Riesgo de fluctuación de grupo etario.

Probabilidad	Fluctuación grupo etario		
	Mayor a 60%		
30-60%			
0-30%			
Cant. Cerdos	240	190	150
VPN - FCL	\$ 33.651.815	\$ 4.265.454	-\$ 15.813.582
Impacto			

Fuente: Elaboración propia

Para mitigar el impacto producido por dicha fluctuación se dimensiona el biodigestor de forma que pueda producir biogás en un rango amplio de cantidad de cerdos, donde lo ideal es que la cantidad de cerdos sea mayor a los 180 animales.

3.5.2 Identificación de riesgos cuantitativos.

Dentro de la evaluación financiera del proyecto se deben contemplar las diferentes variables que pueden afectar el proyecto, es por tal motivo que se plantea realizar un análisis de tres escenarios (probable, pesimista y optimista).

Tabla 18. Escenarios de riesgo

Resumen del escenario			
Celdas cambiantes:	Probable	Pesimista	Optimista
IPC	3,5%	1,8%	4,6%
TRM	\$ 4.030,00	\$ 4.800,00	\$ 3.600,00
Crecimiento	5,00%	2,00%	7,00%
Kd	8,14%	14,00%	4,40%
Egresos	0,00%	35,00%	-30,00%
Inversión	0,00%	30,00%	-30,00%
Ahorro	0,00%	-4,00%	4,00%
Celdas de resultado:			
VPNL	\$ 33.651.815	\$ 1.649.745	\$ 60.698.526
TIRL	24,95%	12,93%	37,81%
WACC	9,40%	12,19%	7,62%
VPNI	\$ 14.745.335	-\$ 8.847.255	\$ 28.941.118
TIRI	49,13%	0,73%	87,70%

Kei	18,41%	18,41%	18,41%
Probabilidad	0,5	0,2	0,3

Fuente: Elaboración propia

Después de realizado el cálculo con base a la información de la Tabla 16 se estima la probabilidad de $VPN > 0$, cabe resaltar que el modelo utilizado para el análisis d riesgo cuantitativo es el modelo ajustado con mayores ingresos por mayor grupo etario.

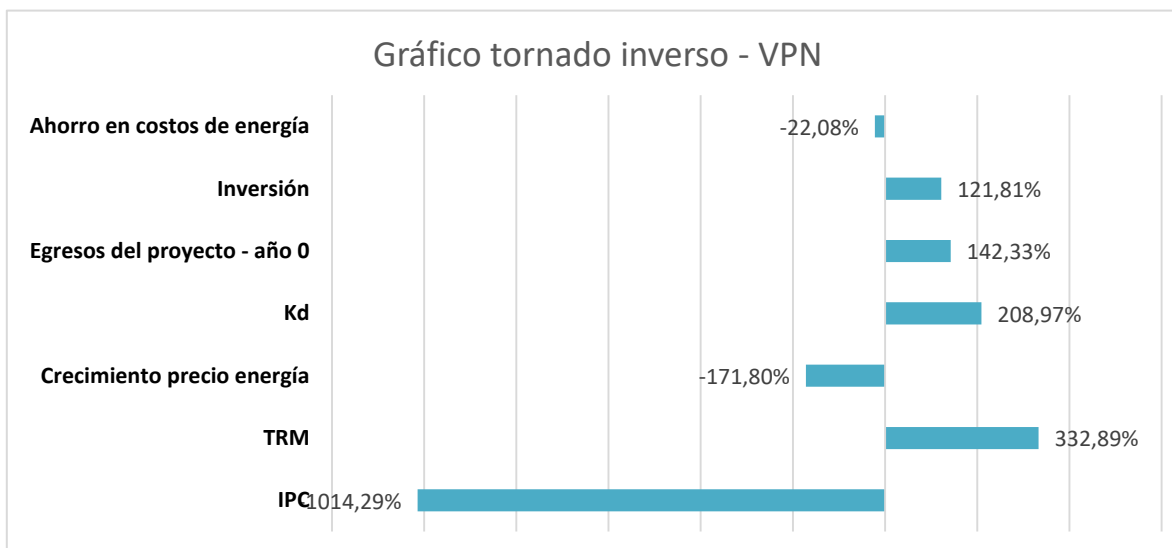
Tabla 19. Calculo de probabilidad $VPN > 0$.

Media E(VPN)	\$ 14.285.552
Sigma STD(VPN)	\$ 13.098.349
CV =	0,92
P(VPN>0)=	86,23%
Media E(TIR)	51,02%
Sigma STD(TIR)	30,19%
CV =	59,16%
P(TIR>Ke)	57,89%

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se debe realizar un análisis de sensibilidad para determinar que variable es la que más impacta el proyecto ante variaciones mínimas, por medio del grafico de tornado inverso se logra apreciar que la variable ahorro de energía es la más sensible, esta variable está ligada a la producción de estiércol que a su vez depende de la cantidad de cerdos que tenga la granja.

Gráfica 1. Tornado inverso.



Fuente: Elaboración propia

Para evitar este tipo riesgo, la variable debe gestionarse procurando mantener el suficiente suministro de estiércol para la generación de biogás, ya sea de producción interna o externa a través de grajas cercanas.

3.6 Estudio financiero

3.6.1 Proyectar el valor de la inversión inicial

Con el fin de determinar el máximo rendimiento financiero posible, se evaluaron cuatro alternativas, cada una con un presupuesto diferente. Para ello, se investigó el precio de mercado de las obras y equipos necesarios para construir la infraestructura del proyecto. En la Tabla 20 se puede ver el resultado.

Tabla 20. Presupuesto de las opciones de inversión.

Descripción	Inversión inicial	Ajuste 1: (Biodigestor)	Ajuste 2: (Cerdos)	Ajuste 3: (Bioabono)
Generador eléctrico	\$ 4.836.000	\$ 4.836.000	\$ 4.836.000	\$ 4.836.000
Biodigestor	\$ 11.204.000	\$ 2.903.220	\$ 4.710.000	\$ 4.710.000
Soplador	\$ 850.000	\$ 850.000	\$ 850.000	\$ 850.000
Obras eléctricas	\$ 750.000	\$ 750.000	\$ 750.000	\$ 750.000
Obras civiles	\$ 1.000.000	\$ 3.201.900	\$ 6.200.000	\$ 6.200.000
Obras hidráulicas	\$ 750.000	\$ 750.000	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Filtro de biogás	\$ 280.000	\$ 280.000	\$ 280.000	\$ 280.000
Medidor de biogás	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000
Instrumentación	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000
Dimensionamiento y diseño detallado	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 5.500.000	\$ 5.500.000
Gerencia e interventoría	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	\$ 8.500.000	\$ 8.500.000
Agente aduanero (importación)	\$ 800.000	\$ 800.000	\$ 800.000	\$ 800.000
Agente de carga marítima y terrestre (importación)	\$ 700.000	\$ 700.000	\$ 700.000	\$ 700.000
Certificación RETIE generador	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
Certificación RETIE (instalación eléctrica)	\$ 1.100.000	\$ 1.100.000	\$ 1.100.000	\$ 1.100.000
Capital de trabajo	\$ 242.201	\$ 299.366	\$ 727.049	\$ 727.049
Lecho de secado de lodos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 5.773.251
Total	\$ 35.912.201	\$ 29.870.486	\$ 40.353.049	\$ 46.126.300

Fuente: elaboración propia

3.6.2 Proyectar los gastos operativos y de mantenimiento

Con el fin de estimar los gastos operativos, se consideró la mano de obra de personal técnico y administrativo con un salario mínimo mensual y un factor prestacional de 1.53. Por otro lado, se considera indexación de los gastos operativos y de mantenimiento con el IPC, proyectado en 3.5% cada año en todo el horizonte de evaluación (10 años).

Tabla 21. Gastos operativos y de mantenimiento

Descripción	Inversión inicial	Ajuste 1 (Biodigestor)	Ajuste 2 (Cerdos)	Ajuste 3 (Bioabono)
Gastos de operación	\$ 1.374.029	\$ 2.579.465	\$ 4.127.144	\$ 5.166.046
Gastos de mantenimiento	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 250.000	\$ 250.000
Gastos de administración	\$ 91.602	\$ 85.982	\$ 343.929	\$ 343.929

Fuente: elaboración propia

3.6.3 Análisis del crecimiento de la demanda energética de la granja.

Se entrevistó al personal administrativo de la granja con el fin de saber cuál es la proyección de crecimiento. La respuesta obtenida fue que la granja no tiene proyección de crecer a futuro ya que su misión es de investigación y desarrollo, por lo tanto, se concluye que no habrá incremento de la demanda de energía durante el horizonte de evaluación. No obstante, el ajuste 3 contempla la posibilidad de crecimiento de hasta 90 cerdos adicionales con el fin de evaluar si el proyecto permite economía de escala.

3.6.4 Análisis del incremento del precio de la energía.

Se requirió al personal administrativo de la granja la factura del servicio de energía, con la que se evidenció que pertenece al mercado regulado de energía, el comercializador es EPM, la categoría en la que está clasificada es industrial y el plan es monomía sencilla.

Se accedió a la base de datos de EPM donde se pudo obtener información histórica del precio de la energía. Se logró evidenciar que el precio del kWh ha logrado un incremento del 71,74% en 10 años. (EPM, 2020). Con base en esta información y el entorno macroeconómico actual, se proyecta un incremento del kWh del IPC + 5% anual.

3.6.5 Financiación

En el estudio de entorno se hizo una investigación preliminar para determinar diferentes tasas de interés que ofrece el mercado, sin embargo, en el proceso de desarrollo del modelo financiero, se logró encontrar una tasa más atractiva, 8,14% efectivo anual, ofrecida por la línea verde del banco agrario. (Agrario, 2020).

3.6.6 Ingresos del proyecto

Los ingresos del proyecto se dan por los beneficios tributarios de la ley 1715 de 2014 y por la energía generada.

3.6.6.1 Ingresos por beneficios de la ley 1715 de 2014

En la **Tabla 22** se muestra como se aplican los beneficios de ley:

Tabla 22. Aplicación de los beneficios tributarios de la ley 1715 de 2014.

Descripción general	Aplicación
<p>Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta:</p> <p>Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir de FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones.</p> <p>El valor por deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente.</p>	<p>La granja CINMEX podrá deducir de la renta líquida que es la base gravable el 50% del valor de la inversión del proyecto. El ingreso equivalente en cada alternativa evaluada es:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial = \$ 17.956.100 • Ajuste 1 = \$ 14.935.243 • Ajuste 2 = \$ 20.176.524 • Ajuste 3 = \$ 23.063.150
<p>Depreciación acelerada:</p> <p>Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta por una porción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.</p>	<p>El proyecto podrá incluir en su estado de resultados las siguientes depreciaciones en cada alternativa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial = \$ 7.134.000 anual • Ajuste 1 = \$ 5.914.224 anual • Ajuste 2 = \$ 7.925.200 anual • Ajuste 3 = \$ 7.079.850 anual
<p>Exclusión de bienes y servicios de IVA</p> <p>Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados.</p>	<p>No se paga arancel o impuesto IVA por la compra de los bienes y servicios relacionados con el proyecto. No se incluye dentro del modelo financiero ya que es más un alivio de caja de la granja que no está dentro del alcance de esta monografía.</p>

Fuente: elaboración propia.

3.6.6.2 Ingresos por generación de energía eléctrica y venta de bioabono

Cada alternativa evaluada fue objeto también de optimización en la cantidad de ingresos obtenidos por generación de energía eléctrica

Tabla 23. Ingresos por generación de energía

	Ingresos por generación de energía
Alternativa	\$ 4.566.062
Ajuste 1 (Biodigestor)	\$ 6.457.729
Ajuste 2 (Cerdos)	\$ 13.566.835
Ajuste 3 (Bioabono)	\$ 16.863.625

Fuente: elaboración propia.

Se considera un precio del kg de bioabono de \$ 210 / kg, valor muy por debajo del precio del mercado ya que no se destinará a clientes finales, si no a empresas o personas que se dediquen a la venta de fertilizantes y que usarán el bioabono de la granja como insumo.

3.6.7 Costo nivelado de la electricidad (LCOE):

El LCOE mide los costos totales que una planta generadora de energía tendrá a lo largo de toda su vida y los divide por la producción de energía que realizará también durante todos sus años de operación. De esta manera, el Levelized cost of energy se expresa normalmente en unidades monetarias por kilovatios - hora. Principalmente para comparar los costos de diferentes fuentes de energía. Al mirar el costo nivelado de cada una de dichas fuentes, se tiene un valor que está estandarizado. Es decir, se puede mirar el LCOE de una instalación solar y compararlo directamente con el LCOE de una instalación térmica. El que sea menor de los dos dirá cuál de las instalaciones genera energía más barata. (CHILE, 2016).

El LCOE se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Donde:

I: Gasto de inversión inicial

M: Gasto de operación y mantenimiento

F: Gasto de combustible

3.6.8 Evaluación financiera del proyecto

La Tabla 24 resume la métrica financiera del proyecto en los cuatro escenarios evaluados:

Tabla 24. Resultados de la evaluación financiera del proyecto

	Inversión inicial	Ajuste 1	Ajuste 2	Ajuste 3
VPN - FCL	\$ 220.936	\$ 4.416.797	\$ 33.651.815	\$ 43.352.622
TIR - FCL	9,26%	12,48%	24,95%	26,91%
WACC	9,40%	9,40%	9,40%	9,40%
VPN - FCI	\$ 3.218.544	\$ 437.282	\$ 14.745.335	\$ 21.188.277
TIR - FCI	10,69%	19,60%	49,13%	56,93%
Ke	18,41%	18,41%	18,41%	18,41%
LCOE	\$ 741	\$ 764	\$ 392	\$ 392

Fuente: elaboración propia.

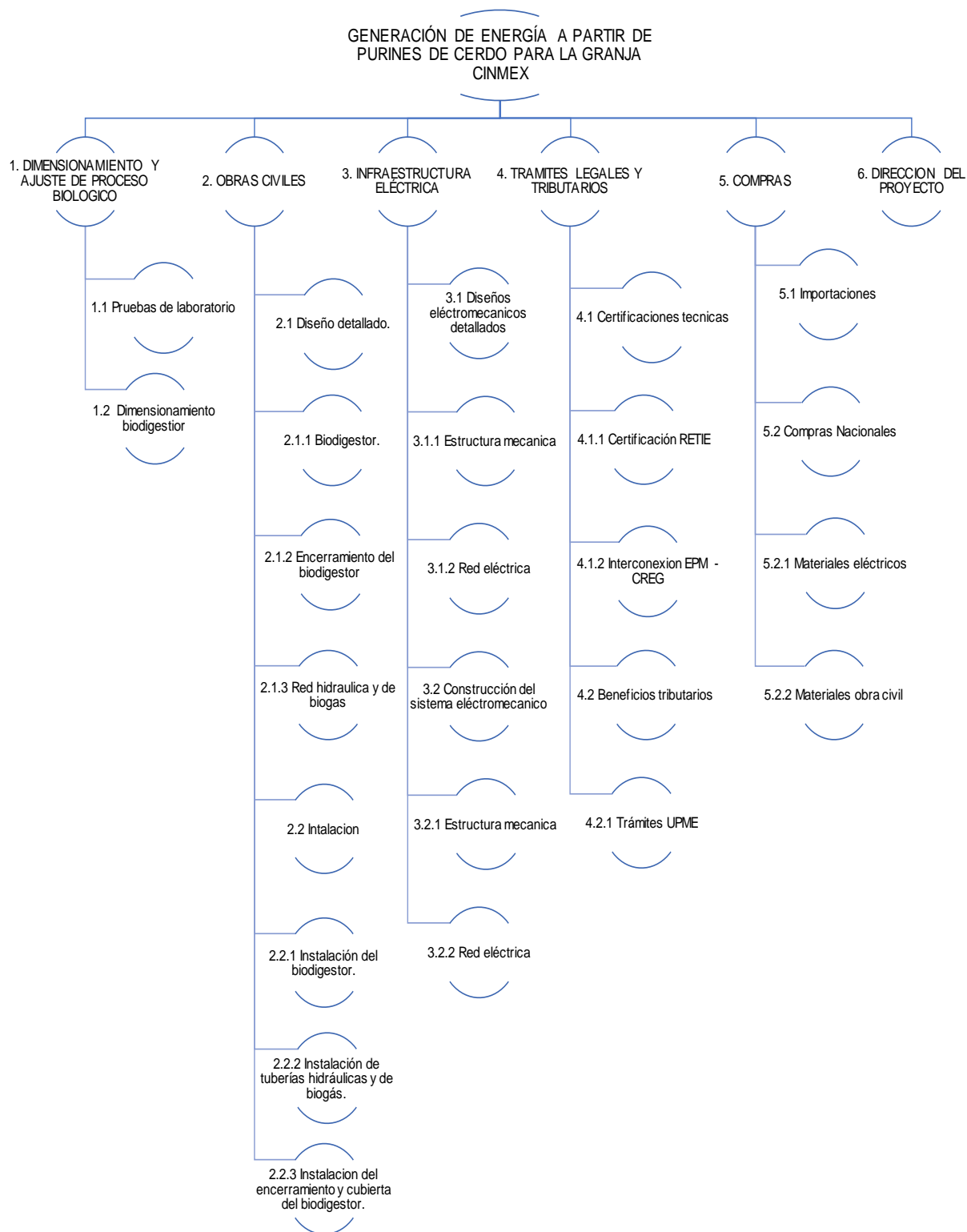
3.7 Gerencia del proyecto

Se aborda de manera preliminar la ejecución del proyecto. Para ello, se adopta la metodología planteada por el PMI (Project Management Institute).

3.7.1 Estructura de desglose del trabajo

Se divide el proyecto en actividades, y paquetes de trabajo, esto facilita realizar el cronograma, definir duración de las tareas y asignar los recursos materiales y humanos que necesita el proyecto.

Figura 12. Estructura de desglose del trabajo EDT.



Fuente: elaboración propia.

3.7.2 Cronograma.

Figura 13. Cronograma resumido

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
▲ CINMEX	124 días	01/02/21 7:00	22/07/21 17:00
▷ 1. Dimensionamiento y ajuste del proceso biológico	30 días	01/02/21 7:00	12/03/21 17:00
Proceso biológico ajustado	0 días	12/03/21 17:00	12/03/21 17:00
▷ 2. Obras civiles	9 días	01/02/21 7:00	11/02/21 17:00
Obras civiles terminadas	0 días	11/02/21 17:00	11/02/21 17:00
▷ 3. Infraestructura eléctrica	5 días	01/02/21 7:00	05/02/21 17:00
Infraestructura eléctrica terminada	0 días	05/02/21 17:00	05/02/21 17:00
▷ 4. Trámites legales y tributarios	62 días	03/02/21 7:00	29/04/21 17:00
Trámites legales y tributarios realizados	0 días	29/04/21 17:00	29/04/21 17:00
▷ 5. Compras	123 días	02/02/21 7:00	22/07/21 17:00
Compras realizadas	0 días	22/07/21 17:00	22/07/21 17:00
6. Dirección del proyecto	30 días	01/02/21 7:00	12/03/21 17:00
Proyecto terminado	0 días	22/07/21 17:00	22/07/21 17:00

Fuente: elaboración propia.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El precio de la energía históricamente ha crecido por encima del IPC, se espera que debido a coyunturas del sector eléctrico como hidrotuango y a la demanda creciente de energía eléctrica, el precio siga en la misma tendencia o incluso por encima del comportamiento histórico, beneficiando el proyecto al incrementar los ingresos vía aumento del precio del kWh.

La demanda de carne de cerdo ha crecido desde el año 2010, pasando de un consumo per cápita de 4.8 kg a 11.2 kg en 2019. Lo anterior da indicios de sostenibilidad del sector porcícola, por ende, abre un panorama de oportunidad para este tipo de proyectos.

La misión de la granja CINMEX, es académica y productiva. En alianza universidad – empresa se realizan actividades de investigación y desarrollo. Teniendo en cuenta lo anterior, los criterios para declarar el proyecto pre factible son más amplios y van más allá de la viabilidad financiera.

Bajo las condiciones actuales de la granja, el proyecto no es viable financieramente. Sin embargo, este tipo de proyectos permite economía de escala.

Para que el proyecto sea viable financieramente se debe considerar el uso de materiales más económicos en la construcción del biodigestor y el uso de mano de obra local. Asimismo, se llega a la conclusión de que es posible aumentar los ingresos sin que la inversión inicial y los gastos operacionales aumenten en igual proporción.

El proyecto es sensible a la variación de la cantidad de cerdos que haya en la granja, debido a que afecta directamente la generación de ingresos.

Uno de los criterios de viabilidad del proyecto son los beneficios ambientales que trae su implementación, ya que reduce la carga contaminante de las aguas residuales del proceso productivo de la granja.

BIBLIOGRAFÍA

- Actualidadporcina. (19 de Junio de 2020). www.actualidadporcina.com. Obtenido de <https://actualidadporcina.com/dia-del-chicharron-cual-es-el-consumo-per-capita-de-la-carne-de-cerdo-en-el-peru/#:~:text=ha%20sido%20favorable,-,D%C3%ADa%20del%20Chicharr%C3%B3n%3A%20%C2%BFcu%C3%A1%20es%20el%20consumo%20per%20c%C3%A1pita%20de,generada%20p>
- Agrario, B. (12 de 11 de 2020). Banco Agrario. Obtenido de Banco Agrario: <https://www.bancoagrario.gov.co/Documents/TasasTarifas/Credito.pdf>
- Agronegocios. (27 de 02 de 2019). www.agronegocios.com. Obtenido de <https://www.agronegocios.co/ganaderia/el-sector-porcicola-colombiano-mueve-al-ano-26-billonos-en-terminos-de-produccion-2832964>
- Analitik, V. (30 de 7 de 2020). Valora Analitik. Obtenido de <https://www.valoraanalitik.com/2020/07/30/bancolombia-ve-nuevo-recorte-de-tasas-scotiabank-colpatria-rebaja-visual-de-pib/>
- Andeg. (16 de 6 de 2020). <https://www.andeg.org>. Obtenido de <https://www.andeg.org/2020/06/16/el-retraso-en-la-entrada-de-hidroituango-subirialas-tarifas-de-energia-en-2022/>
- Bancolombia, G. (05 de 2020). Obtenido de www.grupobancolombia.com: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/mercado-capitales/perspectivas-inversion-mayo-2020>
- Burgos, P. B. (2017). Curso de formación especializada en biogás para profesionales. Chile.
- CHILE, P. U. (04 de 06 de 2016). Obtenido de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno16/abatim/Entrega%20final%20LCOE%20LACE.htm>
- Colombia, B. d. (3 de Agosto de 2020). www.banrep.gov.co. Obtenido de <https://www.banrep.gov.co/es/listado-archivos/2100>
- DANE. (2019). Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales>
- Dinero. (15 de Febrero de 2018). www.dinero.com. Obtenido de <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/balance-del-sector-porcicultor-en-colombia/255321>
- EPM. (12 de 11 de 2020). Empresas Públicas de Medellín. Obtenido de Empresas Públicas de Medellín: https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/hogares-y-personas/energia/tarifas

- García, C. R. (25 de Agosto de 2020). Rotoplast. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- group, O. r. (2019). Retos de la energía en Colombia. Medellín: : En O. r. group.
- Ma, M. (30 de 7 de 2020). 3kw 5kw 10kw Biogas generator prices 20200730. Weifang, Shandong, China.
- Miporkcolombia. (Octubre de 2019). www.miporkcolombia.co. Obtenido de <https://www.miporkcolombia.co/wp-content/uploads/2019/10/ED-249-PORKCOLOMBIA-DIGITAL.pdf>
- Moncayo Romero, G. (2013). Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Aqualimpia Engineering e.K.
- Moncayo, G. (2014). Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para clima tropical. Uelzen: Maike Moncayo Hilmer.
- pigprogress. (3 de Octubre de 2019). www.pigprogress.com. Obtenido de [https://www.pigprogress.net/Home/General/2019/10/Pequenos-avances-en-la-industria-porcina-brasilena-480336E/#:~:text=El%20consumo%20total%20de%20carne,2018%20\(ver%20gr%C3%A1fico%20](https://www.pigprogress.net/Home/General/2019/10/Pequenos-avances-en-la-industria-porcina-brasilena-480336E/#:~:text=El%20consumo%20total%20de%20carne,2018%20(ver%20gr%C3%A1fico%20)
- Porkcolombia. (2020). www.miporkcolombia.co. Obtenido de <https://www.miporkcolombia.co/wp-content/uploads/2019/12/Semana52de2019.pdf>
- Portafolio. (14 de Enero de 2019). Obtenido de <https://www.portafolio.co/colombia-uno-de-los-paises-mas-sensibles-a-la-economia-de-ee-uu-525181>
- Romero, G. M. (2013). Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Aqualimpia Engineering e.K.
- UPME. (Diciembre de 2019). <https://www1.upme.gov.co>. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf

ANEXOS

Anexo A
(Estado de resultados)

AÑOS	0	1	2	3	4	5
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
CMV	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ahorro en costos de energía		\$ 13.566.835	\$ 14.720.016	\$ 15.971.217	\$ 17.328.770	\$ 18.801.716
Utilidad bruta		\$ 13.566.835	\$ 14.720.016	\$ 15.971.217	\$ 17.328.770	\$ 18.801.716
Gastos administracion, O&M		\$ 4.721.072	\$ 4.886.310	\$ 5.057.331	\$ 5.234.337	\$ 17.342.496
EBITDA		\$ 8.845.762	\$ 9.833.706	\$ 10.913.886	\$ 12.094.433	\$ 1.459.220
Depreciaciones y amortizaciones		\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200
Utilidad Operativa (EBIT)		\$ 920.562	\$ 1.908.506	\$ 2.988.686	\$ 4.169.233	-\$ 6.465.980
Intereses (-)		\$ 2.299.317	\$ 2.141.648	\$ 1.971.145	\$ 1.786.764	\$ 1.587.373
Otros ingresos (+)						
Valor de salvamento de activos						
Otros egresos (-)						
Repotenciación del generador eléctrico						\$ 11.674.956
U.A.I.		-\$ 1.378.754	-\$ 233.142	\$ 1.017.541	\$ 2.382.469	-\$ 19.728.309
Impuestos sobre la renta		\$ -	\$ -	\$ 305.262	\$ 714.741	\$ -
Impuesto ganancia ocasional (10%)						
Ingreso por deducción especial impuesto de renta ley 1715 de 2014		\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652
U. Neta		\$ 638.898	\$ 1.784.510	\$ 2.729.931	\$ 3.685.381	-\$ 17.710.657

AÑOS	6	7	8	9	10
	2026	2027	2028	2029	2030
Ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
CMV	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Ahorro en costos de energía	\$ 20.399.862	\$ 22.133.850	\$ 24.015.227	\$ 26.056.522	\$ 28.271.326
Utilidad bruta	\$ 20.399.862	\$ 22.133.850	\$ 24.015.227	\$ 26.056.522	\$ 28.271.326
Gastos administracion, O&M	\$ 5.607.153	\$ 5.803.403	\$ 6.006.522	\$ 6.216.751	\$ 6.434.337
EBITDA	\$ 14.792.709	\$ 16.330.447	\$ 18.008.705	\$ 19.839.771	\$ 21.836.989
Depreciaciones y amortizaciones	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730
Utilidad Operativa (EBIT)	\$ 13.643.979	\$ 15.181.716	\$ 16.859.975	\$ 18.691.041	\$ 20.688.259
Intereses (-)	\$ 1.371.753	\$ 1.138.580	\$ 886.428	\$ 613.750	\$ 318.876
Otros ingresos (+)					
Valor de salvamento de activos					\$ 500.000
Otros egresos (-)					
Repotenciación del generador eléctrico		\$ -			
U.A.I.	\$ 12.272.226	\$ 14.043.136	\$ 15.973.547	\$ 18.077.291	\$ 20.869.382
Impuestos sobre la renta	\$ 3.681.668	\$ 4.212.941	\$ 4.792.064	\$ 5.423.187	\$ 6.206.478
Impuesto ganancia ocasional (10%)					\$ 50.000
Ingreso por deducción especial impuesto de renta ley 1715 de 2014	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652
U. Neta	\$ 10.608.211	\$ 11.847.848	\$ 13.199.135	\$ 14.671.756	\$ 16.630.557

Anexo B
(Estado de situación financiera)

AÑOS	0	1	2	3	4	5
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
ACTIVO CORRIENTE						
Caja KTNO	\$ 727.049	\$ 808.250	\$ 897.032	\$ 994.063	\$ 119.936	\$ 1.215.839
Caja						
ACTIVO NO CORRIENTE						
Activos fijos	\$ 39.626.000	\$ 31.700.800	\$ 23.775.600	\$ 15.850.400	\$ 7.925.200	\$ 5.743.651
Caja acumulada		\$ 6.545.937	\$ 14.072.236	\$ 22.365.205	\$ 32.400.400	\$ 13.126.485
TOTAL ACTIVOS	\$ 40.353.049	\$ 39.054.987	\$ 38.744.868	\$ 39.209.668	\$ 40.445.536	\$ 20.085.975
PASIVOS						
Crédito	\$ 28.247.134	\$ 26.310.174	\$ 24.215.545	\$ 21.950.414	\$ 19.500.901	\$ 16.851.997
TOTAL PASIVOS	\$ 28.247.134	\$ 26.310.174	\$ 24.215.545	\$ 21.950.414	\$ 19.500.901	\$ 16.851.997
PATRIMONIO						
Aportes	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915
Utilidades retenidas		\$ 638.898	\$ 2.423.408	\$ 5.153.339	\$ 8.838.720	-\$ 8.871.937
TOTAL PATRIMONIO	\$ 12.105.915	\$ 12.744.813	\$ 14.529.323	\$ 17.259.254	\$ 20.944.635	\$ 3.233.978
PASIVO + PATRIMONIO	\$ 40.353.049	\$ 39.054.987	\$ 38.744.868	\$ 39.209.668	\$ 40.445.536	\$ 20.085.975
CONTROL	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

AÑOS	6	7	8	9	10
	2026	2027	2028	2029	2030
ACTIVO CORRIENTE					
Caja KTNO	\$ 1.342.228	\$ 1.480.168	\$ 1.630.666	\$ 1.794.821	\$ 1.973.823
Caja					
ACTIVO NO CORRIENTE					
Activos fijos	\$ 4.594.921	\$ 3.446.191	\$ 2.297.460	\$ 1.148.730	\$ -
Caja acumulada	\$ 21.892.512	\$ 31.653.455	\$ 42.500.972	\$ 54.534.777	\$ 68.217.661
TOTAL ACTIVOS	\$ 27.829.662	\$ 36.579.813	\$ 46.429.099	\$ 57.478.328	\$ 70.191.485
PASIVOS					
Crédito	\$ 13.987.473	\$ 10.889.776	\$ 7.539.927	\$ 3.917.400	-\$ 0
TOTAL PASIVOS	\$ 13.987.473	\$ 10.889.776	\$ 7.539.927	\$ 3.917.400	-\$ 0
PATRIMONIO					
Aportes	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915	\$ 12.105.915
Utilidades retenidas	\$ 1.736.274	\$ 13.584.122	\$ 26.783.257	\$ 41.455.013	\$ 58.085.570
TOTAL PATRIMONIO	\$ 13.842.189	\$ 25.690.036	\$ 38.889.172	\$ 53.560.927	\$ 70.191.485
PASIVO + PATRIMONIO	\$ 27.829.662	\$ 36.579.813	\$ 46.429.099	\$ 57.478.328	\$ 70.191.485
CONTROL	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

Anexo C

(Flujo de caja libre y flujo de caja del inversionista)

AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
FLUJO DE CAJA LIBRE											
EBITDA		\$ 8.845.762	\$ 9.833.706	\$ 10.913.886	\$ 12.094.433	\$ 1.459.220	\$ 14.792.709	\$ 16.330.447	\$ 18.008.705	\$ 19.839.771	\$ 21.836.989
Depreciaciones y amortizaciones		\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730
Utilidad Operativa (EBIT)		\$ 920.562	\$ 1.908.506	\$ 2.988.686	\$ 4.169.233	-\$ 6.465.980	\$ 13.643.979	\$ 15.181.716	\$ 16.859.975	\$ 18.691.041	\$ 20.688.259
Impuestos sobre la renta		\$ -	\$ -	\$ 305.262	\$ 714.741	\$ -	\$ 3.681.668	\$ 4.212.941	\$ 4.792.064	\$ 5.423.187	\$ 6.206.478
Impuesto ganancia ocasional (10%)		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 50.000
Ingreso por deducción especial impuesto de renta ley 1715 de 2014		\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652	\$ 2.017.652
UODI		\$ 2.938.215	\$ 3.926.158	\$ 4.701.076	\$ 5.472.145	-\$ 4.448.327	\$ 11.979.963	\$ 12.986.428	\$ 14.085.563	\$ 15.285.506	\$ 16.449.434
Depreciaciones y amortizaciones		\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730
FCB		\$ 10.863.415	\$ 11.851.358	\$ 12.626.276	\$ 13.397.345	\$ 3.476.873	\$ 13.128.693	\$ 14.135.158	\$ 15.234.293	\$ 16.434.236	\$ 17.598.164
Variación del Capital de Trabajo	-\$ 727.049	-\$ 81.201	-\$ 88.782	-\$ 97.031	\$ 874.127	-\$ 1.095.903	-\$ 126.389	-\$ 137.939	-\$ 150.499	-\$ 164.155	-\$ 179.002
Compra de activos fijos	-\$ 39.626.000					\$ 5.743.651		\$ 0			
Valor de salvamento de activos fijos											\$ 450.000
FCL	-\$ 40.353.049	\$ 10.782.214	\$ 11.762.576	\$ 12.529.245	\$ 14.271.472	-\$ 3.362.681	\$ 13.002.304	\$ 13.997.219	\$ 15.083.795	\$ 16.270.081	\$ 17.869.161
VP	-\$ 40.353.049	\$ 9.856.049	\$ 9.828.614	\$ 9.569.949	\$ 9.964.336	-\$ 2.146.151	\$ 7.585.597	\$ 7.464.592	\$ 7.353.089	\$ 7.250.098	\$ 7.278.690
Período de recuperación descontado	-\$ 40.353.049	-\$ 30.497.000	-\$ 20.668.386	-\$ 11.098.437	-\$ 1.134.101	-\$ 3.280.252	\$ 4.305.345	\$ 11.769.937	\$ 19.123.027	\$ 26.373.125	\$ 33.651.815
PRI (años)	4,11										
Suma VPN	\$ 74.004.864										
VPN	\$ 33.651.815	PRUEBA	\$ 33.651.815	-							
TIR	24,95%										
Costo de capital del proyecto - WACC	9,40%										
Relación Beneficio / Costo	1,83										
FLUJO DE CAJA DEL INVERSIONISTA											
UTILIDAD NETA		\$ 638.898	\$ 1.784.510	\$ 2.729.931	\$ 3.685.381	-\$ 17.710.657	\$ 10.608.211	\$ 11.847.848	\$ 13.199.135	\$ 14.671.756	\$ 16.630.557
Dpreciaion/amortizacion		\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 7.925.200	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730	\$ 1.148.730
Creditos	\$ 28.247.134										
Variacion de capital de trabajo	-\$ 727.049	-\$ 81.201	-\$ 88.782	-\$ 97.031	\$ 874.127	-\$ 1.095.903	-\$ 126.389	-\$ 137.939	-\$ 150.499	-\$ 164.155	-\$ 179.002
Variacion activos fijos	-\$ 39.626.000					-\$ 5.743.651					\$ 0
Abono a la deuda		-\$ 1.936.960	-\$ 2.094.629	-\$ 2.265.131	-\$ 2.449.513	-\$ 2.648.904	-\$ 2.864.524	-\$ 3.097.697	-\$ 3.349.849	-\$ 3.622.527	-\$ 3.917.400
FCI	- 12.105.915	6.545.937	7.526.299	8.292.968	10.035.195	- 19.273.915	8.766.027	9.760.942	10.847.518	12.033.804	13.682.885
VP	-\$ 12.105.915	\$ 5.528.308	\$ 5.368.121	\$ 4.995.412	\$ 5.105.138	-\$ 8.280.795	\$ 3.180.719	\$ 2.991.126	\$ 2.807.332	\$ 2.630.188	\$ 2.525.701
Período de recuperación descontado	-\$ 12.105.915	-\$ 6.577.606	-\$ 1.209.485	\$ 3.785.926	\$ 8.891.065	\$ 610.270	\$ 3.790.989	\$ 6.782.115	\$ 9.589.447	\$ 12.219.634	\$ 14.745.335
PRI (años)	2,23										
Suma VP	\$ 26.851.250										
VPN	\$ 14.745.335	PRUEBA	\$ 14.745.335	-							
TIR	49,13%										
Ke	18,41%										
Relación Beneficio / Costo	2,22										