



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Título del Trabajo:

**“Diseño de una solución energética sostenible basada en energía solar para granjas de
crianza y reproducción porcina y avícola de la empresa Agripornam S.A.S”**

Nombre del Autor:

Mora Bocca David Andrés

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

**MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Nombre del Profesor:

Mgs. Mazzini Muñoz Gustavo Miguel

Guayaquil, 27 de agosto de 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por David Andrés Mora Bocca, como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

TUTOR

Mgs. Gustavo Miguel Mazzini Muñoz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ph.D. Celso Bayardo Bohórquez Escobar

Guayaquil, 27 de agosto de 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y

EFICIENCIA ENERGÉTICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, David Andrés Mora Bocca

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación **“Diseño de una solución energética sostenible basada en energía solar para granjas de crianza y reproducción porcina y avícola de la empresa Agripornam S.A.S”**, previa a la obtención del grado académico de Magíster, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 27 de agosto de 2025

EL AUTOR

David Andrés Mora Bocca



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, David Andrés Mora Bocca

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación de maestría titulado: **“Diseño de una solución energética sostenible basada en energía solar para granjas de crianza y reproducción porcina y avícola de la empresa Agripornam S.A.S”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

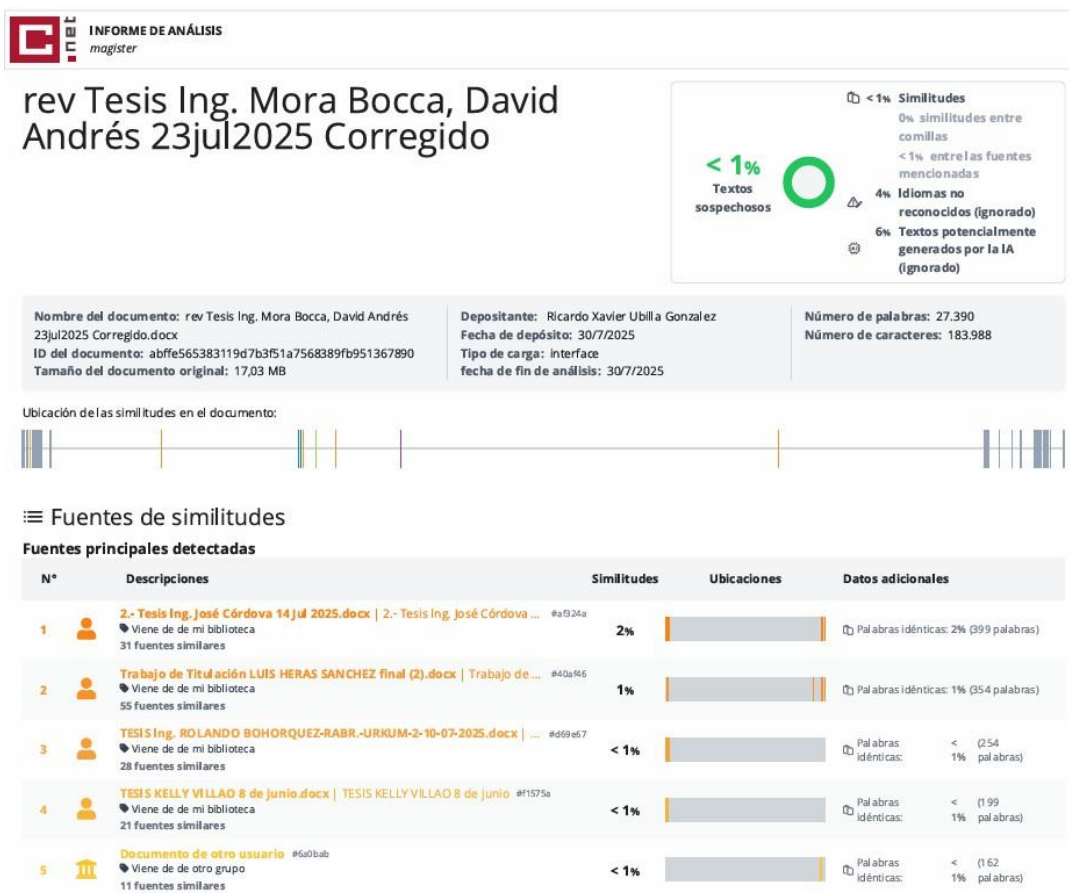
Guayaquil, 27 de agosto de 2025

EL AUTOR

David Andrés Mora Bocca

0921972212

REPORTE COMPILATIO



Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación “**Diseño de una solución energética sostenible basada en energía solar para granjas de crianza y reproducción porcina y avícola de la empresa Agripornam S.A.S**”, presentado por el estudiante **David Andrés Mora Bocca**, fue enviado al sistema anti-plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud menor al 1%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

f. 

Mgs. Gustavo Miguel Mazzini Muñoz

Dedicatoria

A mi esposa, Eliana, quien con amor me acompaña y apoya incondicionalmente, a mis padres, Alfredo desde el cielo y Martha quienes son mi ejemplo de trabajo, perseverancia y superación, a mi hermano Ricardo, a mis hijos Guillermo, Sebastián, Francisco, Santiago, Bella y Eduardo por ser mi motivación constante y la fuerza motor para luchar día a día, por creer en mí.

A Benjamín y Rosa quienes, con mucho cariño, paciencia y su apoyo desinteresado hicieron posible que continúe mis estudios.

A mi gran amigo, profesor y compañero de aula Ing. Orly Guzmán Kure por quien va esta tesis y mi entrega a la educación de los jóvenes. Gracias, querido Orly, hasta el cielo, POPA por siempre.

David Andrés Mora Bocca

Agradecimiento

Al Ph.D. Bayardo Bohórquez, director de la maestría quien con calidad humana y profesional nos ha llevado al término de nuestro posgrado.

Al Mgs. Gustavo Mazzini, tutor de la tesis por su orientación durante el desarrollo de este trabajo, sus conocimientos, su buen ánimo y consejos.

A mis amigos y colegas Pablo Perea y Juan Pablo Ochoa, quienes con su apoyo y enseñanzas le dieron forma a este proyecto.

A los profesores por transmitirnos su sabiduría en el desarrollo de nuestra formación profesional.

A todos los compañeros y amigos de aula con quienes hemos avanzado para concluir nuestro trabajo de grado, éxitos y felicidades.

David Andrés Mora Bocca



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

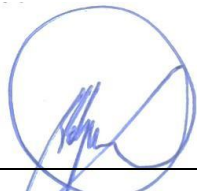
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y

EFICIENCIA ENERGÉTICA

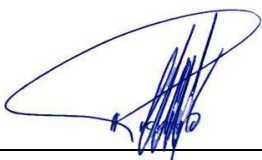
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Gustavo Mazzini Muñoz, Mgs.

Tutor

f. 
Ing. Daniel Bohórquez Heras, Mgs.

Revisor

f. 
Ing. Ricardo Ubilla González, Mgs.

Revisor

f. 
Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, Ph.D.
Director del Programa

Índice General

Dedicatoria	VI
Agradecimiento	VII
Índice General	IX
Índice de Ilustraciones	XIII
Índice de Tablas	XV
Resumen	XVI
Abstract	XVII
Introducción	2
Capítulo I: Aspectos Generales	4
1.1. Justificación del problema	4
1.2. Definición del problema	5
1.3. Formulación del problema	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Hipótesis	6
Capítulo II: Marco Teórico	8
2.1. Antecedentes	8
2.2. Energías renovables en el Ecuador	9
2.3. Utilización de la energía solar en el país	10

2.4.	Sistemas fotovoltaicos para granjas porcinas y avícolas -----	12
2.5.	Sistemas y tecnologías solares -----	15
2.6.	Componentes de un sistema fotovoltaico -----	20
2.7.	Tipos de sistemas fotovoltaicos -----	25
2.8.	Parámetros básicos de medición y cálculo en sistemas fotovoltaicos -----	28
2.9.	Estudios previos en sistemas fotovoltaicos agropecuarios -----	31
2.10.	Marco legal -----	34
Capítulo III: Marco Metodológico -----		37
3.1.	Metodología -----	37
3.2.	Modelo de investigación -----	39
3.3.	Descripción general de la finca -----	41
3.4.	Nave de crianza y engorde de cerdos -----	45
3.4.1.	Infraestructura por zonas -----	45
3.4.2.	Sistemas de alimentación y agua -----	50
3.5.	Nave de crianza de pollos de engorde -----	51
3.6.	Vivienda del personal operativo -----	54
3.7.	Zonas adicionales proyectadas -----	55
3.8.	Bombas de agua y sistemas de alimentación -----	56
Capítulo IV: Resultados y Análisis -----		57
4.1.	Caracterización técnica de los subsistemas -----	57
4.1.1.	Subsistema porcino -----	58
4.1.2.	Subsistema avícola -----	59
4.1.3.	Subsistema vivienda -----	59

4.1.4.	Zona de elaboración de balanceado (proyección futura) -----	60
4.1.5.	Viviendas para socios (proyección futuro) -----	60
4.2.	Curva horaria de demanda por subsistemas -----	61
4.3.	Potencia instalada y demanda por subsistemas -----	64
4.4.	Análisis del potencial solar en Limoncito -----	65
4.4.1.	Condiciones climáticas generales -----	65
4.4.2.	Nubosidad y precipitaciones -----	65
4.4.3.	Irradiación solar y potencial fotovoltaico -----	66
4.4.4.	Cálculo de inclinación y azimut -----	66
4.5.	Diseño del sistema fotovoltaico para los subsistemas -----	69
4.5.1.	Justificación y alcance del sistema -----	69
4.5.2.	Resumen demanda energética total -----	70
4.5.3.	Cálculo de pérdidas globales del sistema -----	70
4.5.4.	Dimensionamiento del campo fotovoltaico -----	70
4.5.5.	Selección de la arquitectura del sistema -----	71
4.5.6.	Cálculo de paneles fotovoltaicos y área efectiva -----	72
4.5.7.	Dimensionamiento de inversores híbridos -----	73
4.5.8.	Dimensionamiento del banco de baterías según cargas críticas reales -----	75
4.6.	Estimación de generación mensual y anual del sistema fotovoltaico -----	80
4.7.	Cálculo de producción energética por subsistema -----	81
4.8.	Análisis global del sistema -----	82
4.9.	Normativas para clientes no regulados -----	82
4.10.	Diagrama unifilar eléctrico propuesto -----	84
4.11.	Matriz de cumplimiento según resolución ARCONEL-010/2024 -----	85

4.12.	Análisis y simulación de parámetros con software PVSyst-----	86
4.13.	Evaluación técnico-económica del sistema fotovoltaico -----	89
4.13.1.	Inversión inicial del sistema fotovoltaico híbrido -----	89
4.13.2.	Ahorro energético estimado -----	91
4.13.3.	Presupuesto económico referencial-----	93
4.13.4.	Análisis financiero del proyecto -----	93
4.13.5.	Comparación con inversiones alternativas -----	99
4.13.6.	Valor Presente Ajustado por Riesgo (VPAR)-----	101
CONCLUSIONES -----		105
RECOMENDACIONES -----		107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----		108
ANEXO A: Simulación software PVSyst proyecto fotovoltaico galpón de cerdos – Hacienda Miguel Alfredo-----		115
ANEXO B: Simulación software PVSyst proyecto fotovoltaico galpón de aves – Hacienda Miguel Alfredo-----		118
ANEXO C: Simulación software PVSyst proyecto fotovoltaico vivienda – Hacienda Miguel Alfredo -----		120

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Instalación fotovoltaica en granja porcina	12
Ilustración 2 Sistema de alimentación automatizada para cerdos en granjas de crianza	13
Ilustración 3 Sistema de colector solar térmico	15
Ilustración 4 Sistema de paneles fotovoltaicos en cubiertas	17
Ilustración 5 Capas de un panel fotovoltaico	21
Ilustración 6 Inversor fotovoltaico montado sobre pared	22
Ilustración 7 Tipos de baterías disponibles para sistemas fotovoltaicos (AGM, Gel, Litio)	23
Ilustración 8 Medidor bidireccional	24
Ilustración 9 Ubicación georreferenciada Finca Miguel Alfredo según Google Maps.....	41
Ilustración 10 Finca Miguel Alfredo estado inicial año 2022 y actual 2024	43
Ilustración 11 Nave de reproducción, crianza y engorde de cerdos.....	43
Ilustración 12 Nave de reproducción, crianza y engorde de pollos	44
Ilustración 13 Vivienda destinada para trabajadores y organización operativa	44
Ilustración 14 Superficie total de la Hacienda Miguel Alfredo (11,9 Ha)	45
Ilustración 15 Superficie de la nave de crianza y engorde de cerdos (276 m2).....	46
Ilustración 16 Cerdas en lactancia con sus lechones.....	47
Ilustración 17 Lechones en proceso de destete	48
Ilustración 18 Cerdos adultos en etapa de engorde	49
Ilustración 19 Pollos en crecimiento y engorde	52
Ilustración 20 Superficie de la nave de crianza y engorde de aves (256 m2)	52
Ilustración 21 Superficie de la vivienda rural de operaciones (256 m2).....	54
Ilustración 22 Curva horaria de demanda por subsistema.....	64

Ilustración 23 Mapa de insolación global promedio en el Ecuador	67
Ilustración 24 Sistema Fotovoltaico Híbrido	72
Ilustración 25 Diagrama Unifilar Eléctrico Proyecto Fotovoltaico.....	84
Ilustración 26 Perfil horario de producción solar por subsistemas	87

Índice de Tablas

Tabla 1 Comparación entre sistemas solares térmicos y sistemas solares fotovoltaicos	16
Tabla 2 Comparación entre generaciones de tecnologías fotovoltaicas	18
Tabla 3 Coordenadas en grados decimales y altitud de Finca Miguel Alfredo.....	42
Tabla 4 Caracterización de cargas de Nave Porcina	58
Tabla 5 Caracterización de cargas de Nave Avícola.....	59
Tabla 6 Caracterización de cargas Vivienda Operativa	59
Tabla 7 Caracterización de cargas futuras de elaboración de balanceado	60
Tabla 8 Caracterización de cargas futuras de vivienda para socios (unitaria)	60
Tabla 9 Potencia instalada y demanda por subsistemas actuales y futuros.....	64
Tabla 10 Potencia instalada y demanda por subsistemas actuales	70
Tabla 11 Detalle de porcentaje de pérdidas	70
Tabla 12 Cantidad de paneles fotovoltaicos y área efectiva de las cubiertas.....	73
Tabla 13 Potencia de inversores por cada subsistema.....	75
Tabla 14 Estimación de cargas críticas para los diferentes subsistemas	76
Tabla 15 Dimensionamiento del banco de baterías según carga crítica.....	80
Tabla 16 Producción anual estimada por subsistema.....	81
Tabla 17 Matriz de cumplimiento según resolución ARCONEL-010/2024.....	85
Tabla 18 Presupuesto del sistema fotovoltaico híbrido completo.....	90
Tabla 19 Presupuesto del sistema fotovoltaico sin respaldo de baterías y sistemas de control	93
Tabla 20 Supuestos del modelo financiero de inversión.....	98
Tabla 21 Comparación financiera de las alternativas con el sistema fotovoltaico.....	101
Tabla 22 Tabla ajustada de riesgos según VPAR	104

Resumen

La presente tesis desarrolla una propuesta de solución energética sostenible mediante un sistema fotovoltaico híbrido para la Hacienda Miguel Alfredo, perteneciente a la empresa Agripornam S.A.S., ubicada en la comuna Limoncito, cantón Chanduy, provincia de Santa Elena. La finalidad, el abastecimiento eficiente de energía eléctrica a los tres subsistemas propuestos en el desarrollo: nave de crianza de cerdos, nave de crianza de aves y la vivienda existente, disminuyendo la utilización de la red pública.

Se ejecutó un diagnóstico técnico identificando la demanda energética, siendo esta de 1.333,20 kWh/mes, equivalente a 15.998,04 kWh/año. Con dicha información, se procedió con el diseño de un sistema que contiene un total de 23 paneles solares monocristalinos de 550 Wp, obteniendo una potencia instalada total de 13,15 kWp. El sistema operará con una eficiencia del 82 % y se proyecta una generación mensual de 1.400,70 kWh, lo cual supera ligeramente la demanda e incorpora un margen para estacionalidades, recarga de baterías y eventuales inyecciones a red.

El sistema incluye inversores híbridos y un banco de baterías de respaldo de 34,56 kWh nominales, dimensionado para garantizar cuatro horas de operación de cargas críticas en cada subsistema. El análisis económico presentó un Valor Presente Neto (VAN) de USD 5.471,10 y un Valor Presente Ajustado por Riesgo (VPAR) de USD 5.070,00 considerando los peores escenarios posibles como fallas en la operación, aumento de costos de mantenimiento o cambios en las normas vigentes y sus pliegos tarifarios.

Por tanto, se concluye que el sistema propuesto es técnica y económicamente factible, y es sin duda una alternativa sostenible con beneficios ambientales, sociales y técnicos dentro del entorno rural ecuatoriano.

Abstract

This thesis presents a sustainable energy solution using a hybrid photovoltaic system for Hacienda Miguel Alfredo, part of the company Agripornam S.A.S., located in Limoncito, Chanduy, Santa Elena. The main goal is to provide efficient electric power to three areas: the pig farm, the chicken farm, and the house, while reducing the use of electricity from the public grid.

A study was made to know how much energy is needed. The result was 1,333.20 kWh per month, or 15,998.04 kWh per year. With this information, the system was designed using 23 monocrystalline solar panels of 550 Wp each one, giving a total power of 13.15 kWp. The system will work with an efficiency of 82% and is expected to produce 1,400.70 kWh every month. This number is a bit more than needed, allowing extra energy for battery charging, seasonal changes, and possible connection to the public grid.

The system also includes hybrid inverters and a backup battery bank with 34.56 kWh capacity, enough to support four hours of critical loads for each area. The economic study presented a Net Present Value (NPV) of USD 5,471.10 and a Risk-Adjusted Present Value (RAPV) of USD 5,070.00, considering difficult situations like equipment failure, higher maintenance costs, or changes in national energy rules.

As a result, it is concluded that the design system is technically and economically viable. It is also a sustainable alternative that brings environmental, social, and technical benefits to the rural area of Ecuador

Introducción

En la actualidad, el acceso a la energía es una preocupación global y un desafío para la ingeniería considerando las fuentes energéticas y la búsqueda de utilizar fuentes renovables de energía para realizar una transición que permita la sostenibilidad ambiental y suplir la demanda energética. La humanidad ha progresado en función de las fuentes energéticas que ha tenido a su disposición, una de ellas, la electricidad, ha sido fundamental para el desarrollo económico, el avance de la ciencia y la mejora de la calidad de vida de las personas.

En ese contexto, la energía solar fotovoltaica, sin duda alguna, es una alternativa eficiente, sostenible y sustentable, especialmente en lugares del planeta con alta irradiación solar como es la costa ecuatoriana. Esta tecnología permite aprovechar una fuente limpia e inagotable como el sol, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y el incremento de la demanda sobre las redes eléctricas públicas.

En el sector agropecuario y ganadero, en los cuales la tecnificación de procesos productivos es más frecuente, contar con suministro eléctrico constante es vital especialmente cuando de este dependen seres vivos. Las granjas de producción porcina y avícola requieren energía para operar sus sistemas y cualquier falla, intermitencia o interrupción en el servicio eléctrico puede complicar o poner en riesgo la salud animal, la producción y la rentabilidad del negocio.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar una solución energética basada en energía solar fotovoltaica para la empresa Agripornam S.A.S., Hacienda Miguel Alfredo, con

el fin de asegurar la autonomía energética de sus instalaciones productivas, optimizar los costos operativos y contribuir al desarrollo sostenible del sector agropecuario ecuatoriano.

Capítulo I: Aspectos Generales

1.1. Justificación del problema

La empresa Agripornam S.A.S. tiene dificultades técnicas en la crianza de sus animales debido al deficiente suministro eléctrico, lo cual afecta su productividad y la continuidad de los procesos. Las fallas del servicio, las variaciones de voltaje y la poca cobertura en toda el área de la Hacienda Miguel Alfredo impide mantener en funcionamiento y de forma adecuada los equipos y sistemas esenciales de las naves de crianza que requieren un suministro confiable para garantizar condiciones de vida y crecimiento apropiado para los animales.

Esta situación representa una barrera operativa, que adicional incrementa los costos por mantenimientos correctivos, pérdidas de producción y necesidad de recurrir a fuentes de energía contaminantes como generadores a diésel como respaldo. A pesar del elevado potencial solar en la zona, la empresa no ha implementado soluciones fotovoltaicas que le permitan cubrir total o parcialmente sus necesidades energéticas.

La incorporación de energía solar fotovoltaica permitiría a Agripornam S.A.S. reducir su dependencia de la red pública, garantizar la continuidad de sus procesos productivos y al mismo tiempo alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente con el ODS 7, que promueve el acceso a energía asequible, segura, sostenible y moderna (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2023)

De este modo, la propuesta no solo busca cubrir una necesidad funcional en la operación diaria, sino que también representa una oportunidad estratégica para impulsar el crecimiento sostenible, tanto económico como ambiental, de una empresa agropecuaria que se encuentra en pleno proceso de expansión.

1.2. Definición del problema

La empresa Agripornam S.A.S., dedicada a la producción porcina, avícola y la agricultura, opera en una zona rural del cantón Chanduy donde el servicio eléctrico público es deficiente, discontinuo y con cobertura limitada. Esta situación afecta el funcionamiento de los sistemas automáticos de los galpones de crianza de cerdos y aves como el sistema de ventilación, alimentación, suministro de agua e iluminación, así como los equipos de refrigeración para conservación de diferentes tipos de insumos.

No contar con un sistema energético de respaldo, afecta la productividad, el bienestar de los animales y la continuidad de la gestión, lo cual incrementa los costos y ocasiona como consecuencia menor competitividad frente a los grandes productores ubicado en zonas con mejores accesos. Aunque el entorno geográfico ofrece condiciones óptimas para el aprovechamiento de la energía solar, la empresa no ha implementado sistemas fotovoltaicos que permitan mitigar estas limitaciones.

Esta situación genera una dependencia energética insostenible y una oportunidad desaprovechada para adoptar tecnologías limpias que garanticen autonomía, eficiencia y sostenibilidad.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo puede una solución energética basada en energía solar fotovoltaica mejorar la eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y autonomía energética de las granjas de producción porcina y avícola de la empresa Agripornam S.A.S., ubicadas en la comuna Limoncito?

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo General*

Diseñar una solución energética sostenible basada en energía solar fotovoltaica en la Hacienda Miguel Alfredo de la empresa Agripornam S.A.S., que permita abastecer eficientemente con energía eléctrica las naves de crianza y reproducción de cerdos y aves de corral, reduciendo la dependencia de la red pública.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Analizar la carga existente, la carga proyectada y la demanda eléctrica actual destinadas a las naves de crianza considerando las diferentes fases del desarrollo de los animales así como los tipos de equipos y maquinarias asociados al bienestar animal tales como ventilación, alimentación, suministros de agua e iluminación.
- Diseñar una simulación mediante el uso del software PVSyst del sistema de generación fotovoltaica más adecuado al comportamiento diario y estacional de la carga en las naves de crianza incorporando criterios técnicos de permanencia y variabilidad.
- Elaborar un estudio técnico-económico de factibilidad que evalúe el retorno de inversión, costos de implementación y beneficios energéticos y ambientales del sistema fotovoltaico, a fin de ser considerado en el presupuesto anual de la empresa.

1.5. Hipótesis

La deficiente calidad y discontinuidad de la energía eléctrica de la red pública producto de las cargas existentes de las naves de crianza y reproducción de cerdos y aves de corral, así como la distancia de los centros de carga representan mayores costos para la empresa producto de una inadecuada crianza y reproducción de dichas especies y mayores tiempos de crecimiento.

Si se considera la aplicación de sistemas fotovoltaicos en las instalaciones actuales de la Hacienda Miguel Alfredo de la empresa Agripornam S.A.S., pudiere obtenerse una disminución de costos y menores tiempos de crianza y reproducción considerando satisfacer la demanda energética de las cargas existentes y proyectadas.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes

En la Hacienda Miguel Alfredo de la empresa Agripornam S.A.S. se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas como porcino y aviar, esto sobre una superficie de más de diez hectáreas en la vía a la Frutilla, específicamente la comuna Limoncito en el cantón Chanduy provincia de Santa Elena. Aunque la producción es diversa y permanente a lo largo del año, la infraestructura eléctrica de la hacienda no está acorde a las necesidades de las cargas presentes, puesto que no cubre el área en su totalidad, ni proporciona un suministro confiable para los procesos que en ella se realizan. Esta situación no es sólo en la Hacienda Miguel Alfredo, es en muchas zonas rurales del cantón y el país, que presentan condiciones similares sumado a las limitaciones o la falta, en muchos casos, de acceso a servicios básicos, lo cual imposibilita la modernización y el progreso de la agricultura (Banco de Desarrollo del Ecuador B.P, 2023).

Frente a esta realidad, las fuentes de energía renovable, en especial la solar tanto térmica como fotovoltaica, se alinea como una alternativa para cubrir los requerimientos energéticos del campo. En distintas regiones del Ecuador, su implementación en granjas ha permitido optimizar el uso de energía y reducir los costos operativos que mejoran la rentabilidad de los productores. Según CELEC EP (2024), en Santa Elena se registra una radiación solar promedio favorable entre 4,5 y 5,0 kWh/m², lo que convierte a esta provincia y el sector de Limoncito, en un sitio ideal para aprovechar el recurso solar de forma técnica y sostenible.

Estos antecedentes respaldan la factibilidad tanto técnica como económica de aplicar sistemas solares en entornos agropecuarios rurales, consolidándose como una alternativa eficiente para alcanzar la autosuficiencia energética y potenciar el desarrollo productivo local.

2.2. Energías renovables en el Ecuador

En los últimos años, las fuentes de energía renovable han ganado protagonismo mundial por su capacidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar un modelo energético sostenible. En Ecuador, aunque la generación hidroeléctrica ha predominado, la variabilidad climática e inestabilidad hidrológica han impulsado la diversificación de la matriz energética hacia fuentes limpias como la solar, eólica, biomasa y geotérmica (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR), 2022).

El Plan Nacional de Eficiencia Energética (PNEE) 2016-2035 establece la necesidad urgente de integrar fuentes de energía renovables no convencionales en la matriz energética del Ecuador, esto con la finalidad de garantizar un suministro seguro, libre de contaminación por gases de efecto invernadero enfrentando los efectos del cambio climático y ampliando el acceso a energías limpias y sostenibles (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), 2017). En ese sentido, es también de suma importancia fomentar la participación de la empresa privada en este tipo de proyectos, en especial aquellos basados en energía solar fotovoltaica a pequeña escala.

La provincia de Santa Elena, ubicada en la región litoral del país, presenta condiciones geográficas y climáticas adecuadas para aprovechar la energía solar, con niveles de irradiación diaria que están entre 4,5 y 5,2 kWh/m². Este potencial energético permite que el sector agrícola y ganadero pueda acceder a implementar este tipo de soluciones energéticas basadas en tecnología fotovoltaica.

Diferentes investigaciones demuestran que la utilización de energías renovables en las áreas rurales mejora significativamente la eficiencia y la calidad de vida de las personas,

plantaciones y ganado. Un estudio realizado por (Jaramillo Pacheco, Hidalgo García, & Román Rodríguez, 2014) evidenció que incorporando energía solar en pequeñas áreas rurales del Ecuador permitió la reducción de costos operativos de los pequeños productores en hasta un 40%, al mismo tiempo ayudando a disminuir el impacto de la inestabilidad del sistema y los cortes de energía del sistema eléctrico de la distribuidora.

En lo internacional, Ecuador asumió compromisos importantes sobre sostenibilidad energética, entre ellos están el Acuerdo de París (COP-18) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) particularmente el ODS 17 que plantea el aumento de participación de fuentes renovables en el consumo energético de las naciones lo cual promueve la transición energética limpia de forma progresiva.

En función del impacto directo de la seguridad alimentaria, los sectores agrícola y ganadero son prioritarios para estrategias energéticas limpias y confiables, por lo cual los sistemas fotovoltaicos presentan una alternativa viable para la mejora de la producción, reducir la dependencia, en algunos casos, de combustibles fósiles y buenas prácticas sostenibles en el entorno del agro ecuatoriano.

2.3. Utilización de la energía solar en el país

Durante la última década, la energía solar ha ganado espacio en nuestro país como una alternativa sostenible dentro del proceso de transformación de la matriz energética. Esta fuente de energía renovable resulta interesante en regiones como la costa y la sierra, donde la radiación solar es alta durante todo el año.

No obstante, implementar en zonas rurales estos sistemas sigue siendo un desafío, entre ellos, la falta de incentivos tributarios aterrizados en la realidad agrícola y ganadera, limitaciones

normativas, la falta de disponibilidad de financiamiento de entidades bancarias y la ausencia de capacidad técnica para el diseño y operación de sistemas en grandes escalas para comunidades enteras.

Ante estos obstáculos tanto técnicos como económicos, el gobierno del Ecuador inició acciones generando normativas que facilitan la incorporación de tecnologías alternativas. Una de las medidas trascendentales fue el Acuerdo Ministerial No. 107 (2020), que definió el marco regulatorio para la generación distribuida a través de fuentes renovables, posibilitando a viviendas, comercios y empresas generar su propia energía y que puedan entregar el excedente a la red eléctrica nacional, siendo esto un modelo más autónomo y eficiente, dicho acuerdo fue reformándose y adaptándose a los cambios en mejora de las personas y la matriz energética del país. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), 2025).

En el ámbito agropecuario, en el cual la energía es imprescindible para el funcionamiento de equipos para dotación de alimentos, agua, ventilación e iluminación, el uso de paneles fotovoltaicos representa una solución estratégica. Esta fuente permite no solo reducir significativamente los costos operativos vinculados al consumo eléctrico convencional, sino también operar de manera autónoma en zonas con acceso limitado o inexistente a la red eléctrica nacional (Lozada & Palacios, 2022).

Asimismo, el acceso creciente a tecnologías solares más asequibles ha permitido que pequeños y medianos productores agropecuarios consideren estos sistemas como inversiones sostenibles y rentables a largo plazo. Esta evolución tecnológica, junto con una mayor conciencia ambiental en el sector, ha abierto un camino propicio para el desarrollo de iniciativas como la propuesta en esta tesis. (García & Morales, 2019)

2.4. Sistemas fotovoltaicos para granjas porcinas y avícolas

Las granjas porcinas y avícolas intensivas dependen de sistemas automatizados para mantener condiciones ambientales adecuadas, asegurar la nutrición y el bienestar animal, y cumplir con los estándares de calidad exigidos en nuestro país. En este sentido, los sistemas fotovoltaicos representan una alternativa sostenible y eficiente para satisfacer las crecientes demandas energéticas del sector (FAO & INTA, 2009).

Ilustración 1 Instalación fotovoltaica en granja porcina



Fuente: [Fotografía]. (s.f.).

Entre los principales sistemas automatizados que requieren electricidad en este tipo de explotaciones se encuentran: los sistemas de alimentación automatizada, ventilación controlada, iluminación programada, acceso continuo al agua, calefacción (en el caso de lechones o pollitos), refrigeración evaporativa, y limpieza automatizada de excretas. La alimentación automatizada, por ejemplo, implica el uso de tolvas eléctricas, transportadores de pienso, y controladores que programan las raciones en función de la etapa de crecimiento del animal, demandando una fuente energética estable (García-Díez & González-Fandos, 2017).

Ilustración 2 Sistema de alimentación automatizada para cerdos en granjas de crianza



Fuente: [Fotografía]. (s.f.).

Asimismo, los sistemas de ventilación y aireación cumplen un papel fundamental en la regulación de la temperatura y el control de gases como amoníaco y dióxido de carbono, especialmente en ambientes cerrados y con un gran número de animales. En zonas cálidas como la región litoral del Ecuador, los sistemas automatizados se mantienen activos durante buena parte del día, lo cual incrementa el consumo eléctrico. (Gálvez, 2021)

El acceso de los animales al agua potable es esencial, puesto que los cerdos y las aves requieren hidratación constante, su distribución eficiente se logra mediante el uso de bombas de agua con válvulas y bebederos automáticos que aseguran el suministro correcto en volumen y tiempo, evitando desperdicio de agua que influye en los costos de producción. En muchas granjas, además, el sistema de limpieza de bebederos, bandejas de alimento y camas se encuentra automatizado, lo que incrementa aún más la necesidad de una fuente eléctrica confiable y permanente (Sánchez, Sarango, & Cucuri, 2020)

En términos de consumo, estudios realizados en América Latina indican que una granja porcina de mediana escala puede requerir entre 15 y 30 kWh por día únicamente para los sistemas

de alimentación, ventilación e iluminación. En el caso de una granja avícola, este consumo puede variar entre 10 y 25 kWh por día, dependiendo del tamaño de los galpones y la tecnología empleada (Escobar, 2018)

Diversos casos internacionales respaldan la efectividad de los sistemas solares en este tipo de instalaciones. En España, por ejemplo, el Grupo Vall Companys ha implementado sistemas fotovoltaicos en granjas porcinas con una capacidad de 30 kWp, logrando cubrir hasta el 70% del consumo energético total y reduciendo en un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero en sus operaciones (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023) En Brasil, la empresa Seara Foods adoptó soluciones solares en granjas avícolas, alcanzando una reducción del 50% en costos eléctricos, con un tiempo de amortización estimado en menos de cinco años. (Silva, 2023)

En nuestro país, experiencias desarrolladas por pequeños agricultores y porcicultores en las provincias de Manabí y Los Ríos han demostrado que, en granjas rurales, el uso de sistemas fotovoltaicos se adapta de forma efectiva. Un ejemplo reconocido es una granja avícola en Portoviejo que, luego de instalar un sistema híbrido solar de 10 kWp, logró reducir su factura mensual de electricidad en un 55% aumentando su productividad gracias a la mejora de la temperatura promedio de las naves de crianza gracias al uso de ventiladores automáticos. (Zambrano & Becerra, 2021).

En conclusión, la instalación de un sistema fotovoltaico en una granja no es solo una oportunidad para reducir costos sino para generar un impacto positivo en el bienestar de los animales, garantizando condiciones estables para su supervivencia. La combinación de la tecnología con la actividad agropecuaria permite que las empresas avancen hacia modelos sostenibles alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

2.5. Sistemas y tecnologías solares

La humanidad ha utilizado la energía proveniente del sol desde épocas antiguas, iniciando con prácticas sencillas como secar alimentos hasta llegar a los actuales sistemas de conversión de energía. En la actualidad, se explota mediante dos tipos de tecnologías claramente definidas: los sistemas solares térmicos y los sistemas fotovoltaicos. Aunque ambas utilizan la radiación solar como fuente primaria, se distinguen en sus mecanismos de captura, transformación, elementos técnicos de aplicación y los fines energéticos (Duffie, 2013).

Los sistemas solares térmicos están diseñados para captar la energía del sol y transformarla en calor útil. Este calor puede aplicarse de forma directa en actividades como el calentamiento de agua para uso sanitario, la climatización de espacios, procesos industriales que requieren temperaturas moderadas, e incluso en sistemas de refrigeración por absorción. Su funcionamiento se basa en colectores solares térmicos, los cuales pueden ser planos, de tubos evacuados o concentradores, según el nivel de temperatura que se necesite (Kalogirou, 2014).

Ilustración 3 *Sistema de colector solar térmico*



Fuente: (República del Sol, 2025).

En cambio, los sistemas fotovoltaicos convierten de forma directa la luz solar en electricidad a través del efecto fotoeléctrico. Este proceso ocurre dentro de las celdas fotovoltaicas, compuestas por materiales semiconductores como el silicio. Cuando los fotones solares impactan sobre estas celdas, generan una excitación de electrones que da origen a una corriente continua. Posteriormente, mediante el uso de inversores, esta corriente es transformada en corriente alterna, apta para alimentar instalaciones eléctricas (Green, y otros, 2022).

Característica	Sistema Solar Térmico	Sistema Solar Fotovoltaico
Principio de funcionamiento	Captura la radiación solar y la transforma en calor	Convierte la luz solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico
Utilización	Calentar agua, calefacción, procesos termodinámicos	Generar energía eléctrica para uso residencial, comercial o industrial
Componentes fundamentales	Colectores (planos, de tubos evacuados o de concentración)	Celdas fotovoltaicas, inversores, baterías, reguladores
Tipo de energía	Térmica	Eléctrica
Eficiencia	Alta, más aún en climas soleados	Moderada, en mejora continua
Aplicaciones comunes	Viviendas, hoteles, industrias, piscinas, procesos agrícolas	Viviendas, granjas, sistemas aislados, redes eléctricas

Tabla 1 Comparación entre sistemas solares térmicos y sistemas solares fotovoltaicos

Fuente: Adaptado de (Kalogirou, 2014) y (Green, y otros, 2022).

Ilustración 4 *Sistema de paneles fotovoltaicos en cubiertas*



Fuente: (Genera, 2025).

En sus primeros años, las celdas solares presentaban una menor eficiencia, aproximadamente, el 10 % y sus costos de fabricación eran muy altos, lo que restringía su uso a proyectos experimentales, aplicaciones muy puntuales o proyectos espaciales. Con el tiempo, el desarrollo de nuevos materiales y mejoras no solo en los procesos de manufactura sino en los materiales, dieron paso a aumentar su eficiencia y reducir considerablemente los costos de producción, incorporando estos sistemas en ámbitos residenciales, industriales y rurales (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2023).

En la actualidad, las tecnologías disponibles de generación fotovoltaica se agrupan en tres tipos. La primera compuesta por celdas de silicio cristalino, las cuales pueden ser monocristalina y policristalina siendo las más utilizadas a nivel mundial debido a su eficiencia comprobada y de larga vida útil. La segunda generación corresponde a las celdas de película delgada denominadas “thin film” entre las que se incluyen materiales como telurio de cadmio o cobre-indio-galio-selenio, que se caracterizan por ser ligeras, flexibles y de fácil instalación, aun cuando tienen menor eficiencia energética comparadas con el silicio.

Finalmente, la tercera generación abarca tecnologías emergentes aún en desarrollo, como las celdas de perovskita, los dispositivos tándem y las celdas solares orgánicas, con un enfoque adicional en la sostenibilidad ambiental (Chen, 2022).

Generación	Tipo de tecnología	Características principales	Ejemplos comunes
Primera generación	Silicio cristalino (monocristalino y policristalino)	Alta eficiencia, larga vida útil, tecnología madura, uso extendido	Paneles residenciales e industriales
Segunda generación	Película delgada (CdTe, CIGS)	Más ligeros y flexibles, menor eficiencia, adecuados para aplicaciones específicas	Fachadas integradas, techos ligeros
Tercera generación	Perovskita, tándem, orgánicas	Tecnologías emergentes, alto potencial de eficiencia y sostenibilidad, aún en desarrollo	Investigación, prototipos, integración avanzada

Tabla 2 Comparación entre generaciones de tecnologías fotovoltaicas

Autor: Adaptado de (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2023) y (Chen, 2022).

Viendo desde el diseño, los sistemas solares térmicos se pueden agrupar en función de la temperatura de trabajo que pueden alcanzar, puede ser baja, media o alta temperatura. Dicha clasificación depende del tipo de colector a instalar como del nivel térmico que requiere la aplicación. Para aplicaciones residenciales o rurales, por ejemplo, el calentamiento de agua en instalaciones ganaderas, los sistemas de temperatura baja son muy utilizados por ser eficientes y de baja complejidad de uso e instalación. Por el contrario, las tecnologías de concentración solar, las cuales empleas espejos parabólicos, torres de captación y helióstatos, alcanzan temperaturas

arriba de los 400°C, por lo tanto, son adecuadas para otro tipo de aplicaciones como industriales y en algunos casos para centrales termoeléctricas.

Por su parte, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en tres categorías: los conectados a la red denominados “on-grid”, los independientes que no se conectan a la red “off-grid” y los sistemas híbridos. Los on-grid permiten conectar cargas internas del usuario y a su vez en caso de existir un excedente de energía generada, transferirla a la red pública y venderla mediante la medición neta. En cambio, los sistemas off-grid funcionan sin conexión a la red pública lo cual es ideal en zonas alejadas, rurales o de difícil acceso por el terreno. Finalmente, los sistemas híbridos integran energía solar con otras fuentes, como generadores diésel, turbinas eólicas o la misma red pública lo cual ofrece una solución estable con respaldo en cuanto al abastecimiento de energía eléctrica (Bhandari, 2015).

En el mundo entero, la energía solar ha demostrado ser muy útil en áreas rurales o zonas aisladas, donde la cobertura eléctrica de las redes de distribución es escasa o nula. En Sudamérica, casos de éxito importantes se han dado en países como Brasil, Perú y Chile referente a electrificación rural con energía fotovoltaica. En nuestro país, Ecuador, proyectos de este tipo se han implementado y ha beneficiado a muchas comunidades de provincias como Esmeraldas, Manabí y Morona Santiago, mejorando la calidad de vida de las personas con acceso eléctrico de calidad (Ministerio de Energía y Minas, 2023).

La selección de la tecnología más adecuada sin duda alguna depende de varios factores como por ejemplo el nivel de radiación solar disponible, las características de la curva de demanda del proyecto, costos asociados al sistema y la operatividad técnica del manejo de los equipos. En instalaciones ganaderas, que requieren calor y electricidad, se puede permitir combinar ambas

tecnologías de forma híbrida, colocando colectores térmicos para calentar agua y paneles fotovoltaicos para suministro eléctrico a equipos y maquinarias.

En el futuro tendremos una creciente relación entre la energía solar con las tecnologías digitales emergentes como microrredes inteligentes, inteligencia artificial en gestión energética eficiente y sostenible (International Energy Agency (IEA), 2023). Desde la ingeniería, los sistemas recomendados para entornos ganaderos y agrícolas son los híbridos conectados a la red o los que son autónomos con respaldo de baterías, pues garantizan la continuidad del servicio y la operación ante cortes de energía. El diseño de ellos contempla variables como patrones de consumo horario, momentos específicos de alimentación porcina-aviar, el fotoperiodo para crías recién nacidas y condiciones climáticas del lugar. Para maximizar estos sistemas se deben incorporar componentes como inversores híbridos, controladores y las baterías que pueden ser de gel o litio, asegurando un suministro eléctrico confiable y estable. (Jiménez-Cruz, 2020).

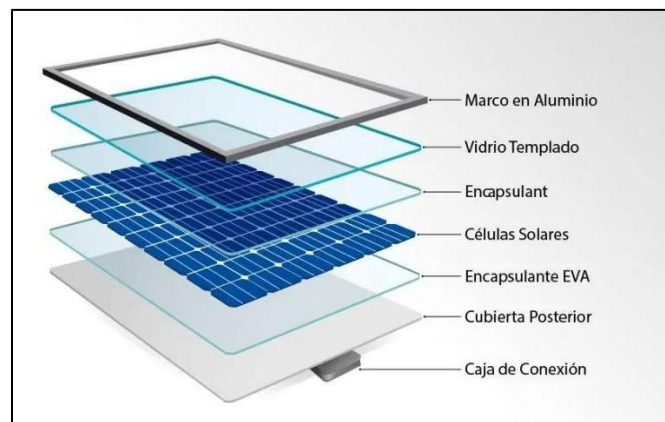
2.6. Componentes de un sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos están diseñados para convertir la energía del sol en electricidad aprovechable empleando varios dispositivos que trabajan de forma coordinada para transformar, almacenar y distribuir la energía generada. La eficiencia y seguridad del arreglo fotovoltaico dependen de la adecuada selección de sus componentes, los cuales están diseñados para diferentes condiciones de uso y al tipo de demanda energética de la carga, es decir, un sistema diferenciado para cada necesidad.

El módulo fotovoltaico es el núcleo o pieza fundamental del sistema, pues es el encargado de captar la luz solar y transformarla en corriente eléctrica. Este proceso se da gracias al efecto fotoeléctrico, mediante el cual la energía de la luz solar activa los electrones en las celdas

semiconductoras, generando electricidad. Los módulos más comunes están hechos de silicio y se presentan en versiones monocristalinas, policristalinas o de capa delgada. Cada tipo ofrece diferentes niveles de eficiencia y comportamiento frente a la radiación solar. En condiciones óptimas, los paneles más avanzados del mercado pueden alcanzar eficiencias superiores al 22 % (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2023).

Ilustración 5 *Capas de un panel fotovoltaico*



Fuente: (INELDEC S.A.S., 2024).

Cada módulo está compuesto por varias celdas solares interconectadas, sea en serie o en paralelo, para lograr los niveles de voltaje y corriente requeridos. Estas celdas están protegidas con materiales como vidrio templado y capas plásticas que garantizan su resistencia a las inclemencias climáticas. Estos, suelen tener una vida útil de entre 25 y 30 años, manteniendo un rendimiento aceptable a pesar de pequeñas pérdidas de eficiencia anual.

El siguiente componente clave es el inversor, cuya función es convertir la corriente continua (CC) generada por los módulos en corriente alterna (CA), que es la forma habitual de energía eléctrica utilizada en la mayoría de las instalaciones sean residenciales o comerciales.

Los inversores también sincronizan la energía con la red (en sistemas on-grid), protegen contra fallas y optimizan la producción mediante algoritmos como el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés). Existen inversores centralizados, string (por cadenas) y microinversores adecuados a diferentes escalas y configuraciones (Esrasm, 2007).

Ilustración 6 *Inversor fotovoltaico montado sobre pared*



Fuente: (Huawei Technologies Co., 2025).

En sistemas solares aislados o híbridos, donde no existe conexión directa con la red eléctrica, es fundamental incorporar bancos de baterías que permitan almacenar la energía captada durante el día para su uso en la noche o en momentos con baja radiación solar. Las opciones más utilizadas en este tipo de sistemas incluyen baterías de plomo-ácido, tanto abiertas como selladas, así como baterías de ion-litio, que ofrecen mayor eficiencia y vida útil. También se exploran tecnologías alternativas como las baterías de flujo o de sodio, aunque su aplicación aún es limitada. El desempeño y durabilidad de estos sistemas de almacenamiento dependen de factores como la profundidad con la que se descargan, las condiciones térmicas del entorno y la forma en que se gestionan los ciclos de carga (Luo, 2015).

Ilustración 7 *Tipos de baterías disponibles para sistemas fotovoltaicos (AGM, Gel, Litio)*



Fuente: [Fotografía] (s.f.).

Además, todo sistema que emplea acumuladores necesita un controlador de carga, dispositivo encargado de regular el paso de energía desde los paneles solares hacia las baterías. Este equipo evita sobrecargas o descargas excesivas que podrían deteriorar el banco de almacenamiento. En la actualidad, se encuentran incorporados en los inversores mediante tecnología MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia) de alta eficiencia, ya que ajustan de forma inteligente la captación energética según las condiciones ambientales, optimizando así el rendimiento general del sistema (Azaza, 2017).

Un elemento clave en todo sistema fotovoltaico es la estructura de soporte, ya que permite mantener los módulos en una posición adecuada para aprovechar al máximo la radiación solar. Estas estructuras pueden ser fijas, con una inclinación determinada, o móviles, mediante sistemas de seguimiento solar de uno o dos ejes. Las estructuras con seguimiento permiten aumentar la captación de energía entre un 15 % y un 35 %, dependiendo de la ubicación geográfica y la época del año. Una instalación bien orientada y firmemente asegurada es fundamental para garantizar su máxima eficiencia y la durabilidad del sistema.

También forman parte del sistema los componentes eléctricos encargados de la conducción y protección de la energía generada. Se utilizan cables especiales tanto para corriente continua, tipo PV, como para corriente alterna, diseñados para soportar la intemperie y las exigencias térmicas y mecánicas propias de instalaciones solares.

Además, se integran dispositivos de seguridad como fusibles, seccionadores, interruptores termomagnéticos y pararrayos, cuya función es proteger el sistema frente a cortocircuitos, sobrecargas eléctricas, picos de tensión o descargas atmosféricas, conforme a lo establecido en la norma IEC 62548:2016.

En sistemas conectados a la red, se incluye también un medidor bidireccional que registra tanto la energía consumida de la red como la inyectada a esta, permitiendo aplicar esquemas de medición neta. Además, en muchos países se exige la instalación de sistemas de monitoreo, que permiten visualizar en tiempo real el rendimiento del sistema, detectar fallos y planificar el mantenimiento preventivo. Muchos de estos sistemas se encuentran conectados con aplicaciones móviles (National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2020).

Ilustración 8 *Medidor bidireccional*



Fuente: (Empresa Eléctrica Quito, 2023).

Por esta razón, es fundamental que el proceso de diseño y dimensionamiento se realice conforme a normativas técnicas reconocidas a nivel internacional, como las establecidas por la IEC y la IEEE, así como a las regulaciones nacionales vigentes, emitidas por organismos como ARCONEL e INEN (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL), 2024).

2.7. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse según su conexión con la red eléctrica, la forma en que operan y el tipo de aplicación al que están destinados. La categorización de los sistemas fotovoltaicos es esencial para elegir la alternativa más eficiente y viable de acuerdo con el tipo de proyecto a ejecutar. En Ecuador, gracias a su ubicación en el neotrópico, posee altos niveles de irradiación solar, por lo cual se facilita el uso de sistemas fotovoltaicos, sean estos conectados a la red, autónomos o híbridos. Estas tecnologías son muy importantes en las zonas rurales y en sectores con deficiente infraestructura eléctrica.

Los sistemas conectados a la red eléctrica (on-grid) son una gran solución que se implementa en el sector residencial, comercial y pequeños negocios industriales, pues permiten reducir la dependencia del suministro eléctrico de la red y aprovechar la energía solar durante las horas de mayor radiación, no obstante, tiene una desventaja pues al producirse una interrupción en el servicio de la red pública, sea por corte programado o falla en las redes, el sistema fotovoltaico deja de operar inmediatamente por seguridad a menos que tenga un respaldo complementario como baterías.

Por el contrario, los sistemas independientes o aislados funcionan sin conexión de la red pública de la distribuidora por lo cual son muy usados en lugares remotos o fuera de cobertura

eléctrica como comunidades rurales, reservas naturales o zonas de difícil acceso. Este tipo de sistema necesita la incorporación de baterías, pues la función de estas es el almacenamiento durante el día para cubrir la demanda por la noche o cuando las condiciones meteorológicas sean adversas como nubosidad excesiva, precipitaciones o simplemente baja radiación solar.

En Ecuador, este modelo ha sido implementado con éxito en territorios de difícil acceso, como comunidades amazónicas, galapagueñas y costeras, mediante proyectos promovidos por el Ministerio de Energía y el Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética (Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética (PREE), 2021) (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador (MITE), 2022).

Aunque los sistemas off-grid representan una alternativa clave para garantizar el acceso a la energía en zonas marginadas, su implementación suele requerir una inversión inicial más alta, así como un mantenimiento técnico regular, sobre todo en lo que respecta a las baterías y los controladores. No obstante, la baja de los precios de forma progresiva de las baterías de litio en los últimos años contribuye a que las soluciones energéticas se perciban como más accesibles y viables económicamente, esta evolución tecnológica facilita la expansión de los sistemas fotovoltaicos en zonas rurales y urbanas.

Finalmente, como tercera alternativa, tenemos los sistemas híbridos que integran la generación solar con otras fuentes energéticas que pueden ser la red pública, un generador a diésel o incluso otra fuente renovable que obviamente por las características del sector pudiese ser eólica o biomasa. Normalmente estos sistemas incorporan almacenamiento mediante baterías lo cual lo hace adaptable y puede operar conectado o de forma aislada. Esta versatilidad de ser dual, le convierte en una solución ideal para la actividad productiva en el campo, donde la continuidad es

esencial, así como en centros turísticos rurales o también pequeñas industrias de producción que sufren de las fallas frecuentes en el abastecimiento eléctrico (Díaz, 2020).

Por otro parte, además del criterio del tipo de conexión, los sistemas fotovoltaicos se clasifican de acuerdo con la disposición técnica. En esquemas centralizados, los paneles fotovoltaicos se organizan en conjuntos de módulos que se interconectan a un único inversor, siendo una configuración que aplica a medianas o grandes escalas de generación, con estructuras simples y una distribución consolidada.

Además de su forma de conexión, los sistemas fotovoltaicos también se pueden clasificar según su configuración técnica. En los sistemas centralizados, los paneles solares se agrupan y se conectan a un solo inversor, siendo una opción bastante frecuente en grandes instalaciones fotovoltaicas y estructuras más sencillas. Por otro lado, los sistemas distribuidos, que emplean microinversores o inversores por cadena, permiten una mejor gestión energética, especialmente en condiciones de sombras por árboles, edificios o en techos con formas complejas, como los que suelen encontrarse en viviendas rurales o instalaciones agropecuarias que se han ido adaptando al crecimiento de las familias o las necesidades del agro.

Asimismo, en cuanto a su aplicación, existen sistemas orientados al autoconsumo residencial y comercial, sistemas comunitarios en forma de microrredes, y sistemas industriales de generación distribuida. En el contexto ecuatoriano, la entrada en vigor del acuerdo ARCONEL 004/2025 generó un nuevo escenario sumamente favorable para el desarrollo de sistemas de generación distribuida en especial todos aquellos sectores y usuarios que no están sujetos a regulación. Dicha normativa permite que sectores de explotación agrícola y ganadero, incluida la producción porcina y avícola, accedan a soluciones energéticas sostenibles y descentralizadas de

la red pública que fortalezcan la autonomía y sostenibilidad (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL), 2024).

2.8. Parámetros básicos de medición y cálculo en sistemas fotovoltaicos

El proceso de planificación, cálculo y evaluación de un sistema fotovoltaico requiere un conocimiento específico de múltiples variables y parámetros técnicos que van a influir en el desempeño operativo y la rentabilidad a largo plazo. Estas variables y parámetros vienen de las condiciones ambientales del lugar donde se instalará como las especificaciones técnicas de los equipos a considerar. La correcta interpretación de los parámetros es sin duda alguna determinante para garantizar la máxima eficiencia del sistema, lo cual es crítico en sistemas agropecuarios donde la energía debe mantenerse disponible sin interrupciones (González, 2020).

Dentro de las variables clave se encuentra la irradiancia solar, pues esta representa la cantidad de energía que proviene del sol y que incide en una superficie y que se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2) y constituye uno de los principales indicadores para poder conocer el posible potencial de generación del sistema fotovoltaico. Esta varía a lo largo del día y depende de factores como la nubosidad, la orientación de los paneles y la ubicación geográfica. Para el diseño de sistemas solares se consideran las condiciones estándar (STC), equivalentes a una irradiancia de 1000 W/m^2 y una temperatura de célula de 25°C . Además, para evaluar el recurso solar de una región, se utiliza la radiación solar media diaria, expresada en $\text{kWh/m}^2/\text{día}$.

Esta información puede obtenerse de plataformas confiables como PVGIS, Solargis, y el Atlas Solar del Ecuador, todas utilizadas habitualmente en estudios técnicos a nivel nacional e internacional (Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), 2017).

Otro parámetro clave es el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico, el cual debe adaptarse a la latitud del sitio para maximizar la captación de energía. En Ecuador, los ángulos óptimos varían entre 5° y 15°, permitiendo una captación relativamente uniforme durante todo el año (Valverde, 2020).

En cuanto a la evaluación de la energía generada, se aplica la fórmula:

$$E = P * HSP * PR$$

Donde:

- E es la energía generada (kWh/año),
- P es la potencia pico del sistema (kWp),
- HSP es la radiación solar media diaria (kWh/m²/día),
- PR es el rendimiento del sistema (entre 0.75 y 0.85 dependiendo de pérdidas).

Este cálculo permite obtener una estimación previa del potencial energético del sistema, lo cual es útil para dimensionar tanto la generación como el almacenamiento.

Los parámetros eléctricos de los paneles solares también son esenciales:

- El voltaje de circuito abierto (V_{oc}) corresponde al voltaje máximo sin carga.
- La corriente de cortocircuito (I_{sc}) indica el valor máximo de corriente sin carga.
- El voltaje y corriente en el punto de máxima potencia (V_{mp} e I_{mp}) corresponden al punto óptimo de operación.
- La potencia pico (P_{max}) refleje la máxima generación de potencia en condiciones estándar según el fabricante.

Esta información, presente en todas las fichas técnicas de los dispositivos, permiten definir la mejor conexión sea en serio o paralelo de los módulos y seleccionar componentes adecuados como lo son inversores y baterías. Es clave también considerar el factor de carga, puesto que este relaciona el consumo real con la capacidad de cargas instaladas, del mismo modo el factor de simultaneidad dada la premisa que no todas las cargas se conectan al mismo tiempo. Ahora bien en el caso de la hacienda es importante considerar el perfil de consumo diario que varía según las horas del día por las diferentes actividades operativas que se realizan de forma sistémica.

En sistemas con almacenamiento, es necesario calcular la energía útil diaria, es decir las cargas críticas, el tiempo de autonomía que necesitaremos las cargas y finalmente la profundidad de descarga (DoD) de las baterías, para asegurar un balance entre el respaldo y la duración de estas. La fórmula utilizada para el banco de baterías es:

$$Capacidad\ banco\ [Ah] = \frac{E_{critica}\ [kWh]}{V\ [v] \times DoD \times n}$$

$$E_{critica} = Potencia\ emergencia \times dias\ autonomia$$

Este parámetro es vital para evitar sobredimensionamiento y garantizar una vida útil óptima del sistema de almacenamiento.

Los coeficientes de pérdidas también deben ser incluidos en los cálculos: pérdidas por temperatura, por orientación no óptima, por suciedad en los paneles, pérdidas por cableado e inversores. En general, se considera una pérdida total entre 15 % y 25 % del potencial bruto, dependiendo de la calidad de instalación y mantenimiento (Castillo, 2021).

En Ecuador, la normativa establece que los sistemas fotovoltaicos deben cumplir con estándares de orden técnico a nivel internacional, entre ellos destacan la norma IEC 61215 que

avalúa el desempeño de los módulos fotovoltaicos, la IEC 61730 que está enfocada en la seguridad eléctricas de las instalaciones y finalmente el código NEC (National Electrical Code) 2020, adaptado por ARCONEL en su reglamentación para generación distribuida. En el Ecuador, la normativa vigente exige que las instalaciones fotovoltaicas cumplan con estándares técnicos internacionales como la IEC 61215 (pruebas de desempeño de módulos), la IEC 61730 (seguridad eléctrica) y la NEC 2020, adaptada por la ARCONEL en sus regulaciones técnicas para sistemas de generación distribuida.

Finalmente, todo proyecto en general y específicamente si es de energía renovable requiere un análisis de factibilidad económica que permita verificar la rentabilidad desde el punto de vista financiero, indicadores como el Valor Presente Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo en tiempo de retorno de la inversión (Payback) son fundamentales para sustentar las decisiones técnicas-financieras. Estos estudios no solo respaldan la presentación de proyectos ante instituciones o inversores, sino que aseguran la sostenibilidad económica del sistema en el tiempo, y de la mano de esta, la sostenibilidad energética y ambiental evitando emisión de gases de efecto invernadero por generadores a diésel o termoeléctricas.

En el contexto de granjas porcinas y avícolas, el manejo adecuado de estos parámetros contribuye a asegurar condiciones óptimas de alimentación, temperatura y salubridad para los animales, todo ello mediante una fuente energética limpia, confiable y alineada con los principios de sostenibilidad y cumplimiento normativo en el país.

2.9. Estudios previos en sistemas fotovoltaicos agropecuarios

En la actualidad, el interés por integrar energías renovables en el sector agropecuario ha ganado espacio en el interés de los agricultores y ganaderos, impulsado por la necesidad de reducir

la dependencia de la electricidad convencional, las permanentes fallas en el sistema y los costos operativos. La evidencia científica recopilada en diversos estudios nacionales y regionales demuestran que los sistemas solares fotovoltaicos son una solución energética eficiente y sostenible para sectores rurales dedicados a diferentes actividades productivas. Estas investigaciones constituyen antecedentes técnicos importantes para el desarrollo del presente proyecto, al mostrar que es posible aplicar estas tecnologías en la avicultura y la porcicultura.

Uno de los casos más representativos en el país fue desarrollado por (Zambrano J. V., 2020) quienes realizaron un estudio sobre el uso de energía solar en una granja avícola de Manabí. Su análisis reveló que, con un adecuado dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es posible cubrir hasta el 85 % del consumo energético mensual, además de reducir de forma considerable las emisiones contaminantes. Este resultado confirma que las soluciones solares pueden ser económicamente viables y ambientalmente responsables en instalaciones de pequeña y mediana escala.

Otro estudio importante, aunque desarrollado en un entorno urbano-residencial en el municipio de Chía, Colombia, fue el de (Rodríguez Manrique, 2015). A pesar de que su enfoque no fue agropecuario o ganadero, la metodología aplicada para el análisis técnico y financiero del sistema fotovoltaico resulta útil para esta investigación. En particular, su estimación del periodo de recuperación de la inversión, inferior a ocho años con incentivos estatales, y la evaluación detallada de la curva de carga diaria aportan elementos comparables para el análisis económico de este tipo de proyectos.

En el ámbito ecuatoriano, (Navas Herrera, 2021) desarrolló un estudio técnico-económico para la implementación de energía solar en la granja avícola “Avitrave”, analizando las características del consumo energético en procesos como la ventilación, la iluminación y la

alimentación automática. La propuesta incluyó un sistema fotovoltaico diseñado para cubrir una parte significativa de la demanda total, priorizando la adaptación del sistema no solo al nivel de irradiación solar disponible, sino también al perfil de carga horario, al clima tropical característico de la región y a la estacionalidad de la producción avícola.

En cuanto a sistemas aplicados al sector porcino, (Paredes, 2020) analizaron la factibilidad técnica y económica de implementar sistemas fotovoltaicos conectados a red en granjas porcinas ubicadas en zonas rurales del Perú andino. Su trabajo de investigación demostró que la eficiencia del sistema no solo depende de la irradiación solar disponible, sino también del perfil de carga diaria de las instalaciones existentes, principalmente por los sistemas de ventilación, bombas de agua y calefactores para lechones. Los resultados de dicho trabajo indicaron que asegurando una adecuada orientación de los paneles fotovoltaicos y aplicando rutinas de mantenimiento eficientes tendremos una disminución significativa en los costos operativos, al tiempo que reduce el uso de combustibles fósiles.

En el caso ecuatoriano, uno de los referentes relevantes es el sistema fotovoltaico implementado por la empresa Genera junto a la empresa Mundo Banana, ubicado en Chanduy, provincia de Santa Elena, con una capacidad instalada de 413,4 kWp fue diseñado para abastecer las necesidades de energía del sector agrícola, mejorando el uso eficiente de la energía evitando el uso de las fuentes tradicionales, por lo cual, esta experiencia evidencia la importancia del avance a prácticas sostenibles y autosuficientes en sectores rurales de nuestro país.

Así mismo, un análisis de los repositorios académicos de instituciones como la Universidad Técnica de Manabí, la Universidad de Guayaquil y la Universidad Técnica de Cotopaxi muestran el crecimiento en las investigaciones orientadas al uso de energía solar térmica o fotovoltaica en entornos agrícolas y ganaderos. Dichas publicaciones resaltan la importancia de adaptar los

sistemas a las condiciones particulares del agro, considerando variables adicionales como salinidad, polvo acumulado o el mismo ángulo de inclinación de los módulos, por sombras, árboles u otros objetos propios del ambiente campesino.

2.10. Marco legal

La normativa que regula el desarrollo de proyectos con energía renovables en el Ecuador se sustenta y motiva en una estructura compuesta por la Constitución, las leyes orgánicas y reglamentos técnicos especializados, y en algunos casos ordenanzas de Gobiernos Autónomos Descentralizados. Este marco legal beneficia y promueve el desarrollo de soluciones energéticas limpias lo cual permite la implementación en sectores vulnerables y relegados como el caso agropecuario.

En la Constitución de la República del Ecuador se establecen principios fundamentales para el desarrollo sostenible, siendo que el artículo 14 reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y equilibrado, incluyendo el acceso a energía limpia como parte del Buen Vivir. Además, el artículo 284 indica como uno de los objetivos de la política económica el cambio progresivo de la matriz energética, favoreciendo el uso de fuentes renovables de energía. Por su parte, el artículo 313 garantiza que los recursos energéticos son de propiedad del Estado, aunque su gestión puede realizarse en alianza con actores privados, siempre que se respeten los principios de soberanía y equidad territorial (Ecuador, Asamblea Nacional del, 2008).

La Ley Orgánica de Eficiencia Energética en su artículo 4, establece como política nacional la promoción de tecnologías que favorezcan el aprovechamiento de la energía, dando prioridad a la inclusión de fuentes renovables en todos los sectores productivos. Esta ley tiene relevancia en áreas rurales, donde las limitaciones en la infraestructura eléctrica exigen soluciones eficientes y

sostenibles. En tal virtud, la normativa obliga a instituciones públicas y privadas a adoptar estrategias de gestión energética que reduzcan el consumo y de esta forma mitigar los impactos ambientales, por tanto, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa válida y alineada con estos principios legales vigentes (Registro Oficial, 2019).

De forma complementaria, el Código Orgánico del Ambiente establece lineamientos orientados a minimizar la huella ecológica de las actividades económicas, mediante el uso de tecnologías limpias, por tanto, los sistemas fotovoltaicos se ajustan al cumplimiento de los estándares ambientales exigidos. Su artículo 187 establece la obligación de aplicar medidas de prevención, como el uso de energías renovables, lo cual se ajusta directamente al enfoque de esta tesis, al plantear una solución solar para la generación eléctrica en granjas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2018).

Desde el punto de vista técnico, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) desarrolló la norma INEN 2266, que especifica los requisitos para sistemas fotovoltaicos, tanto conectados a red como autónomos. Con esta información técnica se garantiza que los sistemas fotovoltaicos funcionen con altos estándares de seguridad, eficiencia energética e incrementen el tiempo de vida útil del equipamiento.

En 2021, el Ministerio de Energía y Minas actualizó el reglamento para la generación distribuida destinada al autoconsumo, regulando el proceso para que personas naturales o jurídicas puedan incorporar tecnologías solares sin requerir autorización previa de generación. El artículo 9 indica claramente que cualquier consumidor sujeto a regulación puede instalar un sistema fotovoltaico, siempre y cuando se respeten las condiciones técnicas respectivas. Esta disposición facilita la adopción de soluciones fotovoltaicas en unidades agropecuarias como el caso de la hacienda Miguel Alfredo.

Paralelamente, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) ha emitido algunas resoluciones orientadas a establecer criterios tanto técnicos como administrativos para conectar los sistemas de generación distribuida a la red pública. Las normas más actuales fueron aprobadas en el año 2024, reforzando las anteriores con un enfoque específico para zonas rurales y sectores de la producción.

- Resolución ARCONEL 004/2024, introduce esquemas de compensación económica, es decir, créditos o bonificaciones en dólares a la planilla que motivan la implementación de estos sistemas a nuevos usuarios por su viabilidad económica.
- Resolución ARCONEL-005/2024, amplía las categorías de beneficiarios, incorporando a pequeños productores agrícolas y ganaderos, así como el sector rural en general, simplificando los trámites de interconexión en zonas de difícil acceso.
- Resolución ARCONEL-010/2024: Introduce requerimientos de monitoreo y control periódico para estos sistemas, asegurando su correcta operación e integridad con la red eléctrica nacional.

Capítulo III: Marco Metodológico

3.1. Metodología

Esta investigación tiene como propósito central diseñar una solución energética sostenible mediante energía solar fotovoltaica, orientada a cubrir las necesidades de las naves de crianza y reproducción porcina y avícola de la empresa Agripornam S.A.S., ubicada en la comuna Limoncito. Para el desarrollo del presente estudio se adoptó una metodología con un enfoque cuantitativo, exploratorio y descriptivo, con un diseño no experimental puesto que no se implementará la propuesta. Esta combinación de metodologías permite entender el problema desde una visión objetiva y bien estructurada, sin alteración de las variables, pero con la posibilidad de analizar comportamientos en base a escenarios reales.

El enfoque cuantitativo es elegido debido a la capacidad para trabajar con información medible y que se puede verificar, indispensable para procesos de dimensionamiento técnico. A través de este enfoque se logra identificar, para en lo posterior, cuantificar las cargas eléctricas presentes y proyectadas en el futuro, evaluar el recurso solar en el sector y calcular los indicadores necesarios para determinar la máxima eficiencia del sistema, garantizando la rentabilidad. Se recopilarán datos específicos del sitio como condiciones climáticas, ubicación geográfica y características de las estructuras, utilizando herramientas reconocidas en ingeniería energética como Meteonorm y PVSyst, que permiten hacer simulaciones confiables y proyecciones técnicas (PVSyst S.A., 2022).

El carácter exploratorio de esta investigación responde a la necesidad de comprender la aplicabilidad de la energía solar en un entorno productivo rural con características particulares. Del mismo modo, el estudio se enmarca en el enfoque descriptivo pues tiene como finalidad generar una caracterización de los factores técnicos, económicos y ambientales todos ellos en

relación con la implementación del sistema. En este tipo de investigación no se interviene de forma directa sobre las variables, sino que se analizan tal como ocurren en la vida real, por tanto, valida la elección de un diseño no experimental según (Hernández, 2014).

En cuanto a la recopilación de la información, se utilizará el software Meteonorm como fuente más importante de datos climáticos requeridos. Esta herramienta consolida información de casi 7.500 estaciones meteorológicas a nivel mundial y permite generar estimaciones de forma precisa de variables como irradiancia solar, temperatura promedio, humedad relativa, entre otros que inciden en el desempeño y eficiencia del sistema. A nivel local, se validarán estos datos con registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2023).

Paralelamente, se levantará información sobre las cargas eléctricas reales de las instalaciones con el apoyo del personal técnico de la granja. Este diagnóstico permitirá conocer con precisión el perfil de demanda de energía en cada nave, considerando elementos clave como iluminación, ventilación, bombas de agua, automatización de comederos y equipos de limpieza.

También se analizará la estructura de las cubiertas para la instalación de módulos fotovoltaicos pues las mismas son existentes. En caso de que las condiciones físicas no sean adecuadas para soportar el peso o para una orientación eficiente, se propondrán alternativas de mejora y reforzamiento en las estructuras o sistemas de montaje a nivel del suelo en el peor de los escenarios.

Desde el punto de vista económico, se realizará un estudio de rentabilidad considerando indicadores antes mencionados como el Valor Presente Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo de retorno de la inversión (Payback). Este análisis tomará en cuenta precios actualizados de componentes fotovoltaicos con proveedores locales, costos de instalación con

mano de obra calificada, tarifas eléctricas actuales, y los beneficios económicos otorgados por políticas públicas o incentivos municipales que favorezcan la adopción de tecnologías renovables, en especial en el sector agropecuario.

Por último, se considerarán posibles impactos ambientales, tanto en lo visual como en lo ecológico. Se propondrán medidas de mitigación si fueran necesarias, bajo un enfoque de sostenibilidad y eficiencia energética. Este análisis se enmarca en las regulaciones nacionales vigentes en materia energética y ambiental.

3.2. Modelo de investigación

El modelo metodológico adoptado para esta tesis se basa en el enfoque de ingeniería de sistemas, una estrategia ampliamente utilizada para diseñar soluciones complejas como lo es un sistema fotovoltaico aplicado a granjas. Este enfoque se complementa con la lógica del ciclo de vida del proyecto, lo cual permite organizar de forma ordenada y completa todas las fases que intervienen en la planificación, diseño e implementación de la solución energética propuesta para la empresa Agripornam S.A.S.

Bajo esta visión, el problema se aborda como un conjunto de subsistemas que interactúan entre sí: evaluación del recurso solar, análisis de la demanda energética, dimensionamiento técnico, evaluación del sitio, simulación de producción eléctrica y análisis económico-ambiental. Cada una de estas etapas se abordó considerando las limitaciones técnicas, de infraestructura, ambientales y económicas, con el objetivo de ofrecer un análisis realista de su viabilidad.

El modelo metodológico propuesto se estructura en las siguientes etapas:

- Diagnóstico energético de la finca: recopilación detallada del consumo eléctrico de los equipos principales de las naves de crianza porcina y avícola, incluyendo ventiladores, luminarias,

bombas y sistemas de alimentación, para la elaboración de los perfiles de carga diarios que es fundamental para adaptar el diseño a las necesidades reales de consumo.

- **Análisis del recurso solar disponible:** gracias al uso de plataformas especializadas como Meteonorm, PVGIS y Global Solar Atlas, se obtienen datos de la radiación solar en la zona de la comuna Limoncito para proyectar la generación a lo largo del año.
- **Simulación y cálculo del sistema:** mediante el uso del software PVSyst se analizan distintas alternativas de configuración, es decir, sistemas conectados a la red, autónomos u opciones híbridas. La simulación facilita la estimación de la producción anual de energía, identifica pérdidas de los paneles e inversores como las de temperatura, sombra u orientación, y calcula el rendimiento del sistema.
- **Estudio del sitio y planificación de instalación:** analizar variables como la inclinación y orientación óptimas de los paneles, condiciones estructurales de las cubiertas y sus alrededores, accesibilidad al sitio para montaje, riesgos de sombreado y disponibilidad del espacio requerido para la instalación son de suma importancia para un correcto dimensionamiento de equipos.
- **Evaluación económica:** Se lleva a cabo un análisis financiero de largo plazo, entre 20 a 25 años, aplicando indicadores como el Valor Presente Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión (payback). Se consideran los precios actuales de los equipos, costos de instalación, operación y mantenimiento, así como los beneficios económicos por ahorro en la planilla de consumo eléctrico.
- **Validación del modelo:** Finalmente, la propuesta será contrastada con experiencias similares que hayan tenido éxito en el país o en la región. Esto permitirá verificar que la solución

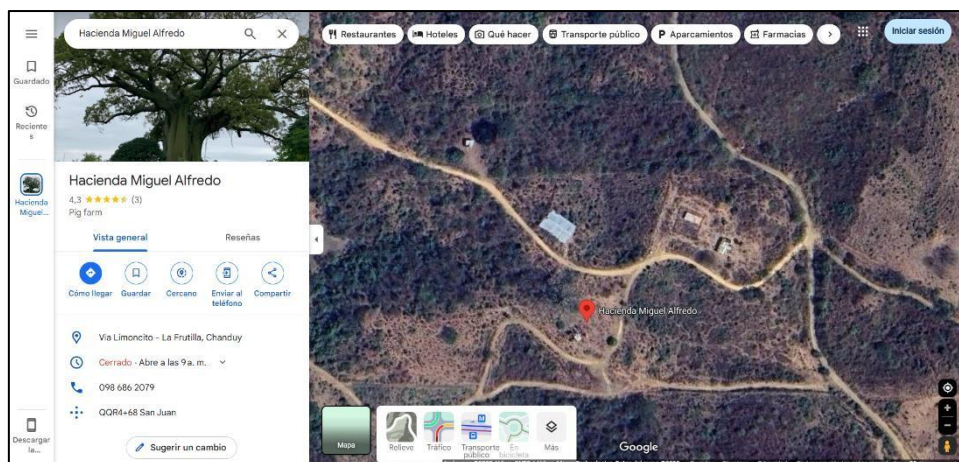
propuesta no solo es viable en términos técnicos y económicos, sino también en otros contextos productivos rurales.

Este modelo metodológico permite alcanzar de forma estructurada los objetivos del estudio, asegurando la sinergia entre el diagnóstico, el diseño técnico y la evaluación financiera, dejando una base para que otros proyectos similares puedan apoyarse en este enfoque y adaptarlo a sus propias condiciones.

3.3. Descripción general de la finca

La Hacienda Miguel Alfredo está ubicada en la comuna Limoncito, perteneciente a la parroquia rural Julio Moreno, en el cantón Chanduy, la cual se extiende sobre un terreno superior a las diez hectáreas y se sitúa en una zona con clima cálido semiárido, caracterizado por temperaturas medias anuales que oscilan entre los 24 °C y 30 °C. El lugar presenta bajos niveles de precipitación y una elevada disponibilidad de radiación solar durante todo el año, lo cual constituye un factor favorable para la implementación de generación fotovoltaica (The World Bank Group, 2023).

Ilustración 9 Ubicación georreferenciada Finca Miguel Alfredo según Google Maps



Fuente: (Google Maps, 2025).

La finca combina actividades pecuarias y agrícolas, siendo su actividad principal la crianza y reproducción de cerdos y aves de corral. El acceso a la finca una vez que nos encontramos en Limoncito es por la vía a la Frutilla, aproximadamente a 1200 metros desde este punto. Sus coordenadas corresponden a:

Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)
Grados Decimales (DD)		
Latitud	Longitud	145
-2.209259	-80.244165	

Tabla 3 *Coordenadas en grados decimales y altitud de Finca Miguel Alfredo*

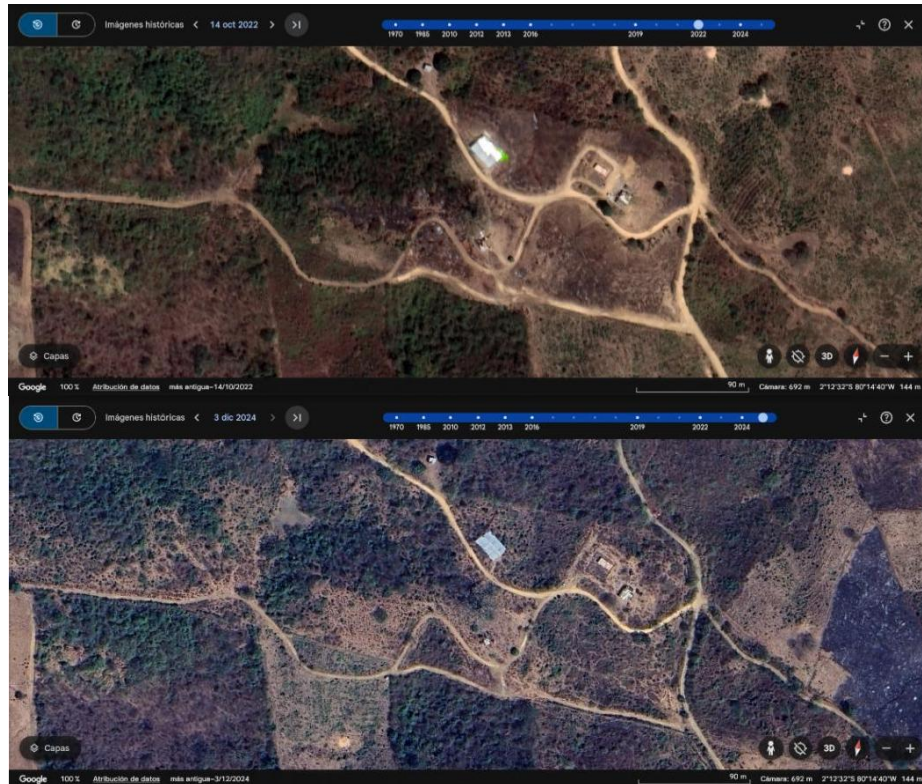
Autor: (Google Earth, 2025)

Actualmente dispone de una nave de crianza porcina con una bodega de insumos, una segunda nave para la producción avícola y una vivienda de apoyo operativo, así como el desarrollo de un área agrícola destinada al cultivo de maíz, soya y gramíneas, con el propósito de elaborar balanceado animal y tener soberanía alimentaria.

De acuerdo con el modelo de producción propuesto, se utiliza de forma intensiva y planificada el terreno, mediante la distribución en tres zonas funcionales principales:

- Bloque para crianza porcina de aproximadamente 290 m² existente y en operación,
- Bloque para producción avícola actual provisional pero proyectado de 290 m², y
- Bloque de vivienda de 70 m² destinado a convivencia y labores administrativas de apoyo.

Ilustración 10 *Finca Miguel Alfredo estado inicial año 2022 y actual 2024*



Fuente: (Google Earth, 2024).

En el área agrícola junto a la vivienda y a la nave de crianza de aves, se prevé incorporar equipos eléctricos adicionales como motores para riego, sistemas de trituración y mezclado de alimento para elaborar balanceado, luminarias, entre otros que complementarán la operación.

Ilustración 11 *Nave de reproducción, crianza y engorde de cerdos.*



Fuente: (Autor, 2024).

Ilustración 12 *Nave de reproducción, crianza y engorde de pollos*



Fuente: (Autor, 2024).

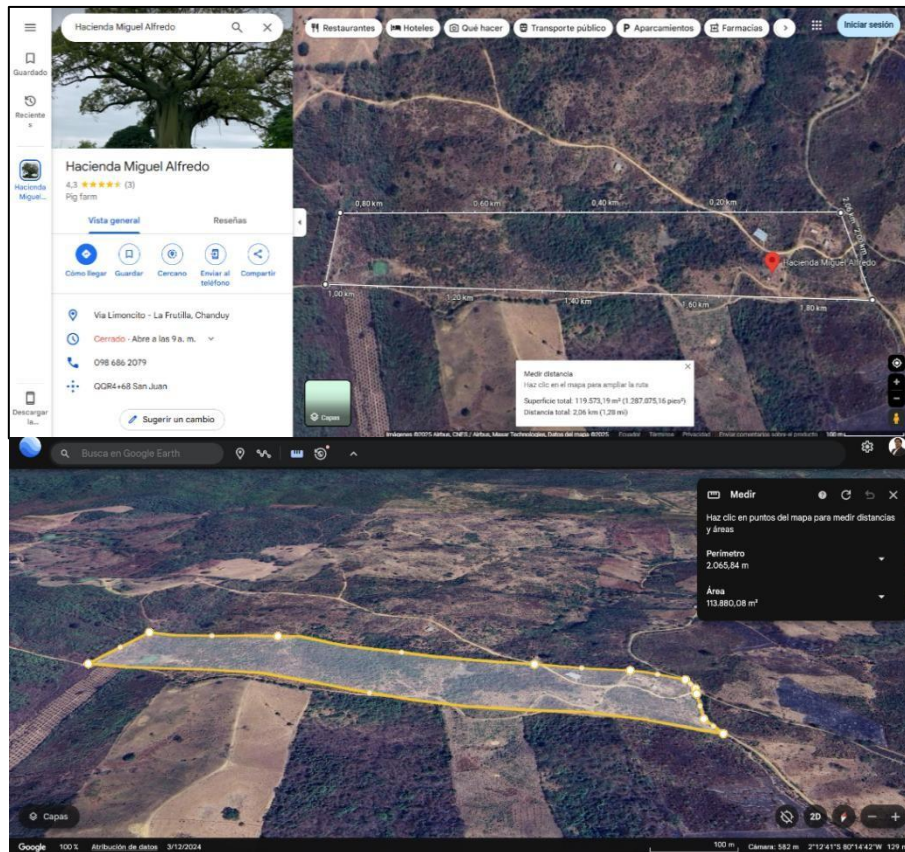
Ilustración 13 *Vivienda destinada para trabajadores y organización operativa*



Fuente: (Autor, 2024).

Este modelo de gestión responde a una estrategia de producción sostenible en la cual se prioriza el uso de los recursos, reduce la dependencia de insumos externos y permite mejorar los indicadores de eficiencia, no obstante, la Hacienda Miguel Alfredo enfrenta limitaciones realmente complejas debido a un servicio eléctrico inestable provisto por la red pública, lo que afecta directamente la continuidad de los sistemas automatizados de alimentación, bombeo de agua, ventilación y conservación por refrigeración de insumos médicos para los animales.

Ilustración 14 Superficie total de la Hacienda Miguel Alfredo (11,9 Ha)



Fuente: (Google Maps, 2025).

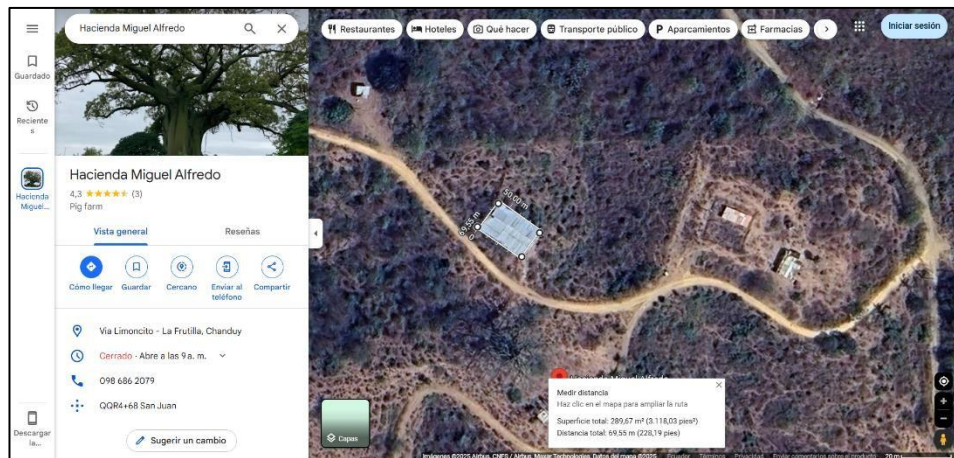
3.4. Nave de crianza y engorde de cerdos

3.4.1. Infraestructura por zonas

La nave porcina de la finca Agripornam S.A.S. tiene una estructura rectangular de 12 metros de ancho por 23 metros de fondo, lo que equivale a una superficie construida de 276 m². Su diseño responde a un modelo de producción intensiva de ciclo completo, lo que significa que se manejan todas las etapas del proceso, desde la gestación de las cerdas hasta la fase final de engorde para venta. Esta infraestructura ha sido pensada para facilitar el manejo sanitario, optimizar el trabajo del personal y asegurar condiciones de bienestar animal, teniendo en cuenta

el clima cálido y húmedo de la costa ecuatoriana (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019).

Ilustración 15 Superficie de la nave de crianza y engorde de cerdos (276 m²)



Fuente: (Autor, 2024).

A continuación, describimos la distribución funcional interna de la nave destinada a la producción porcina:

a) Área de gestación y maternidad: esta primera sección está ubicada en el primer tercio del espacio útil del galpón, siendo el punto de mayor cuidado por parte de los trabajadores por poseer a las cerdas en gestación y las crías recién paridas, se albergan de seis a ocho cerdas y están ubicadas en una estructura individual para el parto. Las instalaciones están construidas en hormigón con superficies antideslizantes, incorporando rejillas en la sección destinada a los lechones, lo cual mejora las condiciones sanitarias por sus excreciones y reduce el riesgo de lesiones por sus pequeñas pezuñas. El diseño está basado en prevenir accidentes como que la madre pueda aplastar las crías, y facilitar el acceso para alimentación dedicada, monitoreo y asistencia veterinaria.

Ilustración 16 *Cerdas en lactancia con sus lechones*



Fuente: (Autor, 2024).

El pasillo central está diseñado para el ingreso seguro del personal para actividades de alimentación, en caso de ser necesarias pues existen sistemas automáticos, revisión de los cerdos y limpieza de los espacios, está construido con bloques tratados con una capa de pintura impermeabilizante para mejorar la durabilidad y facilitar la limpieza. El diseño estructural favorece la circulación de aire mejorando las condiciones de temperatura, siendo agradables al interior, disminuyendo el uso de ventilación forzada. Como complemento, la instalación de comederos automáticos individuales para cada cerda y bebederos tipo chupón optimizan el uso del agua al suministrarla únicamente cuando el animal lo requiere, evitando desperdicios siendo un recurso limitado por la ubicación de la Hacienda Miguel Alfredo.

b) Zona de destete y recría: situada en la sección intermedia de la nave, entre gestación y maternidad con la zona de engorde, destinada al alojamiento de los lechones recién separados de las cerdas, generalmente entre la tercera y cuarta semana de edad. Construido con módulos de concreto y divisiones con estructuras metálicas galvanizadas que facilitan la higiene y resistencia.

El piso es ranurado con sistema de drenaje para una evacuación eficiente de excretas y contribuye al control sanitario.

Los corrales están diseñados según la densidad animal óptima para reducir niveles de estrés y fomentar un desarrollo adecuado, cuentan con comederos y bebederos automáticos, lo que garantiza la provisión continua con accesos para labores de limpieza, manejo y supervisión veterinaria. En uno de los extremos de esta área se considera una salida directa al exterior para facilitar el traslado de los animales o actividades complementarias.

Ilustración 17 *Lechones en proceso de destete*



Fuente: (Autor, 2024).

c) Zona de engorde: ubicada en el tercio final del galpón está destinada al alojamiento de los cerdos a partir de las 10 semanas de edad, etapa en la que se inicia su preparación para alcanzar el peso óptimo de comercialización, distribuidos en corrales de gran tamaño, delimitados por paredes resistentes de bloque lo que garantiza la durabilidad de la instalación. El contrapiso es de hormigón con una pendiente leve que facilita la limpieza hacia canales que llegan a un sistema externo de gestión de residuos, como un pozo séptico o compostaje.

Ilustración 18 *Cerdos adultos en etapa de engorde*



Fuente: (Autor, 2024).

Para facilitar los alimentos a los cerdos, se aprovecha la tecnología vigente mediante un sistema automático que enlaza los silos de balanceado en el exterior de las naves y transporta el producto por conductos, descargando el balanceado en los comederos de cada uno de los corrales. Ahora bien, para la dotación de agua potable, se utiliza bebederos con válvulas de retención para facilitar flujo continuo y evitar pérdidas por fugas. Los corredores internos están diseñados que los animales puedan moverse libremente, así se reduce el estrés y la manipulación.

d) Zona técnica y de apoyo: junto a la entrada principal de la nave se reserva un espacio funcional para diversas actividades de soporte. Aquí se ubica una pequeña bodega destinada al almacenamiento de insumos veterinarios y medicamentos, un lavadero para limpieza de equipos, así como un área para herramientas de uso cotidiano. También se incluye una zona técnica donde se instalarán los tableros eléctricos, interruptores, protecciones y cuadros de control del sistema.

3.4.2. *Sistemas de alimentación y agua*

El sistema de abastecimiento de alimento y agua en la nave porcina ha sido diseñado para ofrecer un suministro constante, limpio y eficiente en cada etapa del ciclo productivo, desde la maternidad hasta el engorde. Su operación se basa en principios de automatización básica, con el fin de reducir el esfuerzo manual, minimizar el desperdicio y mejorar la conversión alimenticia.

a) Alimentación por etapas

- **Maternidad y gestación:** Las hembras reproductoras reciben alimento en comederos individuales metálicos de 15 a 20 litros, fijados al piso o a la pared con pernos de expansión, pues de esta forma permite suministrar raciones específicas, adaptadas al estado de cada cerda, también puede ser mediante una tolva alimentadora, no obstante, se sugiere el método manual a dotar mediante prescripción del veterinario.
- **Destete y recría:** Los lechones se alimentan a través de comederos lineales elaborados en materiales resistentes como acero inoxidable o galvanizado con bordes especiales para evitar el desperdicio de alimento, pero también para mantener la higiene dentro del corral. Se promueve el consumo grupal, y en algunas fases se utilizan platos de iniciación para balanceado peletizados de menor tamaño.
- **Engorde:** Se implementará un sistema automatizado tipo espiral conectado a un silo externo de 3 a 5 toneladas. El alimento se distribuye por tuberías hacia los comederos mediante un mecanismo rotativo, regulado por temporizadores o sensores de nivel. Este sistema reduce la carga de trabajo (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 2006).

b) Suministro de agua: toda la instalación está conectada a una red hidráulica presurizada, cuya fuente principal es una cisterna centralizada junto a la vivienda de los trabajadores, mediante

tuberías PVC de alta presión y una bomba eléctrica se permite la transportación del agua a los puntos de consumo a lo largo de 175 metros lineales aproximadamente.

- Maternidad: Cada módulo de parto contará con bebederos tipo chupón, activados por presión o contacto de los cerdos asegurando un suministro de agua limpia lo cual reduce las pérdidas por derrame. También se incluyen minibebedores accesibles para los lechones.
- Destete y recría: Cada corral contará con dos o tres bebederos tipo válvula, de fácil activación, adaptados en altura al crecimiento de los animales.
- Engorde: Se instalarán bebederos automáticos tipo nipple o válvula antirretorno, a razón de uno por cada 10 a 12 cerdos, conectados a una línea hidráulica principal. También se incluirán grifos auxiliares en los pasillos para facilitar la limpieza.

Este diseño garantiza un suministro constante, higiénico y adaptado al peso y necesidades de los animales, cumpliendo con los estándares de bienestar animal y eficiencia en zonas cálidas (Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) - Colombia, 2015)

3.5. Nave de crianza de pollos de engorde

La nave avícola de la finca está diseñada para la cría intensiva de pollos de engorde de línea pesada, bajo un modelo de ciclo cerrado. La estructura prevista tendrá una superficie total de 16 x 16 metros (256 m²), aunque actualmente se encuentra en funcionamiento una sección inicial que abarca cerca de un tercio del área proyectada. Esta parte fue construida de forma artesanal, utilizando madera tratada, soportes metálicos reciclados y cubierta de steel panel acanalado, lo que ha permitido su uso provisional para pequeños lotes de aves.

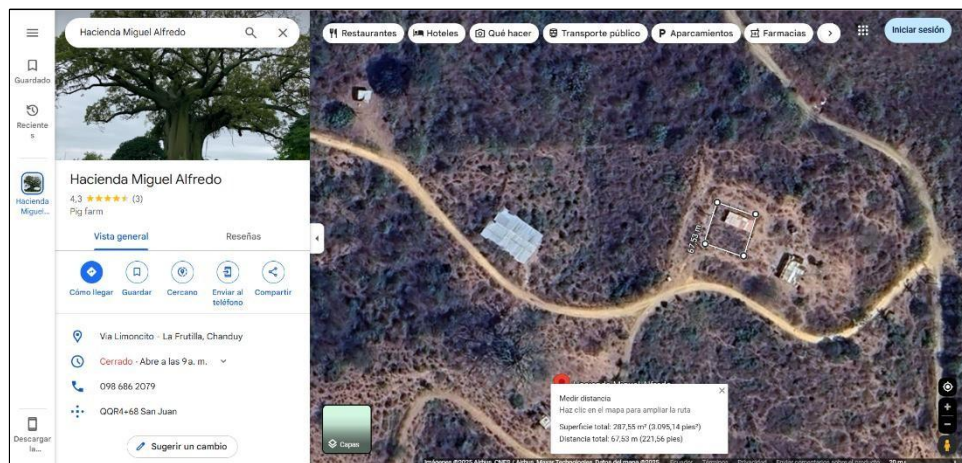
Ilustración 19 *Pollos en crecimiento y engorde*



Fuente: (Autor, 2024).

La ampliación busca establecer un sistema tecnificado para la cría de hasta 1.200 pollos de engorde por ciclo, organizados en corrales abiertos internos según su edad y desarrollo. La nave será modular y adaptada al clima local, priorizando la ventilación natural, la reducción del estrés térmico y la facilidad en las labores de manejo y limpieza.

Ilustración 20 *Superficie de la nave de crianza y engorde de aves (256 m²)*



Fuente: (Autor, 2024).

El diseño funcional de la nave incluye:

a) Piso e instalaciones internas: el piso será de concreto pulido con pendiente central para facilitar el drenaje hacia canales laterales. Se usará viruta de madera o cáscara de arroz como cama absorbente, siguiendo recomendaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Las divisiones internas serán móviles, permitiendo ajustar la densidad según la etapa del ciclo productivo.

b) Ventilación y protección climática: las paredes contarán con cortinas plásticas enrollables tipo black-out para controlar luz y ventilación cruzada. Se incluirán aberturas en la cumbrera para mejorar la convección natural. La orientación noreste-suroeste busca aprovechar los vientos predominantes.

c) Sistemas de alimentación y agua: se instalarán líneas de comederos automáticos tipo plato y bebederos tipo nipple suspendidos, con ajuste de altura. Ambos sistemas se conectarán a un silo externo de 2 toneladas, desde el cual el alimento se distribuirá por espiral en tubos de PVC. Se estima una línea cada 20 a 25 metros.

d) Iluminación: la nave tendrá iluminación LED protegida contra humedad y polvo, ubicada a 2.5 m del suelo. Se empleará un temporizador para controlar los ciclos lumínicos, con refuerzo en etapas de crecimiento inicial.

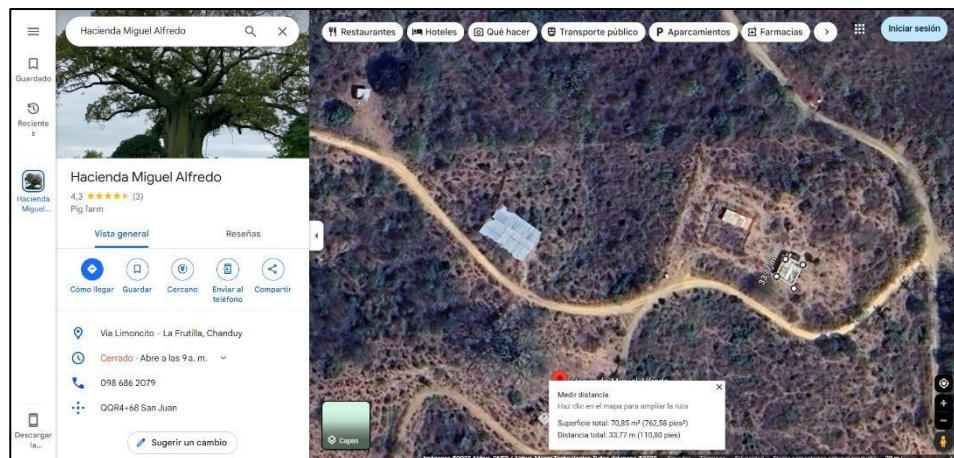
e) Área técnica y de transición: junto a la entrada se ubicará una zona técnica con bodega de insumos, almacén de limpieza y área de descanso para el operador. Desde allí se supervisarán los equipos automáticos y se controlarán las condiciones internas. Se prevé conexión futura al sistema fotovoltaico con cuadro de distribución independiente.

3.6. Vivienda del personal operativo

Dentro del predio de la finca, se encuentra una vivienda con una superficie aproximada de 70 m², construida en una ubicación estratégica cercana a las áreas de producción. Esta vivienda sirve como residencia del personal técnico de la finca, y también como punto de apoyo administrativo, logístico y de seguridad durante las 24 horas del día.

La estructura de la vivienda es de tipo tradicional para zonas rurales ecuatorianas, construida con bloques de hormigón y cubierta de zinc o steel panel, sobre una platea de concreto simple, y provista de una pequeña pérgola o galería frontal. El diseño incluye dos dormitorios sencillos con espacio para cama, armario y ventilación natural, un baño completo, con ducha, inodoro y lavamanos, área de cocina integrada con mesón de concreto y fregadero y una sala-comedor común.

Ilustración 21 Superficie de la vivienda rural de operaciones (256 m²)



Fuente: (Autor, 2024).

En cuanto a servicios básicos, la vivienda está conectada a una cisterna de agua central, desde la cual se bombea el recurso hacia su sistema interno. La disposición del baño y cocina

permite un uso eficiente del agua y de los desagües, que son evacuados hacia un pozo séptico ubicado en la parte posterior del terreno.

3.7. Zonas adicionales proyectadas

a) Elaboración de Balanceados: como parte de la estrategia de sostenibilidad agropecuaria se ha previsto la instalación de una planta artesanal para la elaboración de alimento balanceado, ubicada junto a la nave avícola y la vivienda operativa. Esta sección de la Hacienda Miguel Alfredo se destinará para procesar gramíneas como maíz, soya y otros cultivos para la elaboración del balanceado, alimento imprescindible para el crecimiento saludable y engorde de los cerdos y aves, de esta forma se disminuirá los costos de compra a proveedores externos garantizando también mejor nutrición para los animales y que la instalación tenga autosuficiencia productiva.

La infraestructura se divide en secciones: la recepción y pre-secado de las gramíneas, área de molienda con un molino de martillos, área de mezcla de ingredientes según porciones de la tabla nutricional y la etapa del cerdo, y finalmente una bodega de almacenamiento. Un punto de agua que estará integrado con la cisterna central y la vivienda para facilitar las labores de limpieza.

b) Viviendas Futuras para Socios: como parte del crecimiento planificado, se construirá un pequeño complejo habitacional destinado a los socios de la empresa. Estas viviendas se ubicarán a una distancia aproximada de 100 metros desde la nave porcina serán entre dos a tres casas con superficies que oscilen entre 60 y 75 m² que contarán con ambientes básicos como dormitorio, baño completo, cocina y área de lavandería ambas externas.

Estas se conectarán tanto al sistema hidráulico como al eléctrico existente para las otras áreas y serán abastecidas mediante un sistema fotovoltaico central para todas las unidades de

vivienda. Además, dispondrán de iluminación, tomacorrientes para ciertos dispositivos y refrigeración, lo que permitirá una habitabilidad adecuada y autosuficiente.

3.8. Bombas de agua y sistemas de alimentación

a) Bombeo de agua y cisterna central: según la descripción de la finca tenemos las siguientes longitudes entre las líneas de alimentación a cada sección desde la cisterna central: a) distancia a nave porcina: 175 m, b) distancia a nave avícola: 70 m, y c) distancia a vivienda: 10 m. En función de estas distancias la presión requerida debe ser mayor o igual a 2.5 bares para el buen funcionamiento de bebederos y duchas con una altura estimada del sistema entre 3 a 4 m, por lo tanto, se debe instalar una bomba centrífuga de 1.5 HP, con tanque hidroneumático.

b) Motor de alimentación automática tipo espiral: en las naves porcinas y avícolas se menciona un sistema de alimentación tipo espiral motorizado conectada a un silo central. Para granjas con más de 200 animales, este tipo de motor suele tener una potencia de entre 0.75 HP y 1 HP, especialmente si se tiene más de 10 metros de línea y múltiples salidas, opera en ciclos programados de 10 a 15 minutos, 2 a 3 veces por día.

c) Bombas de limpieza y desinfección: para limpieza a presión en galpones, tanto pisos y drenajes, lo adecuado es utilizar bombas tipo hidrolavadora agrícola de al menos 1.0 HP (750 W), resistentes al polvo y humedad que soporte un uso estimado de 1 a 2 horas por jornada de limpieza.

Capítulo IV: Resultados y Análisis

4.1. Caracterización técnica de los subsistemas

El análisis de las cargas eléctricas es, sin lugar a duda, una de las fases críticas dentro del proceso de diseño del sistema fotovoltaico, pues permite determinar con claridad la cantidad, el tipo y la forma de consumo energético de cada uno de los equipos que funcionan en las instalaciones.

Para ello, se ha elaborado un inventario que incluye todos los dispositivos eléctricos presentes en cada subsistema como aquellos planificados para su futura incorporación, considerando en cada caso su potencia nominal y el tiempo promedio de funcionamiento diario.

Esta información ha sido organizada en tablas que permiten visualizar el consumo estimado por área, facilitando el cálculo de la demanda total y la clasificación de cargas críticas, prioritarias y no prioritarias, en función de su impacto en la continuidad de las actividades.

Las cargas se han estimado en función de la carga existente en la Hacienda Miguel Alfredo y las proyecciones indicadas en el presente documento, así como los requerimientos estándar en zonas rurales, considerando eficiencia energética, disponibilidad tecnológica local y condiciones climáticas.

Adicional, las cargas en **negrita** representan las cargas críticas para ser consideradas más adelante en el dimensionamiento de los bancos de baterías, del mismo modo las cargas remarcadas con (*) se consideran al 50% del total de dispositivos como cargas críticas.

4.1.1. Subsistema porcino

Equipo técnico	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Horas de uso diario	Demanda mensual (kWh)
Luminarias LED 40W IP65 *	12	40 W	480 W	12 h	172,80 kWh
Calefactores infrarrojos cerámicos	2	250 W	500 W	4 h	60,0 kWh
Extractor Ø300 mm *	2	80 W	160 W	6 h	28,8 kWh
Extractor Ø500 mm *	2	250 W	500 W	6 h	90,0 kWh
Comederos automáticos c/sensor *	18	30 W	540 W	4 h	64,8 kWh
Bebedores automáticos con electroválvula *	34	15 W	510 W	4 h	61,2 kWh
Bomba de agua 1½” HP	1	1100 W	1100 W	2 h	66,0 kWh
Sistema de alimentación tipo espiral *	2	750 W	1500 W	3 h	135,0 kWh
Refrigeradora vertical 120 L	1	120 W	120 W	8 h	28,8 kWh
Iluminación técnica LED 20W	2	20 W	40 W	12 h	14,4 kWh
Lavadora de botas con motor rotativo	1	500 W	500 W	1 h	15,0 kWh
Bomba de limpieza 1 HP (750W)	1	750 W	750 W	2 h	45,0 kWh
TOTALES			6.700 W		781.80 kWh

Tabla 4 Caracterización de cargas de Nave Porcina

Fuente: (Autor, 2025)

4.1.2. Subsistema avícola

Equipo técnico	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Horas de uso diario	Demanda mensual (kWh)
Luminarias LED 40W tipo IP65 *	10	40 W	400 W	14 h	168,0 kWh
Extractores Ø400 mm *	4	200 W	800 W	6 h	144,0 kWh
Línea de bebederos con electroválvula *	12	15 W	180 W	4 h	21,6 kWh
Bomba de agua 1” HP	1	750 W	750 W	2 h	45,0 kWh
Comederos automáticos con sensores *	8	30 W	240 W	4 h	28,8 kWh
Motor espiral para alimentación	1	750 W	750 W	2 h	45,0 kWh
TOTALES			3.120 W		452,40 kWh

Tabla 5 Caracterización de cargas de Nave Avícola

Fuente: (Autor, 2025)

4.1.3. Subsistema vivienda

Equipo técnico	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Horas de uso diario	Demanda mensual (kWh)
Luminarias LED 20W (interior y exterior)	6	20 W	120 W	6 h	21,6 kWh
Tomacorrientes generales (uso mixto, sin carga fija) *	4	150 W	600 W	2 h	36,0 kWh
Refrigeradora doméstica 240 L	1	200 W	200 W	8 h	48,0 kWh
Ventiladores pedestal	2	80 W	160 W	8 h	38,4 kWh
Bomba de agua periférica 1/5” HP	1	375 W	375 W	2 h	22,5 kWh
TOTALES			1.455 W		166,5 kWh

Tabla 6 Caracterización de cargas Vivienda Operativa

Fuente: (Autor, 2025)

4.1.4. Zona de elaboración de balanceado (proyección futura)

Equipo técnico	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Horas de uso diario	Demanda mensual (kWh)
Molino de martillos (capacidad: 1 t/h)	1	1.500 W	1.500 W	2 h	90,0 kWh
Mezcladora vertical (500 kg)	1	1.000 W	1.000 W	2 h	60,0 kWh
Motor descarga de silo	1	750 W	750 W	2 h	45,0 kWh
Iluminarias LED 20W	4	20 W	80 W	6 h	14,4 kWh
TOTALES			3.330 W		209,4 kWh

Tabla 7 Caracterización de cargas futuras de elaboración de balanceado

Fuente: (Autor, 2025)

4.1.5. Viviendas para socios (proyección futura)

Equipo técnico	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	Horas de uso diario	Demanda mensual (kWh)
Luminarias LED 20W (interior y exterior)	8	20 W	160 W	6 h	28,8 kWh
Tomacorrientes generales (uso mixto)	4	150 W	600 W	2 h	36,0 kWh
Refrigeradora doméstica	1	200 W	200 W	8 h	48,0 kWh
Ventilador de pedestal	1	80 W	80 W	8 h	19,2 kWh
TOTALES			1.040 W		132,0 kWh

Tabla 8 Caracterización de cargas futuras de vivienda para socios (unitaria)

Fuente: (Autor, 2025)

4.2. Curva horaria de demanda por subsistemas

La curva representa gráficamente la variación del consumo eléctrico a lo largo del día para cada subsistema (porcino, avícola y vivienda operativa), permitiendo identificar los picos de demanda, los horarios de mayor y menor consumo, y los patrones de uso según la actividad productiva. Esta información resulta clave para dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico, optimizar el uso de baterías y proponer estrategias de eficiencia energética adaptadas a la dinámica real de la finca.

Para esto se realizará una interpretación de la gráfica obtenida según el análisis técnico ejecutado y por las necesidades de las naves de crianza:

a) Subsistema porcino:

00:00 a 04:00: durante estas horas la actividad animal es mínima, pero se mantienen activos los bebederos automáticos (8 unidades en maternidad, 12 en recría, 14 en engorde) y algunos extractores, especialmente en maternidad y recría, para evitar condensación. La iluminación en modo nocturno permanece encendida en todas las zonas para garantizar visibilidad y control de ambiente. El consumo se mantiene 0,8 kWh/hora.

05:00 a 07:00: se inicia la jornada operativa con el encendido de comederos automáticos con sensores (8 en maternidad, 10 en recría) y sistemas de ventilación cruzada. En engorde, se activan también extractores industriales y parte del sistema de alimentación. Se utiliza agua para aseo con bombas periféricas. La iluminación está totalmente encendida dentro de los galpones incrementándose hasta 0,9 kWh.

08:00 a 10:00: durante este intervalo tenemos el primer pico de carga del día pues se enciende la calefacción en el área de maternidad, en especial cuando tenemos crías recién nacidas.

Al mismo tiempo en la zona de engorde, los motores del sistema de alimentación automática operan a máxima capacidad y las bombas de agua destinadas a la limpieza entran en funcionamiento. La demanda de agua, ventilación forzada y alimentos se mantiene en su punto más alto entre 1,0 y 1,5 kWh por hora.

11:00 a 14:00: durante estas horas, el consumo se estabiliza, los calefactores se apagan, los extractores y bebederos automáticos siguen en funcionamiento, el requerimiento energético descende levemente, ubicándose en un promedio de 0,8 kWh por hora.

15:00 a 17:00: en este intervalo se reduce la actividad operativa pues se apagan los motores de alimentación y bombeo, aunque continua el funcionamiento de los sistemas de bebederos. La carga disminuye en comparación con las horas pico de la mañana. La zona administrativa realiza tareas menores. El consumo baja a 0,6 kWh/hora.

18:00 a 20:00: segundo pico moderado. Se reactivan líneas de alimentación automática para segunda ración del día. La iluminación se enciende completamente, y los extractores trabajan por el calor acumulado en la estructura. La demanda sube a 0,8 kWh/hora.

21:00 a 23:00: finaliza la jornada operativa. Se apagan motores y extractores, permanecen los bebederos activos, iluminación nocturna y sistemas de ambiente. Consumo en 0,4 kWh/hora.

b) Subsistema avícola:

00:00 a 04:00: el sistema mantiene iluminación en modo nocturno. Se activa ventilación mínima con extractores en modo intermitente. La demanda se mantiene en 0,3 kWh/hora.

05:00 a 07:00: se incrementa la actividad al iniciar alimentación automática y la operación de comederos. Se restablece la ventilación cruzada y se incrementa la iluminación a nivel total. Se alcanza un consumo de 0,5 a 0,6 kWh/hora.

08:00 a 10:00: pico máximo. Toda la iluminación permanece encendida. Funcionan los extractores, comederos automáticos, bebederos y el motor espiral. Este es el momento más exigente para el sistema, con una demanda que alcanza hasta 0,8 kWh/hora.

11:00 a 14:00: la operación se estabiliza con funcionamiento continuo de extractores y alimentación automática. Las aves están en su fase más activa y la necesidad de ventilación es alta. Se mantiene un consumo sostenido de 0,7 kWh/hora.

15:00 a 17:00: ligera disminución del consumo. Se apagan temporalmente motores de alimentación. La iluminación permanece encendida. La demanda baja a 0,6 kWh/hora.

18:00 a 20:00: aves se agrupan para descanso. Baja actividad. Se reduce iluminación y ventilación. Solo operan sistemas básicos. Demanda en 0,4 kWh/hora.

21:00 a 23:00: actividad mínima. Solo iluminación tenue y agua. La curva desciende a niveles de 0,3 kWh/hora.

c) Subsistema vivienda

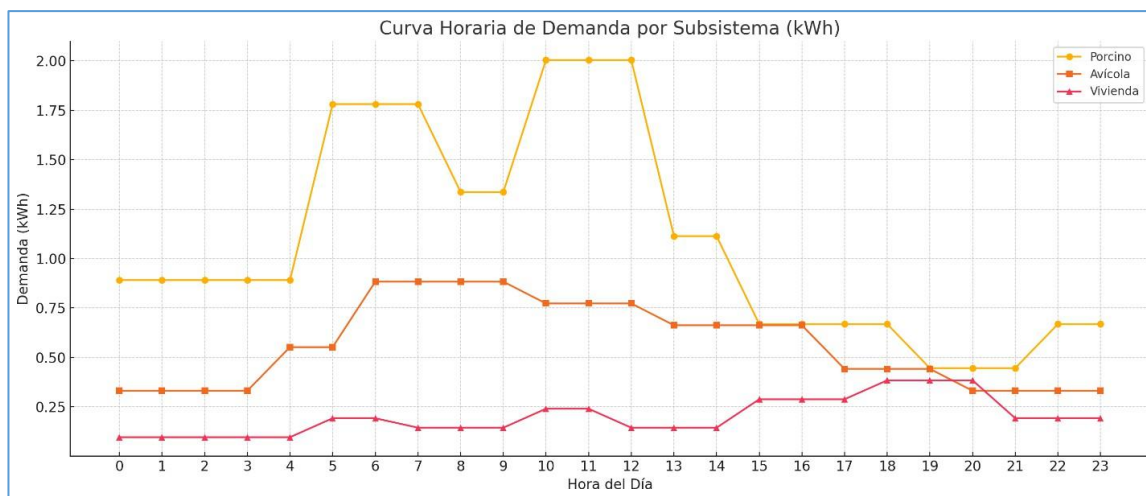
00:00 a 04:00: consumo mínimo. Solo la refrigeradora y posiblemente un ventilador están activos. La demanda es baja y constante 0,1 kWh/hora.

05:00 a 07:00: inicio de la jornada. Se encienden luces, tomacorrientes para cafetera, cargadores o radios. Uso de ventiladores. El consumo se eleva a 0,2 kWh/hora.

08:00 a 17:00: actividad doméstica baja, personal laborando. Posiblemente se apagan ventiladores si la temperatura es fresca. El consumo se reduce a 0,15 kWh/hora.

18:00 a 23:00: segundo pico fuerte. Luces encendidas, electrodomésticos menores y ventilación activa. Posiblemente se cocine. Dispositivos de entretenimiento como TV o cargadores. Demanda entre 0,2 y 0,3 kWh/hora.

Ilustración 22 Curva horaria de demanda por subsistema



Fuente: (Autor, 2025).

4.3. Potencia instalada y demanda por subsistemas

Subsistema	Potencia Instalada (kW)	Demanda Diaria (kWh)	Demanda Mensual (kWh)
Porcino	6,700	26,06	781,80
Avícola	3,120	15,08	452,40
Vivienda	1,455	5,55	166,50
Balanceado (F)	3,330	6,98	209,40
Vivienda socios (F)	1,040	4,40	132,00

Tabla 9 Potencia instalada y demanda por subsistemas actuales y futuros

Fuente: (Autor, 2025)

4.4. Análisis del potencial solar en Limoncito

4.4.1. Condiciones climáticas generales

La comuna Limoncito presenta un clima tropical seco característico de la región litoral del Ecuador. La temperatura promedio anual en la zona es de 23,7 °C, con registros máximos que pueden superar los 32 °C durante el periodo lluvioso comprendido entre enero y abril, y mínimas cercanas a los 18 °C en la estación seca, que se extiende de junio a noviembre (GAD Parroquial Rural de Chanduy, s.f.).

En cuanto a la humedad relativa, esta es alta durante el año, con un promedio del 81 %. Esta condición atmosférica es un factor importante en el diseño del sistema fotovoltaico, pues la presencia de humedad, combinada con polvo ambiental, genera condensación en la superficie de los módulos y disminuye su eficiencia. Por ello, es recomendable establecer rutinas de mantenimiento que incluyan limpieza periódica para evitar pérdidas por suciedad y asegurar un funcionamiento óptimo.

4.4.2. Nubosidad y precipitaciones

Durante la estación lluviosa, la nubosidad alcanza coberturas superiores al 80 %, mientras que en los meses secos disminuye significativamente, permitiendo una mayor incidencia de radiación directa. La precipitación anual es baja, promediando 95 mm, distribuida de forma irregular. Febrero suele ser el mes con mayor cantidad de días lluviosos, hasta 10 días, mientras que noviembre es el más seco, con tan solo dos días con lluvias (Cedar Lake Ventures, Inc., s.f.).

Estas condiciones climáticas favorecen la producción solar, especialmente en la estación seca, compensando las limitaciones temporales que impone la nubosidad.

4.4.3. Irradiación solar y potencial fotovoltaico

La región de Santa Elena, donde se ubica la comuna Limoncito, registra un promedio anual de irradiación global horizontal (GHI) de aproximadamente 4,5 kWh/m²/día, según el (The World Bank Group, 2023).

Según estimaciones del software PVGIS, un sistema fotovoltaico orientado hacia el norte y con una inclinación de 10°, puede alcanzar una producción anual entre 1.450 y 1.500 kWh por cada kWp instalado. Este rango considera las pérdidas asociadas a temperatura, polvo, y caídas de tensión por cableado, lo que evidencia el gran potencial de la zona.

4.4.4. Cálculo de inclinación y azimut

En regiones cercanas a la línea ecuatorial, como es el caso de Limoncito (latitud -2,20°), se recomienda aplicar una inclinación fija entre 10° y 15° de los paneles fotovoltaicos. Este ángulo optimiza la captación de irradiancia solar en cualquier mes del año y también facilita el drenaje de agua y el desprendimiento de polvo sobre los módulos, lo cual contribuye a la durabilidad del sistema.

A pesar de que en estas latitudes los ángulos recomendados son bajos, también se puede emplear una fórmula general como referencia para estimar la inclinación:

$$\beta = |\phi - 10^\circ|$$

Donde:

β = ángulo de inclinación

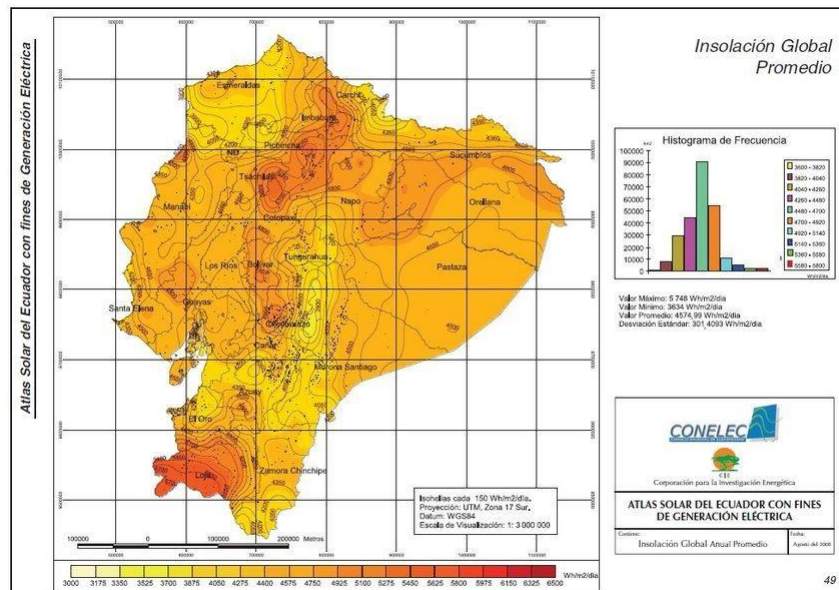
ϕ = latitud del sitio

Según la georreferencia obtenida de Google Maps, la Hacienda Miguel Alfredo se encuentra a una latitud de -2.209259, por lo tanto, la inclinación sugerida sería:

$$\beta = |-2,209259^\circ - 10^\circ|$$

$$\beta = 12,209259^\circ$$

Ilustración 23 Mapa de insolación global promedio en el Ecuador



Fuente: (Atlas Solar del Ecuador, 2025).

El azimut consiste en el ángulo de orientación del plano del arreglo fotovoltaico respecto al norte geográfico mediante una medición en función del sentido de las manecillas del reloj.

- Azimut de 0° : orientado exactamente hacia el norte geográfico.
- Azimut de $+90^\circ$: orientado hacia el este.
- Azimut de -90° o 270° : orientado hacia el oeste.
- Azimut de 180° : orientado totalmente hacia el sur

El último arreglo es recomendado únicamente en zonas del hemisferio norte, en el caso de nuestro país esta consideración es técnicamente despreciable, no obstante, en provincias como Esmeraldas, Carchi, Imbabura, Pichincha y Sucumbíos es prudente analizar la inclinación debido al encontrarnos al norte geográfico al pasar la línea ecuatorial.

En Ecuador la orientación ideal de los paneles puede variar levemente dependiendo de la ubicación exacta, la topografía, la disposición del techo, las sombras y la época del año. En zonas ligeramente al sur del ecuador, como Santa Elena, específicamente Limoncito, dada su latitud anteriormente descrita, la mejor orientación suele ser hacia el norte geográfico (0°) para aprovechar la mayor parte de la irradiación durante todo el año.

Sin embargo, debido al movimiento solar casi simétrico entre los hemisferios, en estas zonas ecuatoriales, se toleran desviaciones de $\pm 15^\circ$ hasta $\pm 30^\circ$ sin pérdidas energéticas significativas ($< 3\%$ de reducción de producción anual). Por tanto, el azimut puede ser considerado como 0° , no obstante, dependerá de factores como:

Disposición del techo: Si el techo está inclinado hacia el noreste, cambiar la orientación a 0° implicaría una estructura adicional, lo cual puede no ser rentable para una ganancia mínima.

Sombra proyectada: En algunos casos, mover el azimut ligeramente puede ayudar a evitar sombras de árboles, torres o estructuras cercanas.

Producción estacional: Si se busca mayor producción en la mañana, puede orientarse hacia el noreste ($+10^\circ$ a $+20^\circ$); si se prioriza la tarde, hacia el noroeste (-10° a -20°).

Configuraciones este-oeste: En techos a dos aguas, es posible instalar paneles en ambas vertientes orientadas al este y al oeste. Esto reduce el rendimiento máximo al mediodía, pero

extiende la generación en horas tempranas y tardías, lo cual puede alinearse mejor con el perfil de carga diario.

Para el caso de la Hacienda Miguel Alfredo motivo de estudio, como cuenta con techos inclinados hacia el noreste, con una desviación de aproximadamente 25° a 35° respecto al norte. Esta orientación se mantiene dentro del rango aceptable, y no representa una limitación técnica importante, por lo cual es recomendable aprovechar la inclinación y orientación existentes, evitando estructuras adicionales, ya que la pérdida energética por desviación es inferior al 3 %, lo cual es compensado por la simplicidad, seguridad estructural y menor costo de instalación.

4.5. Diseño del sistema fotovoltaico para los subsistemas

4.5.1. *Justificación y alcance del sistema*

La instalación del sistema fotovoltaico busca cubrir de manera eficiente y sostenible la demanda eléctrica de los tres subsistemas operativos de la finca: el área porcina, el área avícola y la vivienda operativa, las instalaciones futuras: planta de balanceado y viviendas para socios, no se abarcarán en el presente trabajo. Dicho diseño tiene como objetivo fundamental asegurar un suministro energético confiable que permita la operación continua de procesos críticos identificados anteriormente.

En función de las condiciones del entorno rural y los constantes cortes en el suministro eléctrico de la distribuidora local, una solución adecuada es la implementación de un sistema fotovoltaico híbrido. Este sistema estará conectado a la red pública y contará con respaldo para cargas críticas o también denominadas prioritarias, siendo esta configuración, la más adecuada para el autoconsumo bajo condiciones normales asegurando la continuidad durante eventos de corte o falla en la red eléctrica (Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP), 2024).

4.5.2. Resumen demanda energética total

Subsistema	Potencia Instalada (kW)	Demanda Diario (kWh)	Demanda Mensual (kWh)
Porcino	6,700	26,06	781,80
Avícola	3,120	15,08	452,40
Vivienda	1,455	5,55	166,50
TOTAL	11,275 kW	46,69 kWh/día	1.400,70 kWh/mes

Tabla 10 Potencia instalada y demanda por subsistemas actuales

Fuente: (Autor, 2025)

4.5.3. Cálculo de pérdidas globales del sistema

Según PVGIS y literatura técnica, se consideran varios tipos de pérdidas, por tanto, el rendimiento energético neto se ajustará por un factor de corrección de eficiencia del 82 %.

Fuente de pérdida	Porcentaje estimado
Suciedad (soiling)	3 %
Efectos térmicos	4 %
Orientación e inclinación subóptima	2 %
Pérdidas eléctricas (cables, inversores)	5 %
Mismatch, degradación inicial, MPPT	4 %
Total estimado de pérdidas	18 %

Tabla 11 Detalle de porcentaje de pérdidas

Fuente: (PVGIS, 2024)

4.5.4. Dimensionamiento del campo fotovoltaico

El diseño del sistema fotovoltaico para la finca Miguel Alfredo cubre de forma eficiente la demanda energética diaria de los subsistemas porcino, avícola y de vivienda mediante la

instalación de módulos solares de alta eficiencia. Para ello, se ha seleccionado el uso de paneles monocristalinos de 550 Wp, por su rendimiento sobresaliente en ambientes de alta radiación y temperaturas elevadas, condiciones típicas del litoral.

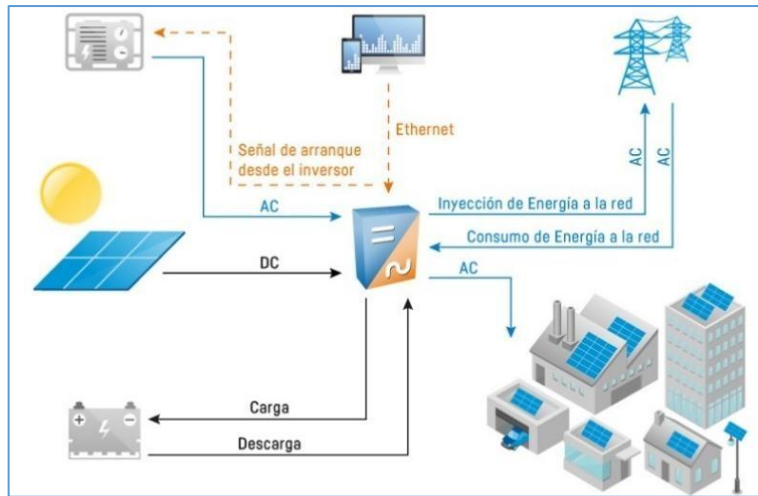
Según el (The World Bank Group, 2023) la irradiación solar promedio anual en la zona alcanza los 4,5 kWh/m²/día. Al considerar pérdidas usuales, como acumulación de polvo, orientación no ideal, efectos térmicos, caídas por cableado e inversores, se ha ajustado la eficiencia global del sistema al 82 %. En base a los cálculos, se estima que cada panel puede generar en promedio 2,03 kWh diarios, lo que permite conocer la cantidad de módulos requeridos para cubrir la demanda de cada subsistema que ha sido diferenciado.

Respecto a la orientación de las cubiertas, con desviaciones entre 20° y 35° del norte geográfico, se concluye que no afecta la captación solar. Estudios indican que ángulos menores a 30° provocan pérdidas menores al 3 %, por lo que no se requieren ajustes en la cubierta o sus vigas estructurales (Fraunhofer ISE, 2023).

4.5.5. Selección de la arquitectura del sistema

Considerando las condiciones operativas rurales de la Hacienda Miguel Alfredo se ha definido la implementación de un sistema fotovoltaico híbrido interconectado a la red pública con respaldo mediante baterías. Esta configuración permite aprovechar la energía solar en modo de autoconsumo durante el día, inyectar excedentes a la red cuando sea factible, y mantener operativas las cargas críticas, como ventilación, iluminación y alimentación automática, ante cortes imprevistos del suministro eléctrico o también cuando estos sean programados evitando inconvenientes con la alimentación y dotación de agua del ganado.

Ilustración 24 Sistema Fotovoltaico Híbrido



Fuente: (CING, 2017).

El sistema está conformado por módulos solares, inversores híbridos con funcionalidad de conmutación automática, reguladores de carga MPPT, baterías de respaldo y una unidad de monitoreo para supervisar la operación en tiempo real. En caso de interrupción de la red, el inversor cambia automáticamente al modo aislado (off-grid), asegurando el suministro exclusivo de las cargas previamente definidas como prioritarias.

4.5.6. Cálculo de paneles fotovoltaicos y área efectiva

Con base en la fórmula descrita en la sección 2.1.7, se estimó que cada panel monocristalino de 550 Wp puede generar aproximadamente 2,03 kWh por día, considerando una irradiación promedio de 4,5 kWh/m²/día y una eficiencia global del sistema del 82 %. Este valor permitió calcular el número de módulos requeridos por cada subsistema según su demanda energética diaria, garantizando una cobertura eficiente en base a las condiciones reales del sitio.

$$E = P \times HSP \times PR$$

$$E = 0,550 \text{ [kW]} \times 4,5 \text{ [kWh / m}^2 \text{ * día]} \times 0,82$$

$$E = 2,03 \text{ [kWh/día]}$$

En el caso del área porcina, cuya demanda energética diaria es de 26,06 kWh, se requiere la instalación de 13 módulos, ocupando un área total de cubierta de aproximadamente 37,44 m², considerando un espacio unitario de 2,88 m² por panel. Para el sector avícola, que consume 15,08 kWh/día, se necesitan 8 módulos, lo cual equivale a 23,04 m² de cubierta efectiva, mientras que la vivienda operativa, con una demanda de 5,55 kWh/día, funcionará adecuadamente con 3 módulos, que suman 8,64 m² de superficie para cubierta.

Estas dimensiones son totalmente compatibles con las cubiertas existentes en la finca. La nave porcina dispone de un techo de doble vertiente con un área útil cercana a los 276 m², lo cual permite instalar con suficiente espacio los paneles. De igual forma, la nave avícola y la vivienda, con cubiertas de 256 m² y 70 m² respectivamente, cuentan con espacio suficiente para la instalación actual y posibles ampliaciones. Se debe considerar que la cubierta actual avícola no está concluida, pero está proyectada en el corto plazo.

Subsistema	Demanda Diaria (kWh)	Paneles Requeridos	Área Total Efectiva (m ²)	Distribución paneles por MPPT
Porcino	26,06	13 paneles	37,44 m ²	7 PV x 1 stg + 6 PV x 1stg
Avícola	15,08	8 paneles	23,04 m ²	4 PV x 2 stg
Vivienda	5,55	3 paneles	8,64 m ²	3 PV x 1 stg

Tabla 12 Cantidad de paneles fotovoltaicos y área efectiva de las cubiertas

Fuente: (Autor, 2025).

4.5.7. Dimensionamiento de inversores híbridos

El inversor híbrido es el segundo equipo de mayor importancia de un sistema fotovoltaico, pues convierte la energía de corriente continua (CC) proveniente de los paneles solares en corriente

alterna (CA) útil para ciertos tipos de equipos eléctricos. Sumado a nuestro estudio, un sistema híbrido, permite regular el flujo de energía hacia y desde el banco de baterías, así como la interacción con la red eléctrica, en caso de corte y entrega de potencia generada.

El dimensionamiento del inversor debe considerar la potencia pico de cada subsistema y un margen de sobredimensionamiento de entre 15 % y 25 % para absorber picos de consumo y posibles ampliaciones que tengan las naves de crianza. El dimensionamiento está dado por la fórmula:

$$P_{\text{inversor}} = P_{\text{carga pico}} \times (1 + MS)$$

Donde:

- $P_{\text{carga pico}}$: Potencia total instalada en kW.
- MS: Margen de sobredimensionamiento comprendido entre 0.15 y 0.25, para aquello se debe considerar el tipo de carga y el análisis de la curva de la demanda.

a) Cálculos Subsistema Porcino

$$P_{\text{inversor}} = 6,70 \text{ kW} \times 1,20 = 8,04 \text{ kW} \rightarrow \text{Inversor recomendado: 8 kW híbrido.}$$

b) Cálculos Subsistema Avícola

$$P_{\text{inversor}} = 3,12 \text{ kW} \times 1,20 = 3,75 \text{ kW} \rightarrow \text{Inversor recomendado: 4 kW híbrido.}$$

c) Cálculos Subsistema Vivienda

$$P_{\text{inversor}} = 1,455 \text{ kW} \times 1,20 = 1,75 \text{ kW} \rightarrow \text{Inversor recomendado: 2 kW híbrido.}$$

La siguiente tabla muestra el resumen del dimensionamiento recomendado:

Subsistema	Potencia Pico Instalada (kW)	Inversor Recomendado (kW)	Modelos de inversores disponibles en el mercado
Porcino	6,700	8,0 kW híbrido	10,00 kW
Avícola	3,120	4,0 kW híbrido	5,00 kW
Vivienda	1,455	2,0 kW híbrido	3,00 kW

Tabla 13 *Potencia de inversores por cada subsistema*

Fuente: (Autor, 2025).

Se propone la selección de inversores híbridos para el subsistema porcino, avícola y la vivienda pues se utilizan motores de bombeo, ventilación y automatización en cada uno de ellos.

La instalación eléctrica debe cumplir con la norma IEC 62548 para sistemas fotovoltaicos conectados a red, especialmente en la protección y sección de conductores (International Electrotechnical Commission (IEC), 2016).

Adicional debe contar con función de respaldo modo isla para alimentar cargas críticas durante cortes, con doble entrada MPPT para manejar diferentes arreglos de paneles con distinta orientación o inclinación y la capacidad del inversor debe coincidir o superar la potencia del sistema fotovoltaico instalada, sin exceder demasiado para evitar operación ineficiente.

4.5.8. Dimensionamiento del banco de baterías según cargas críticas reales

En un sistema fotovoltaico de tipo híbrido, el banco de baterías es fundamental para mantener la continuidad del funcionamiento de las cargas críticas y esenciales durante cortes eléctricos o interrupciones en el sistema. A diferencia de los sistemas aislados, en el cual se predispone cubrir toda la demanda de la instalación, en los sistemas híbridos se identifican cargas denominadas críticas cuya interrupción afectaría la producción o el bienestar de los cerdos y aves en cada una de las naves de crianza (Victron Energy, 2022).

Estas cargas incluyen ventilación forzada, bebederos automáticos, alimentación mecanizada desde la tolva a cada uno de los corrales, iluminación básica nocturna y también diurna, equipos de refrigeración de insumos y en la vivienda. El banco de baterías se dimensiona solo para estas necesidades, reduciendo así los costos de adquisición y aumentando la eficiencia.

La estimación preliminar se basa en tres criterios complementarios:

a) se utiliza un rango referencial derivado de experiencias similares en zonas rurales, donde entre el 30 % y el 50 % de la potencia total suele considerarse como carga crítica,

b) se realiza un análisis técnico de los equipos y dispositivos presentes, identificando cuáles deben permanecer en funcionamiento durante al menos cuatro horas continuas, y

c) la evaluación se referencia en la caracterización de cargas o análisis de cargas críticas, que se ejecutará en los diferentes subsistemas de la Hacienda Miguel Alfredo, lo que permite establecer una demanda real para el respaldo de las baterías.

Este enfoque garantiza que el banco de baterías se dimensione de forma correcta cubriendo lo necesario, sin sobredimensionar el sistema.

a) Cargas críticas estimadas por subsistema en porcentaje típico de respaldo

Subsistema	Potencia instalada total	Carga crítica estimada usada	% aplicado aprox.
Porcino	6.700 W	3.000 W (3,0 kW)	≈ 45 %
Avícola	2.370 W	1.500 W (1,5 kW)	≈ 63 %
Vivienda	4.080 W	1.000 W (1,0 kW)	≈ 25 %

Tabla 14 *Estimación de cargas críticas para los diferentes subsistemas*

Fuente: (Autor, 2025).

b) Cargas críticas estimadas por subsistema en distribución de tipos de carga

En el caso de la Hacienda Miguel Alfredo, se ha identificado que las cargas críticas están relacionadas con el funcionamiento de los sistemas de alimentación automática, el suministro de agua para los animales, la ventilación forzada en las naves de crianza, la iluminación y la conservación de medicamentos e insumos, considerando un respaldo de hasta cuatro horas en caso de corte del suministro eléctrico de la red pública de la distribuidora.

La selección de estas cargas se realizó de manera puntual y diferenciada por cada subsistema, permitiendo alcanzar un diseño ajustado a la realidad operativa del lugar, optimizando el uso de baterías y garantizando que solo los equipos verdaderamente importantes permanezcan en funcionamiento durante una emergencia energética.

b.1)	Subsistema	Porcino
Las cargas críticas seleccionadas para el galpón porcino incluyen: bomba de agua de 1 1/2" HP (1100 W), sistema automático de alimentación (750W), comederos automáticos (270W), bebederos automáticos (255 W), extractores axiales (330 W), iluminación LED (240 W) y un refrigerador para medicamentos (120 W). Es importante indicar que las líneas de alimentación y consumo de agua se reducen al 50%. Esto representa una potencia total de 3.065 W, lo que para un periodo de respaldo de 4 horas equivale a:		

$$E_{\text{crítica}} = 3.065 \text{ W} \times 4 \text{ h} = 12,26 \text{ kWh}$$

Para calcular la capacidad del banco de baterías, se considera una profundidad de descarga (DoD) del 90 %, común en baterías de litio, y un margen de seguridad del 20 % para cubrir degradación y pérdidas:

$$E_{\text{banco}} [kWh] = \frac{E_{\text{crítica}}}{DoD \times (1 - \text{margen})} = \frac{12,26 kWh}{0,9 \times 0,8} = 17,03 kWh$$

$$Capacidad\ baterias [Ah] = \frac{E_{\text{banco}}}{V} = \frac{17,03 kWh}{48 v} = 354,74 Ah$$

Por tanto, se recomienda un banco de baterías de litio con una energía nominal total de 17,03 kWh, y la capacidad de carga total de 354,74 Ah. En el mercado las baterías de marca Pylontech tienen una energía nominal de 4,8 kWh y capacidad de carga de 101 Ah que dado la profundidad de descarga me llevaría a 4,32 kWh de energía útil, por lo cual, necesitaría:

$$N = \frac{E_{\text{banco}}}{E_{\text{batería}}} = \frac{17,03 kWh}{4,32 kWh} = 3,94 unidades$$

Esto quiere decir que necesitamos cuatro baterías conectadas en paralelo para suplir la demanda crítica en el tiempo establecido.

b.2)

Subsistema

Avícola

En la nave avícola, las cargas críticas comprenden: bomba de agua (750 W), sistema de alimentación automática (750 W), comederos automáticos (120W), bebederos automáticos (90 W). extractores axiales (400 W) e iluminación LED (200 W). Es importante indicar que las líneas de alimentación y consumo de agua se reducen al 50%. Esto da un total de 2.310 W, que al operar por 4 horas requiere:

$$E_{\text{crítica}} = 2.310 W \times 4 h = 9,24 kWh$$

$$E_{\text{banco}} [kWh] = \frac{E_{\text{crítica}}}{DoD \times (1 - \text{margen})} = \frac{9,24 kWh}{0,9 \times 0,8} = 12,83 kWh$$

$$Capacidad\ baterias [Ah] = \frac{E_{\text{banco}}}{V} = \frac{12,83 kWh}{48 v} = 267,36 Ah$$

Por tanto, se recomienda un banco de baterías de litio con una energía nominal total de 12,83 kWh, y la capacidad de carga total de 267,36 Ah. En el mercado las baterías de marca Pylontech tienen una energía nominal de 4,8 kWh y capacidad de carga de 101 Ah que dado la profundidad de descarga me llevaría a 4,32 kWh de energía útil, por lo cual, necesitaría:

$$N = \frac{E_{\text{banco}}}{E_{\text{batería}}} = \frac{12,83 \text{ kWh}}{4,32 \text{ kWh}} = 2,97 \text{ unidades}$$

Esto quiere decir que necesitamos tres baterías conectadas en paralelo para suplir la demanda crítica en el tiempo establecido.

b.3) Subsistema Vivienda Operativa

Para la vivienda del personal, las cargas críticas identificadas son: iluminación (120 W), refrigerador pequeño (200 W), tomacorrientes 50% de puntos (300 W), bomba de agua (375 W), sumando 995 W. Para 4 horas de respaldo:

$$E_{\text{crítica}} = 995 \text{ W} \times 4 \text{ h} = 3,98 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{banco}} [\text{kWh}] = \frac{E_{\text{crítica}}}{DoD \times (1 - \text{margen})} = \frac{3,98 \text{ kWh}}{0,9 \times 0,8} = 5,53 \text{ kWh}$$

$$\text{Capacidad baterías [Ah]} = \frac{E_{\text{banco}}}{V} = \frac{5,53 \text{ kWh}}{48 \text{ v}} = 115,16 \text{ Ah}$$

Por tanto, se recomienda un banco de baterías de litio con una energía nominal total de 5,0 kWh, y la capacidad de carga total de 115,16 Ah. En el mercado las baterías de marca Pylontech tienen una energía nominal de 4,8 kWh y capacidad de carga de 101 Ah que dado la profundidad de descarga me llevaría a 4,32 kWh de energía útil, por lo cual, necesitaría:

$$N = \frac{E_{\text{banco}}}{E_{\text{batería}}} = \frac{5,53 \text{ kWh}}{4,32 \text{ kWh}} = 1,28 \text{ unidades}$$

Esto quiere decir que necesitamos tan solo una batería para suplir la demanda crítica en el tiempo establecido, pues con dos sería un valor excesivo para la carga.

c) Síntesis del Dimensionamiento del Banco de Baterías

Subsistema	Energía útil requerida (kWh)	Banco recomendado (kWh nominal)	Cantidad de baterías
Porcino	12,37	17,03	4 paralelo
Avícola	9,04	12,83	3 paralelo
Vivienda	3,67	5,53	1 directo

Tabla 15 Dimensionamiento del banco de baterías según carga crítica

Fuente: (Autor, 2025).

Estos valores pueden ser alcanzados mediante bancos de baterías modulares, con tecnología LiFePO₄ (litio-ferrofosfato), que ofrecen mayor vida útil, seguridad térmica y tolerancia a ciclos profundos, siendo ideales para ambientes rurales con condiciones exigentes.

4.6. Estimación de generación mensual y anual del sistema fotovoltaico

De acuerdo con la Resolución ARCONEL 005/2024, todo sistema de generación distribuida que se conecte a la red pública debe incluir, como parte de su documentación técnica, una proyección mensual y anual de la energía eléctrica que se espera generar. Este requerimiento tiene como finalidad verificar que el diseño planteado sea técnicamente viable y que esté dimensionado en relación con la demanda energética prevista para cada subsistema.

En esta investigación se propone la instalación de paneles solares monocristalinos de 550 Wp para cubrir las necesidades energéticas de los tres subsistemas operativos en la Hacienda Miguel Alfredo: el galpón porcino, el galpón avícola y la vivienda del personal. Para el cálculo de

la generación fotovoltaica, se aplicará una eficiencia del 82 % dado los porcentajes típicos de pérdidas por factores como temperaturas elevadas, mala orientación, dimensionamiento de conductores, por suciedad sobre los módulos y pérdidas de los inversores por conversión.

La irradiación solar promedio diaria en la zona se estima en 4,5 kWh/m²/día, valor que es validado mediante fuentes técnicas reconocidas como el Global Solar Atlas y PVGIS, las cuales son fuentes confiables que nos dará como resultado un correcto dimensionamiento del sistema.

4.7. Cálculo de producción energética por subsistema

La fórmula utilizada para estimar la generación de energía mensual es la siguiente:

$$Emes = N_{\text{paneles}} \times P_{\text{panel}} \times HSP \times \eta \times 30$$

Donde:

- N_{paneles} : número de paneles instalados
- P_{panel} : potencia nominal del panel (kW)
- HSP : irradiación solar diaria promedio (kWh/m²/día)
- η : eficiencia real del sistema (0,82)

Subsistema	Paneles instalados	Producción Mensual estimada (kWh)	Producción Anual estimada (kWh)
Porcino	13	781,80	9.381,60
Avícola	7	452,40	5,428.80
Vivienda	3	166,50	1.998,00
TOTALES	23	1.400,70	16.808,40

Tabla 16 *Producción anual estimada por subsistema*

Fuente: (Autor, 2025).

4.8. Análisis global del sistema

El sistema fotovoltaico propuesto tiene una capacidad estimada de generación de aproximadamente 1.400,70 kWh mensuales, lo que equivale a 16.808,40 kWh al año. Esta producción supera ligeramente la demanda total mensual de los tres subsistemas evaluados (1.333,20 kWh/mes), lo que permite contar con un pequeño margen excedente.

Este excedente puede ser utilizado para recargar el banco de baterías, compensar pérdidas estacionales asociadas a nubosidad o suciedad acumulada, e incluso inyectarse parcialmente a la red, siempre que el sistema esté registrado y aprobado bajo el esquema de generación distribuida.

Con base en estos resultados, se puede afirmar que el diseño planteado cumple con los requerimientos técnicos establecidos por la normativa vigente, y asegura un suministro energético estable, eficiente y sostenible para las operaciones agropecuarias de la finca.

4.9. Normativas para clientes no regulados

La Hacienda Miguel Alfredo en la actualidad no dispone de un medidor de energía instalado ni se encuentra registrada como cliente regulado dentro del sistema nacional de distribución eléctrica. Esta situación exige una evaluación normativa específica para permitir la implementación legal y técnica de un sistema de generación distribuida con tecnología fotovoltaica. La Resolución ARCONEL-010/2024, emitida el 19 de noviembre de 2024 por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL), establece la norma que debe regir a los consumidores no regulados para sistemas de autoabastecimiento mediante esquemas de generación distribuida.

Dicha disposición establece que un consumidor no regulado es aquel que no está dentro del régimen tarifario sin importar que el requerimiento de potencia sea inferior a 1 MW, mientras este funcione de forma autónoma o sin conectarse a la red eléctrica existente de la distribuidora.

La Hacienda Miguel Alfredo se enmarca en la categoría de consumidor no regulado con interés en integrarse al sistema eléctrico nacional mediante una instalación de generación distribuida basada en energía solar fotovoltaica, para lo cual la normativa establece una serie de requerimientos técnicos y administrativos que son necesarios para la legalidad y correcta funcionalidad del proyecto. Los principales requisitos son:

Presentación de un proyecto técnico: Por parte de un profesional eléctrico que debe contener una descripción detallada del sistema especificando la capacidad a instalar, el tipo de tecnología fotovoltaica más adecuado, el esquema de interconexión y las medidas de protección que garanticen la seguridad del sistema.

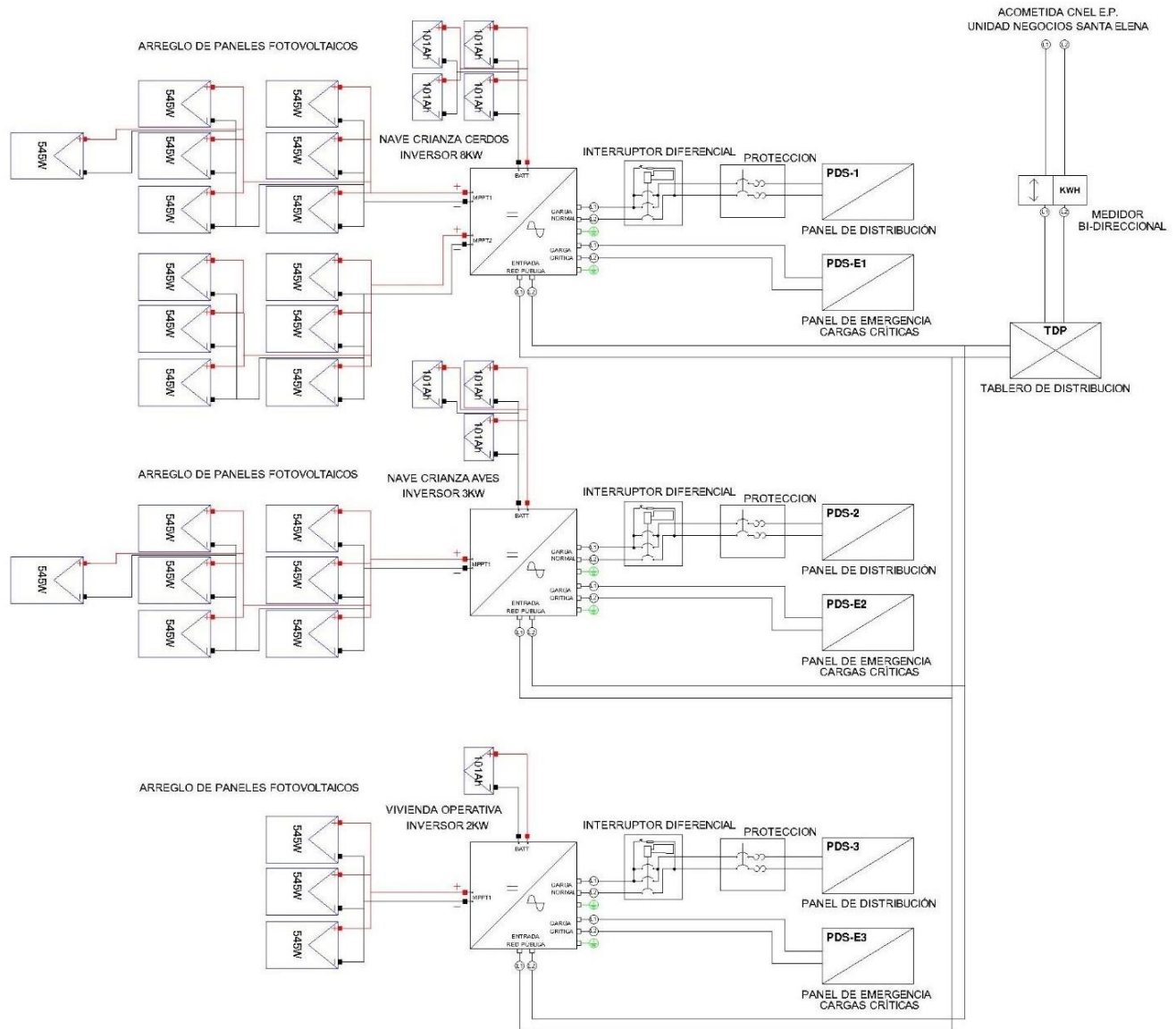
Realización de estudios de impacto en la red: Es indispensable ejecutar análisis técnicos que evalúen el efecto del sistema sobre la red de distribución, asegurando que no se vean comprometidas la estabilidad ni la calidad del servicio.

Formalización de contratos con la empresa distribuidora: El propietario del sistema deberá suscribir los respectivos contratos con la distribuidora local, en los que se definan las condiciones de interconexión, responsabilidades operativas y posibles esquemas de compensación energética.

Cumplimiento de normas técnicas vigentes: La instalación debe cumplir con los estándares técnicos y de seguridad establecidos por las autoridades reguladoras considerando los requisitos para sistemas fotovoltaicos híbridos, así como los dispositivos de protección y parámetros de calidad de la energía, garantizando una operación confiable y segura.

4.10. Diagrama unifilar eléctrico propuesto

Ilustración 25 Diagrama Unifilar Eléctrico Proyecto Fotovoltaico



Fuente: (Autor, 2025).

4.11. Matriz de cumplimiento según resolución ARCONEL-010/2024

Requisitos Res. No. ARCONEL-010/2024	Descripción de los requisitos	Análisis del estado	Acción a ejecutar
Proyecto técnico detallado para factibilidad	Diseño técnico de sistema fotovoltaico, esquema eléctrico, potencias, etc.	Incluido en esta tesis	Validar ante CNEL Unidad de Negocios Santa Elena
Estudio de impacto en la red	Informe técnico sobre interferencias, estabilidad y seguridad de la red	No aplica pues depende de la distribuidora	Requiere gestión previa de punto de conexión
Coordinación con empresa distribuidora	Solicitud de punto de conexión y posterior contrato de suministro	Posterior a la aprobación de factibilidad	CNEL deberá instalar medidor y habilitar conexión
Cumplimiento de normas técnicas (RETIE, IEC, INEN)	Aplicación de estándares eléctricos nacionales e internacionales	Incluido en esta tesis	Revisión técnica por instalador o proveedor calificado
Sistema con respaldo y medición bidireccional (opcional)	Inclusión de banco de baterías e inversores híbridos	Incluido como sistema híbrido	Requiere aprobación si se planea inyección futura

Tabla 17 Matriz de cumplimiento según resolución ARCONEL-010/2024

Fuente: Autor (2025).

En función de esta matriz, el proyecto deberá ser ingresado ante la Unidad de Negocios Santa Elena de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) para la formalización del punto de conexión, permiso de factibilidad, habitabilidad y posterior instalación de medidor, así como la suscripción de los contratos correspondientes. Este proceso permitirá que el sistema

fotovoltaico híbrido cumpla con todos los requisitos legales para su operación como solución energética independiente con posible integración a la red en el futuro.

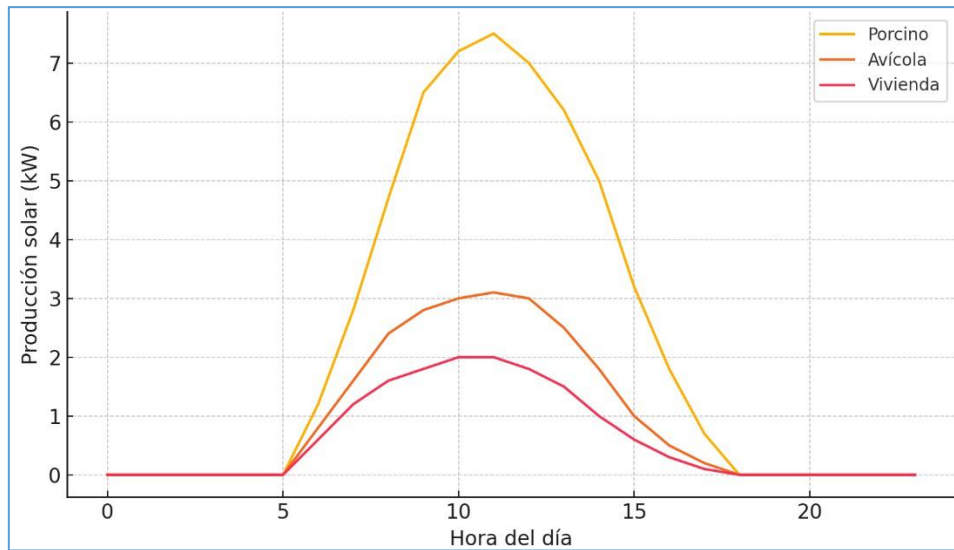
4.12. Análisis y simulación de parámetros con software PVSyst

Se ejecutó una simulación con el software PVSyst para evaluar el sistema fotovoltaico híbrido a implementar en la Hacienda Miguel Alfredo, el cual entregará energía a tres zonas diferenciadas: la nave de crianza de cerdos, la nave de crianza de aves y la vivienda operativa del personal, cada una con diferentes esquemas de consumo eléctrico y equipados con sistemas fotovoltaicos independientes, interconectado a la red pública y respaldado por baterías. Los resultados a obtener permitirán examinar el comportamiento energético, la producción fotovoltaica, el uso eficiente de la energía, las pérdidas del sistema y su rendimiento global.

Los tres subsistemas operan de forma eficiente, aunque su aporte solar cubre solo una parte del consumo total. El galpón porcino produce 10,7 MWh al año con 15 paneles, cubriendo un 18 % de su demanda. El avícola genera 4,3 MWh anuales con 6 paneles (20 % de su consumo), y la vivienda produce 2,9 MWh con 4 paneles, apenas un 8 %. Estas fracciones solares se explican porque se priorizó abastecer solo cargas críticas. Aun así, todos los sistemas muestran un buen rendimiento indicando bajas pérdidas y buen funcionamiento general.

Al comparar con los cálculos iniciales, se notan algunas diferencias por ajustes prácticos en el diseño. Por ejemplo, se usaron más paneles en el porcino y la vivienda para alcanzar los voltajes mínimos requeridos por los inversores. En cambio, en el avícola se redujo a 6 paneles por temas de espacio. La producción por kWp es coherente con lo teórico, validando las condiciones climáticas simuladas y las pérdidas consideradas.

Ilustración 26 Perfil horario de producción solar por subsistemas



Fuente: Autor (2025).

El galpón porcino es el de mayor demanda, con una carga constante de 6,7 kW durante todo el día. La producción solar tiene la típica forma de campana, con un pico al mediodía cercano a 8 kW. Durante esas horas, el sistema cubre casi toda la carga; en la noche, depende de la red o de las baterías. Su generación mensual va de 0,80 a 1,17 MWh, siendo más alta en marzo y abril. Esta variación de producción se debe a la nubosidad y al clima local.

El galpón avícola cuenta con una carga de 3,12 kW, frente a una potencia fotovoltaica instalada de 3,3 kWp. Durante las horas de mayor radiación, la generación solar excede levemente la demanda, lo cual permite el uso directo de energía y la carga de baterías. Gracias a esto el galpón funciona en ciertos periodos completamente con energía solar. La producción anual estimada es de 4,3 MWh.

Finalmente, la vivienda de los trabajadores presenta una demanda aproximada de 1,45 kW y se ha equipado con 2,2 kWp de potencia solar, la cual permite abastecer la totalidad de la carga. La generación mensual es de 214 a 310 kWh, con un rendimiento anual de 2,9 MWh.

En ambos casos se implementó un esquema de autoconsumo con respaldo en baterías, priorizando el uso interno, no se contempla la inyección de excedentes a la red pública para solicitar un medidor bidireccional, aunque se mantiene como una posibilidad, pues toda la electricidad producida es utilizada o almacenada. Las pérdidas del sistema se mantienen entre el 18 % y el 20 %. No se detectaron pérdidas significativas por orientación ni sombreado.

Los módulos fotovoltaicos seleccionados para la simulación son paneles de alta eficiencia de entre 545 y 550 Wp. La cantidad de paneles por subsistema fue establecida por el cálculo correspondiente estableciendo en el software una inclinación entre 11° y 12°, adecuada para las condiciones solares del sector. Las cubiertas, por la forma constructiva de las naves y la vivienda, presentan desviaciones respecto al norte geográfico, no obstante, no presentaron inconvenientes en la captación, por lo que no se considera apropiado ningún tipo de modificación estructural en las mismas.

En cuanto a la conversión, se seleccionaron inversores que se adecuan a cada carga: un equipo trifásico de 8 kW para la nave de crianza de cerdos por los motores de alimentación automática, uno monofásico de 3 kW para la nave de crianza de aves y otro de 2 kW para la vivienda, los cuales admiten integración con baterías y garantizan una operación estable en ambas configuraciones, modo consumo o modo respaldo.

En conclusión, el sistema simulado responde adecuadamente a los objetivos propuestos de reducir el consumo eléctrico de la red pública de la distribuidora, proporcionar respaldo confiable para cargas críticas y mantener altos estándares de eficiencia técnica. Las simulaciones muestran que cada subsistema funciona según lo planeado, adaptándose a sus condiciones y aportando a una operación más sostenible y eficiente de la finca.

4.13. Evaluación técnico-económica del sistema fotovoltaico

4.13.1. Inversión inicial del sistema fotovoltaico híbrido

El análisis económico de un sistema de generación distribuida inicia con la identificación de los costos asociados a su implementación. En el caso de la Hacienda Miguel Alfredo, se ha planteado la instalación de un sistema fotovoltaico híbrido con respaldo de baterías, distribuido por subsistemas: porcino, avícola y vivienda operativa. La inversión inicial contempla la adquisición de los equipos fundamentales, pero también los componentes necesarios para su correcta implementación, es decir, la instalación eléctrica y mecánica, estructuras de soporte, sistemas de monitoreo y control, elementos de protección sin olvidar considerar los costos indirectos vinculados a trámites legales, técnicos y permisos regulatorios.

Los valores referenciales que se adjuntan en la Tabla 18 a continuación han sido calculados considerando precios vigentes en el mercado ecuatoriano para el año en curso. Para ello, se realizó una revisión comparativa entre proveedores nacionales y registros comerciales especializados en soluciones energéticas solares.

Los valores en dólares estimados consideran una instalación completa con materiales certificados, estructuras de soporte fabricadas en acero galvanizado o aluminio anodizado, inversores híbridos modernos y bancos de baterías de litio-ferrofosfato (LiFePO_4) las cuales, por su alta eficiencia y larga vida útil, superior a 6.000 ciclos, son apropiados para este tipo de entornos complejos.

Cabe señalar de forma adicional que los costos podrían experimentar variaciones en función del proveedor, las condiciones específicas del sitio o modificaciones regulatorias adicionales, a pesar de ello, representan una base confiable para el análisis económico.

Rubro / Subsistema	Porcino (13 paneles)	Avícola (7 paneles)	Vivienda (3 paneles)	Total por rubro
Paneles solares Jinko 550 Wp (aprox. 170 USD/u)	\$2.210	\$1.190	\$510	\$3.910
Inversores híbridos Fronius (8 kW, 3 kW, 5 kW)	\$2.800	\$1.600	\$2.200	\$6.600
Bancos de baterías Pylontech US5000 (aprox. 1.200 USD/u)	\$4.800 (4 mod)	\$3.600 (3 mod)	\$1.200 (1 mod)	\$9.600
Estructura y montaje (aluminio y fijaciones)	\$1.300	\$650	\$400	\$2.350
Sistema de monitoreo y protecciones (Fronius Smart Meter, seccionadores DC/AC, SPD, etc.)	\$900	\$500	\$300	\$1.700
Cables, canaletas y puesta a tierra	\$700	\$400	\$300	\$1.400
Mano de obra e instalación	\$1.000	\$500	\$400	\$1.900
Costos de legalización (ARCONEL, CNEL)	\$150	\$150	\$150	\$450
Total por subsistema	\$13.860	\$8.590	\$5.460	\$27.910

Tabla 18 *Presupuesto del sistema fotovoltaico híbrido completo*

Fuente: Autor (2025).

Los valores referenciales utilizados fueron estimados sobre la base de:

a. Catálogos técnicos y comerciales actualizados de proveedores nacionales e internacionales:

- Se consultaron plataformas especializadas como Solar LATAM, Victron Energy, SMA Solar, Huawei Solar Ecuador y distribuidores de baterías BYD, Pylontech y Growatt.
- También se consideraron precios en catálogos de Mercado Libre Ecuador y distribuidores mayoristas como Energyparts.ec y Energeia.ec.

b. Tablas de precios promedio en publicaciones académicas recientes:

- Referencias de estudios de tesis y artículos técnicos sobre proyectos similares desarrollados en zonas rurales del Ecuador.
- Documentos publicados por CELEC EP y ARCONEL.

4.13.2. Ahorro energético estimado

La implementación de un sistema fotovoltaico híbrido representa una estrategia energética efectiva tanto desde el punto de vista técnico como económico para unidades productivas agropecuarias, como es el caso de la Hacienda Miguel Alfredo. El sistema propuesto cubrirá la demanda energética de los subsistemas porcino, avícola y de vivienda operativa para cargas críticas, cuya demanda mensual total asciende a 1333,20 kWh. Este consumo, en el escenario actual, es provisto exclusivamente por la red eléctrica convencional a través de la empresa distribuidora CNEC EP Unidad de Negocios Santa Elena, la cual aplica tarifas y recargos adicionales según la normativa vigente.

El primer componente corresponde al consumo de energía, el cual se tarifó a \$0,104 por kWh según la resolución vigente. Multiplicando esta tarifa por los 1.333,20 kWh consumidos, se obtiene un valor de \$138,77 por concepto de energía activa mensual. En segundo lugar, se considera el cobro por potencia contratada, aplicable a usuarios comerciales. La tarifa establecida en el pliego es de \$4,03 por kW contratado. En este caso, con una potencia de 10 kW, el costo mensual por potencia asciende a \$40,30.

Adicionalmente, todos los usuarios deben cubrir un cargo fijo por comercialización, que en el 2025 se ha establecido en \$1,41 mensuales, el cual se aplica independientemente del consumo eléctrico registrado. Un cuarto componente es el aporte obligatorio al Cuerpo de Bomberos, que

corresponde a \$0,00392 por cada kWh consumido. Para el consumo mensual indicado, esto representa un valor de \$5,23.

Finalmente, se incorpora el cargo por alumbrado público, que según lo estipulado para usuarios del sector general se establece alrededor del \$0,0069 por kWh. Multiplicando este valor por los 1.333,20 kWh, se obtiene un cargo de \$9,31 mensuales. Sumando todos los rubros indicados anteriormente nos da un valor a pagar mensual de 194,98 USD, lo que representa un gasto anual de aproximadamente 2.339,7 USD, que podría ser ahorrado por el sistema fotovoltaico propuesto de autoconsumo para cargas críticas pues cubre el total de la demanda, como lo proyectan los cálculos energéticos realizados anteriormente.

No obstante, si se optara por no incluir baterías, es decir, sistema interconectado sin respaldo, el ahorro seguiría siendo importante, pero se perdería la capacidad de sostener cargas críticas durante apagones, lo que podría afectar la continuidad operativa de sistemas como la alimentación automática, ventilación y refrigeración de medicamentos.

Cabe señalar que los sistemas sin baterías (on-grid) suelen tener menores costos iniciales, pero dependen completamente de la disponibilidad de la red. Además, cualquier excedente de energía no utilizado se inyecta a la red con la respectiva compensación económica automática.

Es importante considerar que, del total de la demanda del proyecto, más del 45% de la nave porcina, el 75% en la nave avícola y el casi 70% de la vivienda, tendrán autoconsumo y respaldo 100% de hasta cuatro horas para dotar al sistema, considerando adicional que si la demanda de cargas críticas disminuye y considerando el exceso de generación se puede vender a la red al ser un sistema híbrido, disminuyendo aún más el consumo.

4.13.3. Presupuesto económico referencial

Rubro / Subsistema	Porcino (13 paneles)	Avícola (7 paneles)	Vivienda (3 paneles)	Total por rubro
Paneles solares Jinko 550 Wp (aprox. 170 USD/u)	\$2.210	\$1.190	\$510	\$3.910
Inversores híbridos Fronius (8 kW, 3 kW, 5 kW)	\$2.800	\$1.600	\$2.200	\$6.600
Estructura y montaje (aluminio y fijaciones)	\$1.300	\$650	\$400	\$2.350
Cables, canaletas y puesta a tierra	\$700	\$400	\$300	\$1.400
Mano de obra e instalación	\$1.000	\$500	\$400	\$1.900
Costos de legalización (ARCONEL, CNEL)	\$150	\$150	\$150	\$450
Total por subsistema	\$8.160	\$4.490	\$3.960	\$16.610

Tabla 19 Presupuesto del sistema fotovoltaico sin respaldo de baterías y sistemas de control

Fuente: Autor (2025).

4.13.4. Análisis financiero del proyecto

La evaluación financiera de un proyecto de inversión permite determinar su viabilidad económica a través del análisis comparativo entre los beneficios futuros esperados y los costos iniciales. En esta tesis se aplicarán tres indicadores clásicos en el análisis de inversiones: el Valor Presente Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (Payback).

Estos instrumentos permiten evaluar de forma integral la rentabilidad estimada, el tiempo requerido para recuperar el capital invertido y la competitividad del proyecto frente a otras alternativas posibles (Ross, 2021).

a) Valor Presente Neto (VAN)

El Valor Presente Neto (VAN) representa el valor presente de los flujos de caja netos que se esperan obtener durante la vida útil del sistema, aplicando una tasa de descuento que refleja el costo de oportunidad del capital invertido. Desde una perspectiva práctica, este indicador permite determinar cuánto valor generaría el proyecto en términos actuales, tomando en cuenta los ahorros energéticos previstos o los ingresos proyectados a futuro. Se adjunta la fórmula matemática utilizada para su cálculo:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+r)^t}$$

Donde:

- I es la inversión inicial
- Ft corresponde al flujo neto de caja en el año (t)
- r equivale a la tasa de descuento también llamada de oportunidad
- n son el número de años en el cual se ejecutará el análisis.

Si el VAN resulta mayor que cero, el proyecto se considera rentable, ya que ofrece un retorno superior al exigido. En contextos rurales como el de este estudio, el VAN permite no solo medir ahorros energéticos, sino también valorar beneficios adicionales como mayor estabilidad, menor exposición al alza de tarifas y cumplimiento ambiental.

El VAN se calculó aplicando la fórmula:

$$VAN = -27.910,00 + \sum_{t=1}^{25} \frac{2.339,70}{(1+0,095)^t} = (-)USD 5.828,90$$

En este caso el VAN fue negativo por (-) USD 5.828,90 por lo cual el proyecto no es financieramente viable bajo estas condiciones, esto significa que los ingresos proyectados de \$2.339,70 anuales no alcanzan para recuperar la inversión de \$27.910 al 9,50 % de tasa de descuento. Esta tasa de descuento está obtenida en función de un préstamo productivo “Levántate Mi Pyme” de Banco del Pacífico que tiene una tasa preferencial del 9,50% al sector productivo agrícola.

Sin duda alguna el principal componente que encarece el proyecto es el uso de las baterías de litio y los elementos de control adicionales, para lo cual se procede a eliminar estos rubros para realizar un nuevo cálculo.

Es importante indicar que las baterías nos dan respaldo nocturno en caso de cortes y también durante el día, no obstante, encarece el proyecto y lo hace inviable en el largo plazo para lo cual se realizará un segundo análisis considerando eliminar estos componentes y observar el comportamiento financiero.

Dado el nuevo presupuesto con una inversión inicial mucho menor, equivalente a, 16.610,00 USD se procede al análisis correspondiente, por lo cual la VAN nos da como resultado:

$$VAN = -16.610,00 + \sum_{t=1}^{25} \frac{2.339,70}{(1 + 0,095)^t}$$

$$VAN = USD 5.471,10$$

b) Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es aquella tasa de descuento que iguala el VAN a cero. Representa la rentabilidad anual esperada del proyecto. Matemáticamente se obtiene resolviendo la siguiente ecuación:

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1 + TIR)^t}$$

Cuando la TIR es superior a la tasa de oportunidad definida, el proyecto se considera aceptable. Este indicador es especialmente útil para comparar diversas alternativas de inversión sin necesidad de establecer una tasa de referencia previa. No obstante, en proyectos con flujos cambiantes o inversiones escalonadas, puede presentar más de una solución o dificultades de interpretación (Gitman, 2018).

$$0 = -27.910,00 + \sum_{t=1}^{25} \frac{2.339,70}{(1 + TIR)^t}$$

$$TIR = 6,74\%$$

Se identificó por iteración numérica el punto donde VAN = 0, entonces $TIR \approx 7\%$. La TIR es inferior a la tasa de descuento establecida, lo que implica que el proyecto no cumple el retorno esperado, evidenciando que se requiere optimizar costos o buscar incentivos para que el proyecto sea rentable. No obstante, eliminando así mismo las baterías y sistemas de control cambiamos el valor de inversión de inicial, obteniendo el siguiente resultado:

$$0 = -16.610,00 + \sum_{t=1}^{25} \frac{2.339,70}{(1 + TIR)^t}$$

$$TIR = 13,49\%$$

Bajo un esquema más ajustado, con reducción de costos por adquisición directa, uso de componentes más asequibles y optimización del sistema, el resultado financiero mejora sustancialmente, la TIR alcanza y supera la tasa de descuento por el 13,49% lo que significa que el proyecto no solo recupera su inversión, sino que genera valor adicional. El sistema se muestra

financieramente viable y sostenible, con una recuperación de la inversión dentro del primer tercio de su vida útil, que lo analizaremos en la siguiente sección.

c) Periodo de Recuperación (Payback)

El periodo de recuperación o payback indica el número de años necesarios para que los flujos netos de caja acumulados igualen la inversión inicial. Si bien este indicador no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo ni los beneficios posteriores al punto de equilibrio, su valor radica en ofrecer una medida simple del riesgo financiero. La fórmula básica es:

$$\text{Payback} = \text{número de años hasta que } \sum Ft \geq I$$

En proyectos rurales, donde el acceso al financiamiento suele ser limitado, el payback adquiere una relevancia particular, ya que permite identificar el tiempo mínimo requerido para recuperar lo invertido, reduciendo la incertidumbre asociada a cambios tecnológicos, deterioro de componentes o alza de costos.

Se acumularon los flujos anuales constantes hasta cubrir la inversión inicial: Payback $\approx$ 12 años, es decir, que la empresa recuperará su inversión en un lapso de 12 años, debiendo considerar en el año 13 que debe generarse una nueva reinversión de baterías por vida útil lo cual lo hace distante. Finalmente, eliminando los bancos de baterías podemos tener un retorno de la inversión: Payback $\approx$ 8 años, sin reinversión, considerando valores a favor a partir del 9 año.

Esta evaluación se desarrolla bajo un horizonte temporal de 25 años, que corresponde a la vida útil estimada de los módulos solares seleccionados, asumiendo un mantenimiento adecuado y condiciones de operación favorables a lo largo del tiempo.

El propósito central de este análisis es determinar el retorno económico generado por la inversión inicial, a partir de los ahorros derivados por la sustitución parcial del suministro eléctrico convencional en las cargas críticas.

Parámetro	Valor
Inversión inicial (USD)	16.610,00
Flujo neto anual (USD)	2.339,50
Tasa de descuento (%)	9,50 %
Vida útil del sistema (años)	25
Valor residual (USD)	0

Tabla 20 *Supuestos del modelo financiero de inversión*

Fuente: Autor (2025).

Los ahorros proyectados a partir del sistema fotovoltaico permiten recuperar la inversión inicial aproximadamente en el octavo año de operación del cual se genera un retorno neto sostenido. Este comportamiento se respalda por un flujo neto anual estimado en USD 2.339,70, lo que evidencia una tendencia de crecimiento favorable en el mediano y largo plazo.

Si bien la incorporación de bancos de baterías incrementa de gran forma el valor de la inversión, afectando la rentabilidad financiera desde un enfoque económico, cabe destacar, que su presencia garantiza la continuidad de las cargas críticas durante interrupciones lo cual añade un valor estratégico al sistema. Estadísticas empíricas de los ganaderos han permitido proyectar que en base a interrupciones mayores a 3 horas se pueden generar pérdidas diarias superiores a 100 USD en el sistema porcino por estrés térmico, mortalidad y fallos en la alimentación.

Por tanto, incluso con un VAN negativa y una TIR inferior a la tasa de descuento, los beneficios indirectos en continuidad operativa, calidad de producción y sostenibilidad energética refuerzan la conveniencia técnica y económica del proyecto en el primer escenario, pudiendo analizar la posibilidad de ejecutarlo en dos etapas para que tengamos una proyección de tiempo mayor, pero principalmente la seguridad alimentaria de los animales y la continuidad del giro del negocio es donde deben concentrarse los esfuerzos de buscar sistemas de respaldo eficientes.

4.13.5. Comparación con inversiones alternativas

Para evaluar de manera holística la factibilidad económica del sistema fotovoltaico híbrido propuesto, es importante contrastar su desempeño con otras alternativas de inversión consideradas de forma frecuente por productores. Este ejercicio comparativo permite analizar el retorno financiero directo y valorar los efectos sobre la operación y autonomía energética en el mediano y largo plazo.

Entre las alternativas empleadas de forma frecuente se destacan los generadores eléctricos a diésel, cuya función es garantizar el abastecimiento de energía en zonas con inexistencia de conexión a la red pública, y los biodigestores, que son sistemas que permiten transformar residuos orgánicos en biogás como fuente energética para cocción, calefacción o generación eléctrica a pequeña escala.

Este análisis comparativo, por tanto, no solo considera los indicadores financieros directos como el VAN, la TIR y el periodo de recuperación, sino también el valor estratégico que representa la transición hacia energías renovables en el contexto productivo rural.

a. Generador diésel de respaldo

Los generadores diésel son ampliamente utilizados en zonas rurales con baja confiabilidad eléctrica. Sin embargo, su operación representa un costo significativo a largo plazo:

- **Costo inicial:** USD 4.000 a 6.000 para un generador trifásico de 10 a 15 kVA.
- **Consumo de combustible:** 2 a 3 litros/hora → USD 2,50 a 3,50/hora.
- **Costos anuales promedio:** USD 1.000 a 2.500 USD, considerando uso eventual, mantenimiento y reemplazo de aceite.

A pesar de su bajo costo inicial, el generador tiene una vida útil menor (5 a 7 años), alta contaminación acústica y ambiental, y dependencia continua de diésel.

b. Sistema de biodigestión para generación eléctrica

El uso de residuos orgánicos en biodigestores genera biogás, el cual puede ser utilizado para generar electricidad o calor. Es una opción sostenible en granjas porcinas, pero con requerimientos técnicos y de mantenimiento más complejos.

- **Costo inicial promedio:** USD 20.000 a 30.000
- **Requiere:** sistema de recolección de estiércol, mantenimiento diario y personal capacitado.
- **Producción eléctrica estimada:** 2 a 4 kWh por tonelada de residuos por día.

Aunque ambientalmente favorable, su rendimiento depende de la constancia de carga orgánica y presenta mayores riesgos técnicos y operativos.

Inversión	Costo Inicial	Vida útil	Ahorro / Beneficio directo	Riesgo operativo	Sostenibilidad
Sistema fotovoltaico	USD 16.610	25 años	Alto (3.558,50 USD/año)	Bajo	Alta

Generador diésel	USD 5.000	6 años	Medio (energía emergente)	Alto	Baja
Biodigestor eléctrico	USD 25.000	20 años	Medio-Alto (si bien operado)	Medio	Alta

Tabla 21 *Comparación financiera de las alternativas con el sistema fotovoltaico*

Fuente: Autor (2025).

El sistema fotovoltaico híbrido, pese a que implica una inversión inicial más alta que otras tecnologías convencionales, ofrece un retorno financiero, aunque menor, más estable. Sus bajos costos operativos, al no requerir combustibles ni mantenimientos frecuentes, y su vida útil aproximada a los 25 años lo convierten en una opción sólida a largo plazo. Además, contribuye en la sostenibilidad de la Hacienda Miguel Alfredo, reduciendo la huella de carbono, diversificando la matriz energética y mejorando la seguridad de la operación.

4.13.6. Valor Presente Ajustado por Riesgo (VPAR)

El Valor Presente Ajustado por Riesgo (VPAR) es un paso adicional al análisis tradicional del Valor Presente Neto (VAN), pues incorpora la probabilidad y el impacto económico de riesgos, muchos de ellos, previsibles durante la vida útil del proyecto. Su formulación permite calcular un VAN más realista o conservador, ajustado a condiciones de incertidumbre típicas en entornos rurales, donde los proyectos están expuestos a variaciones climáticas, temas regulatorios, cambios en precios de insumos, fallos tecnológicos, entre otros.

El cálculo del VPAR parte del VAN esperado, al cual se le restan las pérdidas económicas proyectadas por cada categoría de riesgo relevante, ponderadas por su probabilidad de ocurrencia y su impacto estimado:

$$VPAR = VAN - \sum_{i=1}^n (Pi \times Li)$$

Donde:

VAN es el Valor Presente Neto calculado

Pi es la probabilidad de ocurrencia del riesgo *i*

Li es el impacto económico estimado del riesgo *i*

n es el número total de riesgos relevantes evaluados

Se identificaron cuatro riesgos principales para este proyecto y se asignaron estimaciones conservadoras de probabilidad e impacto económico anual:

1. Riesgo operativo (fallos en instalación o mantenimiento)

Incluye fallos en conexiones eléctricas, cortocircuitos, fallas por humedad en inversores o baterías, mal funcionamiento por falta de mantenimiento preventivo. Probabilidad estimada de un 10 %. Según estudios de Victron Energy, el 10–12 % de sistemas fotovoltaicos rurales presentan fallos operativos en los primeros 5 años cuando no hay contrato de mantenimiento. El impacto económico estimado es de 250 USD/año. Reemplazo parcial de componentes, visitas técnicas puntuales y repuestos.

2. Riesgo de aumento en los costos de operación y mantenimiento (O&M)

Incremento inesperado en los costos de limpieza, ajustes eléctricos, reemplazo de piezas no cubiertas por garantía. Probabilidad estimada de un 15 %. Inflación técnica estimada del sector entre 8 y 12 % anual, incrementada por transporte rural. El impacto económico estimado es de 150

USD/año. Si el mantenimiento preventivo básico cuesta 300 USD/año, una subida del 50 % equivale a ese monto adicional.

3. Riesgo de depreciación tecnológica o incompatibilidad futura

Cambios en normativas técnicas, obsolescencia de inversores o baterías sin disponibilidad de repuestos en el país. Probabilidad estimada de un 5 %. Riesgo bajo si se usan marcas certificadas con soporte local y garantía. El impacto económico estimado es de 100 USD/año. Costos asociados a reemplazo prematuro parcial o adaptación de nuevos componentes.

4. Riesgo de mantenimiento de infraestructura (CNEL o red pública)

Aunque la Hacienda Miguel Alfredo aún no está conectada al sistema interconectado nacional, una futura conexión parcial o total para respaldo, inyección de excedentes o cumplimiento normativo podría implicar costos asociados a infraestructura externa (postes, transformadores, acometidas de media tensión, adecuaciones en subestaciones). Aunque la Resolución ARCONEL-005/2024 exime del pago de trámites para proyectos de bajo impacto, no se descarta la aplicación futura de tarifas por mantenimiento de redes o servicios auxiliares. Se estima una probabilidad del 5 %.

El riesgo actual es bajo, pero existen precedentes de que las distribuidoras soliciten ajustes para cubrir infraestructura rural, especialmente en zonas con nuevos usuarios no regulados. El impacto económico se estima en USD 150/año, basado en una tarifa adicional hipotética de USD 12–15 mensuales, referenciada en experiencias de CNEL en zonas agroindustriales del litoral.

Riesgo	Probabilidad	Impacto estimado (USD/año)	Ajuste (P × I)
Fallos operativos	10 %	200	20,00
Aumento moderado de O&M	10 %	100	10,00
Mantenimiento de infraestructura externa futura (CNEL)	5 %	150	7,50
Depreciación tecnológica	5 %	100	5,00
Total ajuste anual			42,50 USD

Tabla 22 *Tabla ajustada de riesgos según VPAR*

Fuente: Autor (2025).

En el caso del análisis de la Hacienda Miguel Alfredo, el Valor Presente Ajustado por Riesgo (VPAR) es positivo, siendo favorable el sistema fotovoltaico técnica y económicamente en términos de rentabilidad incluso bajo condiciones conservadoras.

$$VP_{\text{riesgos}} = A * \left(\frac{1 - (1 + r)^{-t}}{r} \right) = 42,50 * \left(\frac{1 - (1 + 0,095)^{-25}}{0,095} \right) = 506,79$$

$$VPAR = 5.471,10 \text{ USD (VAN)} - 401,10 \text{ USD (riesgos ajustados)} = \mathbf{5.070,00 \text{ USD}}$$

La rentabilidad no se ve afectada de forma significativa al incorporar riesgos operativos y económicos, lo que confirma que es un proyecto equilibrado financieramente y con baja vulnerabilidad ante cambios lo cual es clave para la toma de decisiones y la planificación estratégica.

CONCLUSIONES

El diseño del sistema fotovoltaico híbrido para la Hacienda Miguel Alfredo demuestra su viabilidad tanto técnica como económica, con una generación mensual estimada de 1.400,70 kWh y un total anual de 16.808,40 kWh, la cual cubre adecuadamente la demanda energética de los tres subsistemas operativos, garantizando autonomía y resiliencia frente a las limitaciones o fallas del servicio eléctrico rural que ofrece la empresa distribuidora.

El análisis detallado de las cargas eléctricas, agrupadas por subsistema y fundamentado en consumos reales y no en proyecciones generales, fue clave para lograr un dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico. Gracias a esto se definió la instalación de 23 paneles solares monocristalinos de 550 Wp cada uno, aprovechando el espacio disponible en las cubiertas sin necesidad de realizar modificaciones estructurales de importancia.

En cuanto al aspecto económico, el sistema presenta un Valor Presente Neto (VAN) de 5.471,10 USD y un Valor Presente Ajustado por Riesgo (VPAR) de 5.070,00 USD, con una diferencia de 401,10 USD atribuida a los riesgos que se consideraron para el modelado. Estas cifras muestran una rentabilidad positiva, incluso ante escenarios algo desfavorables. Además, se proyecta un ahorro promedio anual de 2.339,70 USD, siendo el mayor beneficio la sustitución escalable de fuentes energéticas costosas y menos eficientes.

Desde el aspecto ambiental, la implementación del sistema representa una acción directa frente al cambio climático, pues reduce la dependencia de energía de combustibles fósiles y promueve el uso de una fuente limpia y renovable. Esta transición contribuye a la disminución de la huella de carbono y se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 7, sobre energía asequible y no contaminante, y el ODS 13, enfocado en la acción por el clima.

Finalmente, en el plano social y normativo, la propuesta fortalece la seguridad energética del personal que habita y que trabaja en la finca, promoviendo un modelo de generación distribuida que se ajusta a las Resoluciones ARCONEL-010/2024 y ARCONEL-005/2024. Asimismo, se enmarca en el principio de legalidad y del derecho constitucional a un ambiente sano, reafirmando el compromiso con el desarrollo sostenible, el acceso a la energía y el uso responsable de los recursos naturales.

RECOMENDACIONES

Formalizar el proceso de interconexión del sistema propuesto a la red pública bajo el marco normativo de ARCONEL, iniciando con la presentación del proyecto técnico, factibilidad, habitabilidad, estudios de impacto, y posterior suscripción de contratos con la empresa distribuidora correspondiente. Esto permitirá no solo cumplir con la normativa vigente, sino también habilitar el uso legal de excedentes energéticos.

Implementar un plan de mantenimiento preventivo del sistema fotovoltaico que considere la limpieza periódica de paneles debido a la alta humedad relativa (81 %) y la exposición a partículas de polvo y salitre propias de zonas costeras, con el fin de mantener una eficiencia energética cercana al 82 %.

Realizar un monitoreo cada seis meses del comportamiento energético, comparando la energía generada por el sistema fotovoltaico con el consumo real, lo cual permitirá realizar ajustes y proyectar ampliaciones, entre estas se contempla la posible incorporación del sistema de balanceado de alimentos, así como la conexión de nuevas viviendas al sistema existente.

Actualizar la tecnología de los equipos asociados a ventilación, alimentación automatizada y bombeo de agua, priorizando soluciones de mayor eficiencia energética, no solo para reducir la carga eléctrica sino para optimizar la capacidad de respaldo, disminuyendo la dependencia del banco de baterías y mejorando el rendimiento del sistema fotovoltaico.

Evaluar la posibilidad, en el mediano plazo, de acceder a incentivos fiscales, líneas de financiamiento verde o mecanismos de compensación de carbono, considerando que el sistema propuesto puede posicionar a Agripornam S.A.S. como una empresa de referencia en sostenibilidad energética dentro del sector pecuario del litoral ecuatoriano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2025). Resolución Nro.

ARCONEL-ARCONEL-2025-0001-RES. Quito: ARCONEL. Obtenido de

<https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/01/ARCONEL-ARCONEL-2025-0001-RES.pdf>

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables

(ARCERNNR). (2022). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico

Ecuatoriano 2022. Quito: ARCERNNR.

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

(ARCONEL). (2024). Normativa técnica para sistemas fotovoltaicos en el

Ecuador. Quito: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

Azaza, M. &. (2017). Optimized operation of PV-battery systems with MPPT.

Renewable Energy, 275-286.

Banco de Desarrollo del Ecuador B.P. (2023). Memoria 2023. Quito: Banco de

Desarrollo del Ecuador B.P. Obtenido de https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2024/04/2.-Memoria-2023_compressed.pdf

Bhandari, K. P. (2015). Energy payback time (EPBT) and energy return on energy

invested (EROI) of solar photovoltaic systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 133-141.

Castillo, A. &. (2021). Dimensionamiento de bancos de baterías en sistemas fotovoltaicos.

Revista de Energías Renovables, 89-103.

- Cedar Lake Ventures, Inc. (s.f.). Clima promedio en Santa Elena, Ecuador. Obtenido de Weatherspark: <https://es.weatherspark.com/y/18289/Clima-promedio-en-Santa-Elena-Ecuador- durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Chen, H. X. (2022). Emerging Photovoltaic Technologies: Recent Progress and Future Perspectives. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.
- Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (2017). Atlas Solar del Ecuador. Quito: Consejo Nacional de Electricidad.
- Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP). (2024). Estudio del potencial de energía solar en el Ecuador. Quito: CELEC E.P. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/Folleto-PROYECTOS-FOTOVOLTAICOS-ECU-2024-2-26-FEB.pdf>
- Díaz, D. R. (2020). Evaluación técnico-económica de sistemas híbridos solar-diésel en zonas rurales del Ecuador. *Revista Ingeniería Energética*, 187-195.
- Duffie, J. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.
- Ecuador, Asamblea Nacional del. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Quito: Asamblea Nacional del Ecuador.
- Escobar, D. y. (2018). Diagnóstico del consumo energético en granjas porcinas en el litoral ecuatoriano. *Revista Agroenergía*, 42-57.
- Esrám, T. &. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 439-449.
- FAO & INTA. (2009). Energías renovables para el desarrollo rural en América Latina. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. (2023). Photovoltaics report. Friburgo: Fraunhofer ISE.
- GAD Parroquial Rural de Chanduy. (s.f.). Clima. Obtenido de <https://gadchanduy.gob.ec/page/clima/>
- Gálvez, A. (2021). Ventilación en galpones avícolas: impacto en la eficiencia térmica y productiva. *Revista de Producción Animal*, 29-36.
- García, J., & Morales, A. (2019). Desarrollo sostenible y energía solar en el agro ecuatoriano. *Revista Latinoamericana de Energía Renovable*, 63-78.
- García-Díez, J., & González-Fandos, E. (2017). Control ambiental y alimentación en granjas porcinas modernas. Zaragoza: Editorial Acribia.
- Gitman, L. J. (2018). Principios de administración financiera (14.^a ed.). Pearson Educación.
- González, M. &. (2020). Análisis técnico de parámetros en sistemas solares fotovoltaicos en zonas rurales ecuatorianas. *Revista Técnica Energía*, 67-75.
- Green, M. A., Dunlop, E. D., Levi, D. H., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., & Ho-Baillie, A. W. (2022). Solar cell efficiency tables (version 60). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 3-12.
- Hernández, R. F. (2014). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill Education.
- INAMHI. (2023). Boletín climático regional costa – año 2022-2023. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

- International Electrotechnical Commission (IEC). (2016). Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements. Ginebra: International Electrotechnical Commission.
- International Energy Agency (IEA). (2023). Tracking clean energy progress: Solar PV. París: International Energy Agency.
- Jaramillo Pacheco, J. L., Hidalgo García, L. G., & Román Rodríguez, M. F. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para provisión de energía en la zona rural del cantón Loja, al sur del Ecuador. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Jiménez-Cruz, J. A. (2020). Diseño de sistemas fotovoltaicos híbridos para zonas rurales agropecuarias. *Energía y Desarrollo*, 55-72.
- Kalogirou, S. A. (2014). Solar energy engineering: Processes and systems. Academic Press.
- Lozada, P., & Palacios, M. (2022). Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos en la producción agropecuaria ecuatoriana. *Revista Técnica Agroenergética*, 45-60.
- Luo, X. W. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 511-536.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (2006). Guía Técnica para la Alimentación de Cerdos. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER). (2017). Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035 (PLANEE). Quito: MEER.

Ministerio de Energía y Minas. (2023). Avances en la electrificación rural con energías renovables en Ecuador. Quito: Gobierno del Ecuador.

Ministerio de Energía y Minas del Ecuador (MITE). (2022). Informe de sostenibilidad energética en el sector productivo ecuatoriano. Quito: Ministerio de Energía y Minas del Ecuador.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2018). Código Orgánico del Ambiente. Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). Casos de éxito en agroindustria con energías renovables. Madrid: Gobierno de España.

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2020). PV system configurations and impacts on energy output. National Renewable Energy Laboratory.

Navas Herrera, J. A. (2021). Estudio técnico-económico de tecnologías de energía renovable para la granja avícola “Avitrave”. . Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Buenas prácticas para la producción porcina sostenible en América Latina. Roma: FAO.

Paredes, A. &. (2020). Technical and economic feasibility of photovoltaic systems in pig farms in rural Peru. Renewable Energy and Environmental Sustainability.

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética (PREE). (2021). Programa de energías renovables y eficiencia energética en Ecuador: Informe técnico. Quito: Ministerio de Energía del Ecuador y Cooperación Alemana (GIZ).

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2023). Impulsando el desarrollo

- sostenible en Ecuador. Quito: PNUD.
- PVSyst S.A. (2022). Software for PV system design and yield prediction. Ginebra: PVSyst SA.
- Registro Oficial. (2019). Ley Orgánica de Eficiencia Energética. Quito: Suplemento del Registro Oficial No. 449.
- Rodríguez Manrique, A. K. (2015). Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca. Revista Mutis, 55-65.
- Ross, S. A. (2021). Fundamentals of Corporate Finance (13.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Sánchez, H., Sarango, D., & Cucuri, M. (2020). Evaluación de un sistema de alimentación avícola basado en lógica difusa. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia, 1-12.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) - Colombia. (2015). Manual de Producción Porcina. Bogotá: SENA.
- Silva, R. O. (2023). Energía solar en la agroindustria brasileña: análisis económico de la integración fotovoltaica en granjas avícolas. Revista de Energía y Sustentabilidad, 105-120.
- The World Bank Group. (2023). Solar resource maps of Ecuador. Washington: Global Solar Atlas.
- Valverde, C. &. (2020). Optimización del ángulo de inclinación de paneles solares en Quito y Guayaquil. Revista Politécnica, 54-60.

- Victron Energy. (2022). Battery Systems for Hybrid Solar Applications. Obtenido de Victron Energy: <https://www.victronenergy.com/markets/off-grid>
- Zambrano, J. V. (2020). Propuesta de sistema fotovoltaico para una granja avícola en Manabí. Revista Científica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 34-47.
- Zambrano, J., & Becerra, L. (2021). Evaluación técnica de sistemas solares en granjas rurales de Manabí. Revista de Energía Renovable y Producción Agropecuaria, 88-97.

ANEXO A: Simulación software PVSyst proyecto fotovoltaico galpón de cerdos – Hacienda Miguel Alfredo

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Ubicación

Nombre del sitio:

País: Región:

Coordenadas geográficas

Latitud: Decimal Grad. Min. Seg. (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud: (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud: M por encima del nivel del mar

Zona horaria: Corresponde a una diferencia promedio

Hora Legal - Hora Solar = 0h 21m

Importación de datos meteo

☒ Meteornorm 8.2 Versión:

☐ NASA-SSE

☐ PVGIS TMY

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

☐ SolarAnywhere® TGY

☐ Solargis TMY

Por favor, importe los datos meteo mensuales (de Meteornorm, Itasca, PVGIS, NREL, Solcast, SolarAnywhere, Solargis o manualmente)

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Sitio: **Hacienda Miguel Alfredo Galpón Porcino (Ecuador)**

Fuente de datos:

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	4.94	2.40	26.5	1.39	4.284	70.7
Febrero	4.83	2.69	26.4	1.09	4.097	76.9
Marzo	5.31	2.88	26.9	1.19	4.465	74.6
Abril	5.56	2.56	26.6	1.29	4.634	74.8
Mayo	4.92	2.39	26.3	1.60	4.689	72.1
Junio	4.32	2.42	24.7	2.10	4.513	73.7
Julio	4.02	2.43	24.3	2.40	4.348	71.7
Agosto	4.07	2.71	24.0	2.81	4.551	71.0
Septiembre	4.35	2.77	24.0	2.90	5.089	70.7
Octubre	4.05	2.54	24.3	2.80	4.740	69.9
Noviembre	4.17	2.67	24.5	2.70	4.850	68.9
Diciembre	4.86	2.55	26.3	2.20	5.039	64.8
Año	4.61	2.58	25.4	2.0	4.608	71.7

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%

Datos requeridos

☒ Irradiación horizontal global

☒ Temperatura ext. promedio

Datos adicionales

☒ Irradiación difusa horizontal

☒ Velocidad del viento

☒ Turbidez Linke

☒ Humedad relativa

Unidades de irradiación

☒ kWh/m²/día

☐ kWh/m²/mes

☐ MJ/m²/día

☐ MJ/m²/mes

☐ W/m²

☐ Índice de claridad Kt

Proyecto: New.PRJ

Proyecto Sitio Variante Notas del usuario

Proyecto

Nuevo Carga Guardar Importar Exportar Configuración del proyecto Eliminar Cliente

Nombre del proyecto: Proyecto Fotovoltaico Agripomam Galpón Porcino Nombre del cliente: No definido

Archivo del sitio: Hacienda Miguel Alfredo Galpón Porcino_MN82.SIT Meteoronorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% Ecuador

Archivo de datos meteo: Hacienda Miguel Alfredo Galpón Porcino_MN82_SYN.MET Meteoronorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% Sintético 0 k

Archivo de datos meteo seleccionado: "Hacienda Miguel Alfredo Galpón Porcino_MN82_SYN.MET". Por favor guarde el proyecto.

Variante

Nuevo Guardar Importar Eliminar Administrar

Variante n°: VCO : Nueva variante de simulación

Parámetros principales

- ☒ Orientación
- ☒ Sistema
- ☒ Pérdidas detalladas
- ☒ Autoconsumo
- ☒ Almacenamiento

Opcional

- ☒ Horizonte
- ☒ Sombreados cercanos
- ☒ Diseño de módulo
- ☒ Gestión de la energía
- ☒ Evaluación económica

Simulación

Ejecutar simulación

Simulación avanzada

Informe

Resultados detallados

Resumen de resultados

Tipo de sistema: Sin escena 3D definida, sin sombras

Producción del sistema	0.00 kWh/año
Producción específica	0.00 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.00
Producción normalizada	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema	0.00 kWh/kWp/día

Resumen del sistema Salida

Gestión de orientaciones

PVsyst utiliza las orientaciones para calcular el factor de transposición.
Cada orientación debe estar vinculada al menos a un subconjunto de la parte sistema.
Al definir una escena 3D, las áreas 3D de cada orientación deben coincidir con las definidas en el sistema!

Añadir orientación

Orientación #1 - Fijo, Incl. 12.2°, Azim. 0.0° Estatus: OK

Tipo de campo: Plano inclinado fijo Nombre: Fijo, Incl. 12.2°, Azim. 0.0°

Área del módulo:

Sistema	0 m²	0 módulos
Escena 3D	0 m²	0 módulos

Parámetros del campo:

Inclinación del plano: 12.2°

Azimut: 0.0°

Ángulo de inclinación base: 0.0°

Inclinación 12.2°

Azimut 0°

Este Norte Oeste

Optimización rápida (según modelo de cielo despejado)

Optimización con respecto a:

- ☒ Rendimiento anual
- ☐ Verano (oct-mar)
- ☐ Invierno (abr-sept)

Irradiación incidente anual

Factor de transposición FT: 1.00

Pérdida con respecto al óptimo: 0.0%

Global en el plano colector: 1686 kWh/m²

Gráficos:

Gráfico 1: Inclinación del plano (0° a 90°) vs. Factor de transposición (0.6 a 1.2). Curva de optimización (verde) y pérdida (rojo). FT_{Tranpos.} = 1.00, Pérdida/opt. = 0.0%.

Gráfico 2: Orientación del plano (-90° a 90°) vs. Factor de transposición (0.6 a 1.2). Curva de optimización (verde) y pérdida (rojo).

Cancelar OK

Definición del sistema de red, Variante VCO: "Nueva variante de simulación"

Lista de subconjuntos

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
Jinkosolar - 3KM-549M-72HL4-B...	5	3
Sols - S5-GR IP8K	1	3

Subconjunto Generador FV

Seleccione la orientación
Orientación: Fijo, Incl. 12.2°, Azim. 0.0°

Ayuda de pre-dimensionamiento
☐ Sin dimensionamiento
☒ Redimens. Potencia planeada: 6.7 kWp
o área disponible: 31 m²

Seleccione el módulo FV
Disponible ahora: Filtro: Todos los módulos F
Módulo bifacial ☒ Sistema bifacial
Jinkosolar 545 Wp 35V Si-mono 3KM-549M-72HL4-BDVP Desde 2021 Datasheets 2021

☐ Usar optimizador

Dimensiona. voltaje: Vmp (60°C) 35.9 V
Voc (-10°C) 54.9 V

Seleccione el inversor
Disponible ahora: Voltaje de salida 230 V Mono 50Hz ☒ 50 Hz ☒ 60 Hz
Sols 8.0 kW 100 - 500 V TL 50/60Hz S5-GR IP8K Desde 2022

Núm. de entradas MPPT: 3 ☐ Voltaje de funcionamiento: 100-500 V Potencia del inversor utilizada: 8.0 kWca
Voltaje máximo de entrada: 600 V **inversor con 3 MPPT**
☐ Reparto de PNom en el inversor
☒ Entradas MPPT independientes **No hay reparto de potencia entre MPPTs**

Diseñe el conjunto
Núm. de módulos y cadenas
Mód. en serie: 5 ☐ entre 3 y 10
Núm. cadenas: 3 ☐ entre 3 y 4
Perdida sobrecarga: 0.0 %

Condiciones de operación
Vmp (60°C) 180 V
Vmp (20°C) 210 V
Voc (-10°C) 274 V
Irradia. plano 1000 W/m²
Imp (STC) 39.6 A
Isc (STC) 41.8 A
Isc (en STC) 41.8 A
Potencia de funcionamiento máx. (en 1000 W/m² y 50°C) 7.5 kW
Potencia nom. conjunto (STC) 8.2 kWp

Resumen sistema global
Núm. de módulos: 15
Área del módulo: 39 m²
Núm. de inversores: 1
Potencia FV nominal: 8.2 kWp
Potencia de CA nominal: 8.0 kWCA
Proporción Pnom: 1.022

Sistema de red con gestión de almacenamiento

Tipo de sistema - Estrategia de almacenamiento
Autoconsumo ☒ Autoconsumo

Paquete de almacenamiento Autoconsumo

Especifique el conjunto de batería
Ordenar baterías por: ☒ voltaje ☐ capacidad ☐ fabricante
Pylontech 48 V 101 Ah Li LFP US5000B 100Ah

Lithium-ion La batería seleccionada es una módulo

1	☒ módulos en serie	Número de módulos	4	Voltaje paquete de baterías	48 V
4	☐ módulos en paralelo	Número de elementos	240	Capacidad global (C10)	405 Ah
100.0	% Estado inicial de desgaste (núm. de ciclos)			Energía almacenada (80% DOD)	15.5 kWh
100.0	% Estado inicial de desgaste (estático)			Peso total	156 kg
				Núm. de ciclos a 50% DOD	9375
				Energía total almacenada durante la vida útil de la batería	92.3 MWh

Temperatura de funcionamiento batería
Modo temperatura: Fijo (aire acondicionado)
Temperatura fija: 20 °C
La temperatura de la batería es importante para el envejecimiento de la batería
Un aumento de 10 °C divide la vida útil de la batería "estática" por un factor de dos

Información del sistema
Pnom del generador FV: 8.72 kWp
Producción diaria del conjunto FV (día claro de verano): 47.1 kWh
Potencia del usuario máxima: 6.70 kW
Necesidades medias diarias del usuario: 160.8 kWh
Este paquete de baterías representan alrededor :
Tiempo de carga en condiciones de pleno sol: 1.8 horas
Descarga bajo carga media: 2.3 horas
Descarga bajo carga máxima: 2.3 horas

ANEXO B: Simulación software PVSyst proyecto fotovoltaico galpón de aves – Hacienda Miguel Alfredo

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Ubicación

Nombre del sitio:

País: Región:

Coordenadas geográficas

Decimal Grad. Min. Seg.
 Latitud: (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)
 Longitud: (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)
 Altitud: M por encima del nivel del mar
 Zona horaria: Corresponde a una diferencia promedio
 Hora Legal - Hora Solar = 0h 21m

Importación de datos meteo

☒ Meteornorm 8.2
☐ NASA-SSE
☐ PVGIS TMY Versión:
☐ NREL / NSRDB TMY
☐ Solcast TMY
☐ SolarAnywhere® TGY
☐ Solargis TMY

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Sitio: **Hacienda Miguel Alfredo Galpón Avícola (Ecuador)**

Fuente de datos:

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	4.94	2.36	26.4	1.40	4.278	71.4
Febrero	4.82	2.88	26.3	1.10	4.091	76.7
Marzo	5.30	3.01	26.8	1.19	4.459	74.6
Abril	5.56	2.47	26.5	1.30	4.628	74.8
Mayo	4.92	2.33	26.2	1.60	4.683	72.5
Junio	4.32	2.47	24.6	2.09	4.507	74.1
Julio	4.02	2.55	24.2	2.39	4.342	72.1
Agosto	4.07	2.70	23.8	2.80	4.545	71.8
Septiembre	4.35	2.55	23.9	2.90	5.082	71.1
Octubre	4.04	2.51	24.2	2.80	4.733	70.3
Noviembre	4.17	2.45	24.4	2.69	4.844	69.8
Diciembre	4.85	2.74	26.2	2.19	5.033	64.9
Año	4.61	2.58	25.3	2.0	4.602	72.0

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%

Datos requeridos

☒ Irradiación horizontal global
☒ Temperatura ext. promedio

Datos adicionales

☒ Irradiación difusa horizontal
☒ Velocidad del viento
☒ Turbidez Linke
☒ Humedad relativa

Unidades de irradiación

☒ kWh/m²/día
☐ kWh/m²/mes
☐ MJ/m²/día
☐ MJ/m²/mes
☐ W/m²
☐ Índice de claridad Kt

Proyecto: New.PRJ

Proyecto Sitio Variante Notas del usuario

Proyecto

Nuevo Carga Guardar Importar Exportar Configuración del proyecto Eliminar Cliente

Nombre del proyecto: Proyecto Fotovoltaico Agripomam Galpón Avícola Nombre del cliente: No definido

Archivo del sitio: Hacienda Miguel Alfredo Galpón Avícola_MN82.SIT Meteoronorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% Ecuador

Archivo de datos meteo: Hacienda Miguel Alfredo Galpón Avícola_MN82_SYN.MET Meteoronorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% Sintético 0.1

Archivo de datos meteo seleccionado: "Hacienda Miguel Alfredo Galpón Avícola_MN82_SYN.MET". Por favor guarde el proyecto.

Variante

Nuevo Guardar Importar Eliminar Administrar

Variante n°: VC0 : Nueva variante de simulación

Parámetros principales

- ☒ Orientación
- ☒ Sistema
- ☒ Pérdidas detalladas
- ☒ Autoconsumo
- ☒ Almacenamiento

Opcional

- ☒ Horizonte
- ☒ Sombreados cercanos
- ☒ Diseño de módulo
- ☒ Gestión de la energía
- ☒ Evaluación económica

Simulación

Ejecutar simulación

Simulación avanzada

Informe

Resultados detallados

Resumen de resultados

Tipo de sistema: Sin escena 3D definida, sin sombras

Producción del sistema	0.00 kWh/año
Producción específica	0.00 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.00
Producción normalizada	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema	0.00 kWh/kWp/día

Resumen del sistema Salida

Definición del sistema de red, Variante VC0: "Nueva variante de simulación"

Lista de subconjuntos

Nombre	#Mód. #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
Jinkosolar - JK0-545M-72HL4-BDV	3	2
Solis - S6-EH1P3K-L	1	2

Subconjunto: Generador FV

Selección de la orientación: Fijo, Incl. 12.2°, Azim. 0.0°

Ayuda de pre-dimensionamiento

☐ Sin dimensionamiento Potencia planeada: 2.4 kWp

☒ Redimens. o área disponible: 10 m²

Selección del módulo FV

Todos los módulos Filtro: Todos los módulos F

Módulo bifacial Sistema bifacial

Jinkosolar 545 Wp 35V Si-mono JK0-545M-72HL4-BDV Desde 2021 Datasheets 2021

Usar optimizador

Dimensiona. voltaje: Vmpp (60°C) 35.9 V

Voc (-10°C) 54.9 V

Selección del inversor

Todos los inversores Voltaje de salida 230 V Mono 50Hz

Solis 3.0 kW 90 - 520 V TL 50/60Hz S6-EH1P3K-L Desde 2022

Núm. de entradas MPPT: 2

Voltaje de funcionamiento: 90-520 V Potencia del inversor utilizada: 3.0 kWca

Voltaje máximo de entrada: 550 V inductor con 2 MPPT

☐ Reparto de PNom en el inversor

☒ Entradas MPPT independientes

No hay reparto de potencia entre MPPTs

Diseño del conjunto

Núm. de módulos y cadenas

Mód. en serie: 3 entre 3 y 10

Núm. cadenas: 2 única posibilidad 2

Pérdida sobrecarga: 0.0 %

Proporción Pnom: 1.09

Dimensionamiento

Núm. de módulos: 6 Área: 15 m²

Condiciones de operación

Vmpp (60°C)	108 V
Vmpp (20°C)	126 V
Voc (-10°C)	165 V

Irradia. plano: 1000W/m²

Imp (STC): 26.4 A

Isc (STC): 27.9 A

Isc (en STC): 27.9 A

Potencia de funcionamiento máx. (en 1000 W/m² y 50°C): 3.0 kW

Potencia nom. conjunto (STC): 3.3 kWp

Resumen sistema global

Núm. de módulos	6
Área del módulo	15 m²
Núm. de inversores	1
Potencia FV nominal	3.3 kWp
Potencia de CA nominal	3.0 kWCA
Proporción Pnom	1.090

Resumen del sistema Diagrama unifilar

Cancelar OK

ANEXO C: Simulación software PV Syst proyecto fotovoltaico vivienda – Hacienda Miguel Alfredo

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Ubicación

Nombre del sitio: Obtener de coordenadas

País: Región: Mostrar mapa

Coordenadas geográficas

Recorridos solares

Decimal Grad. Min. Seg.

Latitud: [°] (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud: [°] (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud: M por encima del nivel del mar

Zona horaria: Corresponde a una diferencia promedio

Hora Legal - Hora Solar = 0h 21m ?

Obtener del nombre

Importación de datos meteo

☒ Meteornorm 8.2 ?

☐ NASA-SSE

☐ PVGIS TMY Versión:

☐ NREL / NSRDB TMY

☐ Solcast TMY

☐ SolarAnywhere® TGY

☐ Solargis TMY

Importar

Importar Exportar línea Exportar tabla Nuevo sitio Imprimir Cancelar OK

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Datos meteo mensuales | Mapa interactivo

Sitio: **Hacienda Miguel Alfredo (Ecuador)**

Fuente de datos:

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	4.94	2.36	26.4	1.40	4.274	71.5
Febrero	4.82	2.88	26.2	1.10	4.087	76.7
Marzo	5.30	2.96	26.8	1.19	4.455	74.6
Abril	5.56	2.47	26.5	1.30	4.624	74.8
Mayo	4.92	2.33	26.2	1.60	4.678	72.5
Junio	4.32	2.47	24.6	2.09	4.502	74.1
Julio	4.02	2.47	24.2	2.39	4.338	72.2
Agosto	4.07	2.45	23.8	2.80	4.541	71.8
Septiembre	4.35	2.54	23.8	2.90	5.077	71.3
Octubre	4.04	2.31	24.2	2.79	4.729	70.4
Noviembre	4.17	2.43	24.4	2.70	4.839	69.7
Diciembre	4.85	2.66	26.2	2.29	5.028	65.0
Año	4.61	2.53	25.3	2.0	4.598	72.1

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%

Datos requeridos

☒ Irradiación horizontal global

☒ Temperatura ext. promedio

Datos adicionales

☒ Irradiación difusa horizontal

☒ Velocidad del viento

☒ Turbidez Linke

☒ Humedad relativa

Unidades de irradiación

☒ kWh/m²/día

☐ kWh/m²/mes

☐ MJ/m²/día

☐ MJ/m²/mes

☐ W/m²

☐ Índice de claridad Kt

Importar Exportar línea Exportar tabla Nuevo sitio Imprimir Cancelar OK

Proyecto: New.PRJ

Proyecto Sitio Variante Notas del usuario

Proyecto

Nuevo Carga Guardar Importar Exportar Configuración del proyecto Eliminar Cliente

Nombre del proyecto: Proyecto Fotovoltaico Agronomía Vivienda Nombre del cliente: No definido

Archivo del sitio: Hacienda Miguel Alfredo_MN82.SIT Meteoronorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% Ecuador

Archivo de datos meteo: Hacienda Miguel Alfredo Vivienda_MN82_SYN.MET Meteoronorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% Sintético 0 k

Archivo de datos meteo seleccionado: "Hacienda Miguel Alfredo Vivienda_MN82_SYN.MET". Por favor guarde el proyecto.

Variante

Nuevo Guardar Importar Eliminar Administrar

Variante n°: VC0 : Nueva variante de simulación

Parámetros principales

- ☒ Orientación
- ☒ Sistema
- ☒ Pérdidas detalladas
- ☒ Autoconsumo
- ☒ Almacenamiento

Opcional

- ☒ Horizonte
- ☒ Sombreados cercanos
- ☒ Diseño de módulo
- ☒ Gestión de la energía
- ☒ Evaluación económica

Simulación

Ejecutar simulación

Simulación avanzada

Informe

Resultados detallados

Resumen de resultados

Tipo de sistema: Sin escena 3D definida, sin sombras

Producción del sistema	0.00 kWh/año
Producción específica	0.00 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.00
Producción normalizada	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema	0.00 kWh/kWp/día

Resumen del sistema Salida

Definición del sistema de red, Variante VC0: "Nueva variante de simulación"

Lista de subconjuntos

Nuevo Añadir Eliminar

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
Jinkosolar - JK04-545M-72HL4-B...	4	1
Sols - S6-GR IP4.6K	1	1

Subconjunto: Generador FV

Añadir Eliminar

Seleccione la orientación

Orientación: Fijo, Incl. 12.2°, Azim. 0.0°

Ayuda de pre-dimensionamiento

Sin dimensionamiento

Potencia planeada: 4.1 kWp

o área disponible: 21 m²

Seleccione el módulo FV

Disponible ahora: Filtro: Todos los módulos F

Jinkosolar: 545 Wp 35V Si-mono JK04-545M-72HL4-BDVP Desde 2021 Datasheets 2021

Módulo bifacial Sistema bifacial

Usar optimizador

Dimensiona. voltaje: Vmpp (60°C) 35.9 V

Voc (-10°C) 54.9 V

Seleccione el inversor

Disponible ahora: Voltaje de salida 230 V Mono 50Hz

Sols: 4.6 kW 90 - 520 V TL 50/60Hz S6-GR IP4.6K Desde 2021

Núm. de entradas MPPT: 1

Voltaje de funcionamiento: 90-520 V Potencia del inversor utilizada: 2.3 kWca

Voltaje máximo de entrada: 600 V Inversor con 2 MPPT

Reparación de PNom en el inversor

Entradas MPPT independientes

Diseño del conjunto

Núm. de módulos y cadenas

Mód. en serie: 4 entre 3 y 10

Núm. cadenas: 1

Pérdida sobrecarga: 0.0 %

Proporción Pnom: 0.95

Dimensionamiento

Núm. de módulos: 4 Área: 10 m²

Condiciones de operación

Vmpp (60°C)	144 V
Vmpp (20°C)	168 V
Voc (-10°C)	220 V

Irradia. plano: 1000 W/m²

Impo (STC): 13.2 A

Isc (STC): 14.0 A

Isc (en STC): 14.0 A

La potencia del inversor está ligeramente sobredimensionada.

Potencia de funcionamiento máx. (en 1000 W/m² y 50°C): 2.0 kW

Potencia nom. conjunto (STC): 2.2 kWp

Resumen sistema global

Núm. de módulos	4
Área del módulo	10 m²
Núm. de inversores	0.5
Potencia FV nominal	2.2 kWp
Potencia de CA nominal	2.3 kWCA
Proporción Pnom	0.948

Resumen del sistema Diagrama unifilar

Cancelar OK

122



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

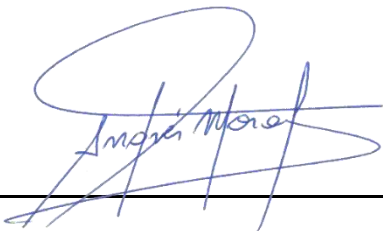
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **David Andrés Mora Bocca**, con C.C: # **0921972212** autor del trabajo de titulación: **Diseño de una solución energética sostenible basada en energía solar para granjas de crianza y reproducción porcina y avícola de la empresa Agripornam S.A.S** previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **27 de agosto de 2025**

f. 

Nombre: **David Andrés Mora Bocca**

C.C: **0921972212**



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Diseño de una solución energética sostenible basada en energía solar para granjas de crianza y reproducción porcina y avícola de la empresa Agripornam S.A.S		
AUTOR(ES)	David Andrés Mora Bocca		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Daniel Bohorquez Heras, MSc. Ricardo Ubilla Gonzalez / MSc. Gustavo Mazzini Muñoz		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Magíster en Electricidad		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	27 de agosto de 2025	No. DE PÁGINAS:	122
ÁREAS TEMÁTICAS:	Desarrollo Agropecuario, Eficiencia Energética, Electrificación Rural, Sostenibilidad y Medio Ambiente		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Energía solar fotovoltaica, Granjas porcinas y avícolas, Sistemas híbridos, Autoconsumo energético, Sostenibilidad rural		
RESUMEN/ABSTRACT: La presente tesis desarrolla una propuesta de solución energética sostenible mediante un sistema fotovoltaico híbrido para la Hacienda Miguel Alfredo, perteneciente a la empresa Agripornam S.A.S., ubicada en la comuna Limoncito, cantón Chanduy, provincia de Santa Elena. La finalidad, el abastecimiento eficiente de energía eléctrica a los tres subsistemas propuestos en el desarrollo: nave de crianza de cerdos, nave de crianza de aves y la vivienda existente, disminuyendo la utilización de la red pública. Se ejecutó un diagnóstico técnico identificando la demanda energética, siendo esta de 1.333,20 kWh/mes, equivalente a 15.998,04 kWh/año. Con dicha información, se procedió con el diseño de un sistema que contiene un total de 23 paneles solares monocristalinos de 550 Wp, obteniendo una potencia instalada total de 13,15 kWp. El sistema operará con una eficiencia del 82 % y se proyecta una generación mensual de 1.400,70 kWh, lo cual supera ligeramente la demanda e incorpora un margen para estacionalidades, recarga de baterías y eventuales inyecciones a red. El sistema incluye inversores híbridos y un banco de baterías de respaldo de 34,56 kWh nominales, dimensionado para garantizar cuatro horas de operación de cargas críticas en cada subsistema. El análisis económico presentó un Valor Presente Neto (VAN) de USD 5.471,10 y un Valor Presente Ajustado por Riesgo (VPAR) de USD 5.070,00 considerando los peores escenarios posibles como fallas en la operación, aumento de costos de mantenimiento o cambios en las normas vigentes y sus pliegos tarifarios. Por tanto, se concluye que el sistema propuesto es técnica y económicamente factible, y es sin duda una alternativa sostenible con beneficios ambientales, sociales y técnicos dentro del entorno rural ecuatoriano.			
ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-995976491	E-mail: david.mora@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ph.D. Celso Bayardo Bohórquez Escobar		
	Teléfono: +593-995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			