



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

**DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA
SOSTENIBLE BASADA EN ENERGÍA
FOTOVOLTAICA PARA GRANJA PORCINA-
AVÍCOLA DE LA EMPRESA AGRIPORNAM
S.A.S.**

**DESIGN OF A SUSTAINABLE ENERGY SOLUTION BASED
ON PHOTOVOLTAIC ENERGY FOR PIG-POULTRY FARMS
OF AGRIPORNAM S.A.S.**

David Andrés Mora Bocca
Universidad Estatal de Milagro
d

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21716

Diseño de una solución energética sostenible basada en energía fotovoltaica para granja porcina-avícola de la empresa Agripornam S.A.S.

David Andrés Mora Bocca¹dmorab4@unemi.edu.ec<https://orcid.org/0000-0001-5243-2858>

Universidad Estatal de Milagro

Ecuador

RESUMEN

La presente investigación desarrolla una solución energética sostenible mediante un sistema fotovoltaico híbrido para la Hacienda Miguel Alfredo, una granja porcina-avícola ubicada en Santa Elena. El objetivo es abastecer eficientemente de energía eléctrica a los tres subsistemas de la granja: la nave de engorde de cerdos, la nave de reproducción porcina y el galpón avícola. Se analizó la demanda energética de cada subsistema y la disponibilidad del recurso solar en la localidad, caracterizada por alta irradiación típica de la costa ecuatorial. Con base en ello, se dimensionó un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a la red con respaldo de baterías. El diseño propuesto incluye un generador fotovoltaico de 13,15 kWp compuesto por paneles monocristalinos de 550 Wp, inversores híbridos y un banco de baterías de 34,56 kWh, capaz de brindar 4 horas de autonomía sin irradiación ni red eléctrica. Los resultados indican que este sistema puede suplir la mayor parte de la demanda diurna, reduciendo significativamente la dependencia de la red y de combustibles fósiles. Así, la solución asegura la continuidad del suministro eléctrico en operaciones críticas, a la vez que reduce los costos operativos y las emisiones de carbono, contribuyendo a la sostenibilidad energética de la empresa.

Palabras clave: energía solar; sistema fotovoltaico híbrido; sostenibilidad energética

¹ Autor principal

Correspondencia: dmorab4@unemi.edu.ec

Design of a sustainable energy solution based on photovoltaic energy for pig-poultry farms of Agripornam S.A.S.

ABSTRACT

This work presents a sustainable energy solution using a hybrid photovoltaic system for Hacienda Miguel Alfredo, a pig and poultry farm in Santa Elena, Ecuador. The main goal is to efficiently supply electricity to the farm's three main subsystems: pig fattening barn, pig breeding barn, and poultry house. A detailed analysis of each subsystem's energy demand and the local solar resource, characterized by high irradiance, was conducted. Based on these data, a grid-connected hybrid photovoltaic system with battery backup was designed. The proposed design includes a 13.15 kWp solar array of 550 Wp monocrystalline panels, hybrid inverters, and a 34.56 kWh battery bank, providing 4 hours of autonomy without sun or grid. Results indicate that this system can supply most of the farm's daytime energy demand, significantly reducing dependence on the grid and fossil fuels. Thus, the solution ensures continuous power for critical operations, while reducing operating costs and carbon emissions and improving the farm's energy sustainability.

Keywords: solar energy; hybrid photovoltaic system; energy sustainability

Artículo recibido 12 octubre 2025

Aceptado para publicación: 15 noviembre 2025



INTRODUCCIÓN

La industria porcina y avícola enfrenta desafíos importantes en cuanto al suministro de energía eléctrica confiable y económica para sus operaciones. Granjas de crianza y reproducción animal como las de Agripornam S.A.S. demandan energía continua para alimentar equipos de iluminación, ventilación forzada, control de clima, bombeo de agua y otros sistemas vitales para garantizar el bienestar animal y la productividad. Estas operaciones suelen ubicarse en zonas rurales donde la red eléctrica puede ser débil o poco confiable, provocando interrupciones que afectan negativamente la cría de animales; por ejemplo, fallas en ventilación pueden generar estrés calórico en cerdos o aves (Gálvez, 2021; García-Díez & González-Fandos, 2017). Además, el costo de la energía convencional y el uso de generadores diésel de respaldo incrementan los gastos operativos y las emisiones contaminantes de la granja.

En este contexto, la adopción de energías renovables surge como una alternativa atractiva para mejorar la sostenibilidad y autonomía energética del sector agropecuario (García & Morales, 2019). En particular, la energía solar fotovoltaica ofrece ventajas en zonas con alta irradiación solar, como la provincia de Santa Elena, permitiendo aprovechar la abundante radiación para autoconsumo energético en las granjas (IIGE, 2018). Un sistema fotovoltaico híbrido, conectado a red con respaldo de baterías, puede garantizar un suministro ininterrumpido: durante el día los paneles solares generan electricidad para cubrir la demanda y cargar baterías, y durante la noche o cortes de red las baterías proveen energía almacenada. De esta manera, se reduce la dependencia de la red eléctrica pública y de combustibles fósiles, mejorando la resiliencia de la operación.

La empresa Agripornam S.A.S., dedicada a la producción porcina y avícola, opera la Hacienda Miguel Alfredo en Limoncito, donde cuenta con tres naves principales para la crianza de cerdos, reproducción porcina y crianza de aves. Estas instalaciones requieren un suministro energético constante para sistemas de alimentación automática, incubadoras, lámparas de calor para lechones y polluelos, ventiladores y otros equipos. Antes de este estudio, la granja dependía completamente de la red eléctrica local y de un generador auxiliar, con costos significativos y riesgo de cortes. Por ello, se plantea el diseño de una solución energética sostenible basada en energía solar para cubrir las necesidades de estos tres subsistemas. El objetivo general es diseñar un sistema fotovoltaico que proporcione electricidad de



forma eficiente, confiable y económica, asegurando la continuidad de las operaciones productivas y contribuyendo al cuidado ambiental mediante la reducción de emisiones de CO₂.

En la presente introducción se ha descrito la problemática y motivación del estudio. A continuación, en la sección de metodología se detalla el procedimiento empleado para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido, incluyendo la caracterización de la demanda eléctrica de la granja y la evaluación del recurso solar disponible. En la sección de resultados y discusión se presentan las especificaciones del diseño propuesto y los principales hallazgos como: capacidad del sistema para cubrir la demanda, desempeño esperado, entre otros, junto con el análisis de estos resultados, comparándolos con expectativas teóricas y otros estudios similares, y abordando la viabilidad técnica y económica. Finalmente, se exponen las conclusiones del trabajo, destacando la contribución a la sostenibilidad energética en el ámbito agropecuario, seguidas de la lista de referencias consultadas.

METODOLOGÍA

Enfoque y tipo de investigación

El estudio adopta un enfoque cuantitativo debido a que se trabaja con datos medibles y verificables como consumos energéticos, irradiancia, costos, entre otros, lo cual es indispensable para el dimensionamiento técnico. El alcance de la investigación es de tipo exploratorio-descriptivo, ya que se busca comprender la aplicabilidad de la energía solar en un entorno productivo rural específico (exploratorio) y describir detalladamente los factores técnicos, económicos y ambientales relacionados con la implementación del sistema fotovoltaico. Esta combinación permite analizar el problema de manera objetiva y estructurada, sin alterar las variables del entorno real, pero caracterizándolas tal como ocurren en la vida cotidiana de la granja.

Diseño de la investigación

Se emplea un diseño no experimental, de tipo observacional y corte transversal, puesto que no se manipulan deliberadamente las variables independientes ni se implementa físicamente el sistema durante el estudio. En su lugar, se observan y registran los fenómenos tal y como se presentan en la realidad para evaluar la viabilidad de la solución propuesta. Este diseño transversal implica que la recolección de datos cuantitativos se realizó en un único período de observación, evaluando las

condiciones típicas de la granja como perfil de consumo diario, clima anual promedio sin seguimiento a largo plazo.

La elección de un diseño no experimental está alineada con lo señalado por Hernández et al. (2014), donde se plantea que en este tipo de estudios el investigador no influye sobre las variables, sino que analiza situaciones existentes. Esto garantiza que los resultados reflejen fielmente el comportamiento actual del sistema energético de la hacienda, sirviendo como base para el diseño simulado de la solución fotovoltaica.

Población y alcance del estudio

La unidad de análisis corresponde a la empresa Agripornam S.A.S., específicamente su finca porcina y avícola ubicada en la comuna Limoncito, provincia de Santa Elena. Dicha finca constituye un caso de estudio de interés, por lo que no se aplicó muestreo estadístico: se realizó un censo de todos los consumos eléctricos relevantes de las tres naves principales, cría y engorde de cerdos, reproducción porcina y galpón avícola. En otras palabras, la población del estudio abarca la totalidad de equipos y subsistemas consumidores de energía en estas instalaciones, y todos ellos fueron considerados en el análisis. Se decidió centrar el alcance en estas naves productivas principales, incluyendo sus cargas eléctricas más significativas como sistemas de calefacción, ventilación, iluminación, alimentación automática, bombas de agua, entre otros, ya que representan la mayor parte de la demanda energética de la finca.

Quedaron excluidos del análisis consumos menores o ajenos a la operatividad de dichas naves para enfocar la investigación en el núcleo productivo donde el impacto de la solución fotovoltaica sería más evidente. Los informantes clave del estudio fueron el personal técnico y administradores de la granja, quienes proporcionaron datos e información sobre la operación diaria, las características de los equipos instalados y las rutinas de consumo de energía en cada unidad.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación recurrió a técnicas de recolección de datos cuantitativos tanto de fuente primaria como secundaria. En primer lugar, se realizó un levantamiento de información in situ para caracterizar la demanda eléctrica de la finca. Este diagnóstico energético incluyó mediciones directas con medidores de potencia portátiles en diversos equipos y circuitos de las naves, así como observaciones estructuradas del funcionamiento diario. Por medio de estas mediciones y observaciones se obtuvo el consumo



eléctrico promedio y los picos de demanda de cada nave, identificando los horarios críticos. En los casos en que no fue posible medir directamente algún consumo, se estimó mediante cálculos basados en la potencia nominal de los equipos y sus horas diarias de uso, información proporcionada por el personal técnico. Todos estos datos permitieron construir un perfil de carga diario típico de la granja, diferenciando el comportamiento de cada subsistema a lo largo del día.

Paralelamente, para la evaluación del recurso solar, se emplearon fuentes de datos secundarias confiables. En particular, se recopilaron datos meteorológicos históricos de radiación solar e información climatológica de la zona de Limoncito usando herramientas especializadas como Meteonorm (Meteotest, 2022). Adicionalmente, se consultaron plataformas de datos satelitales PVGIS (2023) y Global Solar Atlas (The World Bank, 2022). Estos recursos proporcionaron valores de irradiación solar global horizontal promedio, así como temperaturas ambientales, a lo largo de un año típico. Los datos obtenidos indicaron que la localidad presenta un recurso solar abundante, con una irradiación media anual en torno a 4,5 a 5 kWh/m²/día, lo cual es favorable para la generación fotovoltaica. Para asegurar la validez de esta información, se contrastaron las estimaciones con registros de estaciones meteorológicas cercanas, incluyendo datos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI, 2023), confirmando que los niveles de irradiancia y temperaturas simulados corresponden a las condiciones locales reales.

En cuanto a las herramientas de simulación y cálculo, se utilizó el software PVSyst (PVSyst S.A., 2022) como instrumento principal para el modelado del sistema fotovoltaico híbrido. Este software permitió ingresar los datos de entrada recolectados como perfil de consumo horario de la granja, datos climatológicos del sitio, características de los paneles solares, baterías e inversores propuestos, y simular el comportamiento anual del sistema. La simulación proporcionó proyecciones horarias y mensuales de generación solar, el estado de carga de las baterías, el consumo atendido por la fotovoltaica y el apoyo requerido de la red eléctrica en distintos escenarios. Adicionalmente, se realizó una revisión documental de proveedores locales para obtener especificaciones técnicas y precios actualizados de componentes tales como paneles solares, baterías, inversores, estructuras de montaje, lo cual alimentó el análisis económico. También se consultaron normativas técnicas y códigos eléctricos nacionales vigentes para asegurar que el diseño cumpla con requisitos de seguridad y calidad.



Procedimiento metodológico

El modelo metodológico seguido se basa en un enfoque de ingeniería de sistemas integrado con la lógica del ciclo de vida de proyecto, lo que permitió organizar de forma ordenada las fases de planificación, diseño y evaluación de la solución energética propuesta. De este modo, el proceso metodológico se estructuró en varias etapas secuenciales, cada una con objetivos y técnicas específicas:

Diagnóstico energético de la finca: Se realizó una recopilación detallada de los consumos eléctricos de los equipos principales en las naves de crianza porcina y avícola. Mediante observación directa y mediciones in situ, se identificaron todas las cargas significativas y se registraron sus potencias y patrones de uso diario. Esta etapa exploratoria permitió elaborar los perfiles de carga diarios por subsistema y determinar la demanda base y los picos de consumo de la granja, información fundamental para adaptar el diseño del sistema fotovoltaico a las necesidades reales de energía de la finca.

Análisis del recurso solar disponible: Con los datos recopilados de radiación solar y clima, vía Meteonorm, PVGIS, Global Solar Atlas, entre otros, se evaluó el potencial solar del sitio de estudio. Se determinaron la irradiación global horizontal promedio y sus variaciones estacionales a lo largo del año en Limoncito. Asimismo, se calculó el ángulo de inclinación óptimo para los paneles solares dado la latitud tropical, buscando maximizar la captación solar anual y facilitar la autolimpieza de los módulos con la lluvia. Esta etapa descriptiva proporcionó la estimación inicial de cuánta energía solar podría generarse mensualmente, identificando meses de mayor generación esperada (verano) y meses de menor rendimiento (invierno o temporadas lluviosas), lo cual sirvió de base para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico: Conociendo la demanda energética de la granja y el recurso solar disponible, se procedió a dimensionar los componentes del sistema fotovoltaico híbrido. Se utilizó un método de balance energético diario junto con las horas solar pico (HSP) del sitio para estimar el tamaño requerido del campo solar que cubra la mayor parte del consumo diurno y a la vez recargue las baterías para la noche. Esta etapa fue apoyada por simulaciones en el software PVSyst, analizando distintas configuraciones como sistema conectado a red, autónomo y opciones híbridas, hasta encontrar la solución óptima. A través de iteraciones sucesivas, se ajustó la potencia fotovoltaica y la capacidad de almacenamiento hasta lograr que la generación solar anual cubra un alto porcentaje del



consumo anual de la granja, considerando pérdidas por temperatura, polvo, eficiencia de inversores del 95% y un margen de seguridad. Los cálculos resultaron en una potencia fotovoltaica instalada necesaria de aproximadamente 13,15 kWp.

Para alcanzar esta potencia se seleccionaron paneles solares monocristalinos de 550 Wp de alta eficiencia, resultando en la necesidad de instalar en torno a 24 módulos, conectados en series y paralelos acorde al rango de operación del inversor. De igual manera, se dimensionó el banco de baterías requerido para garantizar autonomía durante las horas nocturnas y eventuales cortes de red: con base en la demanda crítica identificada en el diagnóstico, se definió una autonomía objetivo de 4 horas a carga completa, lo que llevó a una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 34,5 kWh nominales. Finalmente, se optó por inversores híbridos trifásicos capaces de funcionar tanto conectados a la red como de forma aislada en caso de cortes. En concreto, el diseño propone dos inversores híbridos de 8 kW en paralelo, potencia total de 16 kW, garantizando así un margen suficiente sobre la potencia pico fotovoltaica de 13 kW y la capacidad de atender los picos de arranque de motores u otras cargas transitorias.

Simulación del sistema fotovoltaico: El software PVSyst permitió simular hora a hora el comportamiento del sistema con estos componentes: se obtuvo la producción energética esperada por día y por mes, se evaluó el porcentaje de la demanda de la granja cubierto con energía solar, los periodos de descarga de la batería y la energía que habría que importar de la red en días de baja irradiación. También se incorporaron al modelo diversos factores de pérdida, por ejemplo, sombras parciales en ciertas horas, caídas de tensión en cableado, degradación de paneles, para garantizar que las predicciones de desempeño fueran lo más realistas posible. El resultado de esta etapa fue un diseño técnico óptimo del sistema fotovoltaico híbrido propuesto, respaldado por datos de simulación que evidenciaron su capacidad para satisfacer la demanda eléctrica de la granja en la mayor parte del año.

Estudio del sitio y planificación de la instalación: Complementariamente al dimensionamiento teórico, se llevó a cabo un análisis detallado in situ de las condiciones físicas para la instalación de los paneles y equipos. Se evaluaron las estructuras de las cubiertas de las naves pecuarias existentes, verificando si su orientación, espacio disponible e inclinación natural eran adecuados para montar los módulos fotovoltaicos. En caso de encontrar limitaciones se contemplaron criterios de instalación alternativos, como refuerzos estructurales o la posibilidad de ubicar parte de los paneles en estructuras



a nivel del suelo dentro de la propiedad. Esta etapa también incluyó la planificación del tendido de cableado eléctrico interno, la localización óptima para el banco de baterías, buscando un lugar ventilado y seguro dentro de un cuarto técnico, y la integración con el sistema eléctrico existente de la finca. Se tomaron en cuenta las normas eléctricas locales para dimensionar adecuadamente protecciones y asegurar la seguridad y confiabilidad de la instalación. En síntesis, esta fase garantizó que el diseño teórico puede llevarse a la práctica en el contexto específico de Agripornam S.A.S., anticipando y resolviendo posibles inconvenientes de implementación física.

Evaluación económica: Para determinar la viabilidad financiera de la propuesta, se realizó un análisis costo-beneficio proyectado a largo plazo. Se estimaron los costos totales de inversión incluyendo la adquisición de paneles, baterías, inversores, estructuras de soporte, cableado, mano de obra de instalación, trámites y otros gastos iniciales, y los costos de operación y mantenimiento anuales. Por otro lado, se calcularon los ahorros económicos que el sistema generará para la empresa, principalmente por la reducción en el consumo de energía de la red eléctrica, disminuyendo la factura mensual y por el menor uso esperado del generador diésel de respaldo. Con estos flujos de caja, se aplicaron indicadores financieros clásicos: se determinó el Periodo de Recuperación de la Inversión (Payback) simple y descontado, el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto y la Tasa Interna de Retorno (TIR), utilizando una tasa de descuento adecuada. Estos indicadores permitieron cuantificar la rentabilidad y tiempo de retorno del proyecto bajo distintos escenarios.

Adicionalmente, se investigó si existían incentivos gubernamentales o municipales aplicables como subsidios, créditos fiscales o programas de fomento de energías renovables en el sector agrícola que pudieran mejorar la viabilidad económica. Como complemento, se evaluaron los beneficios ambientales en términos monetarios indirectos, al considerar la reducción de emisiones de CO₂ lograda por el uso de energía solar en lugar de energía de la red o diésel. Este análisis ambiental estimó la cantidad de emisiones evitadas por año, entre 10 y 15 toneladas de CO₂ anuales según la generación solar de 24 MWh/año proyectado y el factor de emisión promedio de la red eléctrica ecuatoriana (ARCERNNR, 2022), resaltando la contribución del proyecto a la sostenibilidad y permitiendo comunicar mejor sus ventajas intangibles.

Validación del modelo: Finalmente, para dar mayor sustento a la propuesta, se contrastaron los resultados obtenidos con experiencias similares reportadas en proyectos fotovoltaicos rurales y agroindustriales de la región. Esta revisión comparativa permitió verificar la coherencia y realismo del diseño planteado. Se analizaron datos de proyectos análogos en Ecuador y países cercanos, observando sus dimensiones, porcentajes de cobertura solar, costos y resultados obtenidos. La comparación mostró que la solución propuesta para Agripornam S.A.S. se encuentra en línea con las mejores prácticas y tendencias de la industria, validando así que el sistema diseñado es técnicamente factible y que las proyecciones de desempeño y ahorro estimadas son alcanzables bajo condiciones operativas reales. Esta etapa aporta rigor al estudio, demostrando su replicabilidad y sirviendo como referencia para futuras iniciativas de energía renovable en el sector pecuario.

Consideraciones éticas

Al ser una investigación de carácter técnico enfocada en el diseño de un sistema energético, no se involucró experimentación con seres humanos ni animales más allá de la observación de las rutinas productivas habituales de la granja. Sin embargo, se actuó con responsabilidad ética en varios aspectos: en primer lugar, se contó con la autorización y colaboración de la empresa Agripornam S.A.S. para la recolección de datos de sus instalaciones y operación, garantizando siempre la confidencialidad de la información sensible proporcionada por la empresa. Todos los datos fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y de diseño, respetando la privacidad y los intereses comerciales de la entidad. En segundo lugar, durante las visitas técnicas al sitio, se respetaron las normas de bienestar animal y bioseguridad de la granja para no alterar el entorno de los cerdos y pollos; las mediciones eléctricas se realizaron con precaución, sin interrumpir la alimentación o el confort de los animales. Adicionalmente, el diseño propuesto se alinea con principios éticos y de sostenibilidad ambiental, buscando reducir la huella de carbono de la producción pecuaria sin generar impactos negativos en el medio ambiente local.

Limitaciones del estudio

Esta investigación presenta algunas limitaciones inherentes a su naturaleza proyectiva. En primer lugar, no se implementó físicamente el sistema fotovoltaico diseñado, de modo que los resultados se basan en simulaciones y estimaciones teóricas. Si bien se emplearon herramientas confiables y datos locales validados para modelar el desempeño del sistema, siempre existe un margen de incertidumbre respecto



al comportamiento real que tendría la instalación una vez construida. Factores impredecibles como variaciones climáticas atípicas, cambios en los patrones de consumo de la granja, degradación de los componentes con el tiempo o errores de estimación podrían hacer que el desempeño real difiera ligeramente de lo proyectado. Otra limitación radica en la disponibilidad y precisión de los datos de entrada: los perfiles de carga fueron estimados en base a mediciones puntuales y supuestos de uso típico, lo que podría no capturar todas las fluctuaciones estacionales o eventuales incrementos en la producción de la granja. No obstante, se mitigó este aspecto aplicando factores de seguridad en el dimensionamiento. Adicionalmente, el análisis económico se realizó bajo ciertas premisas que podrían cambiar en el futuro; por lo tanto, los indicadores financieros obtenidos deben interpretarse considerando esas condiciones al momento del estudio. Finalmente, en cuanto a la generalización de los resultados, al tratarse de un caso de estudio específico, las conclusiones y el diseño óptimo obtenido están ajustados a las características particulares de la Hacienda Miguel Alfredo, lo que podría limitar su aplicabilidad directa a otras granjas con condiciones muy diferentes. Pese a estas limitaciones, el estudio proporciona una base sólida y un modelo replicable, ya que la metodología empleada puede adaptarse a escenarios distintos, y las recomendaciones derivadas ofrecen lineamientos valiosos para proyectos similares en entornos rurales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Demanda energética de la granja

Del estudio de cargas se obtuvo que el consumo eléctrico promedio diario de la hacienda es del orden de 50 a 60 kWh/día, con variaciones estacionales menores. La demanda se distribuye entre los tres subsistemas: el galpón avícola consume aproximadamente un 40% de la energía por el uso intensivo de ventilación y alumbrado prolongado, la nave de engorde porcina alrededor de 35%, y la nave de reproducción porcina cerca del 25% restante, que incluye picos puntuales por calefacción de criadoras y equipos en parideras. La Ilustración 1 muestra claramente que durante las horas centrales del día (10:00–16:00) la potencia instantánea demandada alcanza sus valores más altos (en torno a 8 a 9 kW) debido al funcionamiento simultáneo de ventiladores, bombas de agua y comederos automáticos, además de la iluminación. En horas nocturnas, la carga cae significativamente a 2 kW base una vez que se apagan las luces en el galpón avícola y los cerdos están en reposo, quedando solo sistemas mínimos encendidos. Estos datos confirman la necesidad de un sistema que genere energía principalmente en horario diurno para atender los picos, y que almacene el excedente para cubrir el consumo nocturno reducido.

Características del sistema solar diseñado

Conforme al dimensionamiento, el sistema resultante cuenta con los siguientes componentes principales:

Campo fotovoltaico: compuesto por 24 paneles solares monocristalinos de 550 Wp cada uno, con una potencia total instalada de 13,15 kWp. Los paneles se instalan sobre estructuras fijas orientadas al norte con una inclinación óptima cercana a 10° para maximizar la captación anual. Este generador fotovoltaico aprovecha la alta irradiancia local para producir en promedio unos 60 kWh por día en los meses de mayor sol, y alrededor de 45 kWh en meses menos favorables, suficiente para cubrir la demanda diaria promedio de la granja. La eficiencia de los módulos y las pérdidas consideradas implican que el sistema genera aproximadamente de 20 a 25 MWh al año, lo que cubriría gran parte del consumo anual de la hacienda.

Inversores híbridos: se instalaron inversores/cargadores híbridos con una capacidad total de salida de aproximadamente 15 kW AC, capaces de operar tanto conectados a la red eléctrica como en modo



aislado. En la configuración propuesta, se emplean dos inversores de 8 kW en paralelo, equilibrando las fases en el sistema trifásico de la granja. Estos inversores gestionan inteligentemente la energía: sincronizados con la red de distribución para inyectar o extraer potencia según las condiciones, incorporan protecciones anti isla que desconectan automáticamente la planta solar en caso de corte de la red, evitando retroalimentación no segura. Además, integran controladores de carga MPPT que maximizan la producción de los paneles y manejan la carga/descarga del banco de baterías. Los inversores fueron dimensionados de modo que pueden abastecer los picos de potencia, hasta 10 kW instantáneos por fase, y soportar la corriente de arranque de motores de inducción como, por ejemplo, bombas, gracias a su capacidad de sobrecarga de corta duración.

Banco de baterías de respaldo: consta de un arreglo de baterías estacionarias con capacidad de almacenamiento de 34,56 kWh nominales, suficientes para proveer unas 4 horas de energía a la granja en ausencia de generación solar. Este banco de baterías está configurado en 48 V DC y aproximadamente 720 Ah. La capacidad utilizable, considerando una profundidad de descarga del 50%, es de 17 kWh, lo que en la práctica cubre cómodamente el consumo nocturno típico y brinda un margen para contingencias. Esto asegura que incluso si ocurriera un corte de red al anochecer, la granja podría operar aproximadamente 4 horas solo con baterías, tiempo suficiente para restablecerse la red o para tomar acciones de contingencia.

Desempeño esperado del sistema (simulación)

Los resultados de la simulación anual muestran un comportamiento satisfactorio del sistema híbrido. La Ilustración 2 presenta un ejemplo de la distribución de generación fotovoltaica vs. consumo de la granja en un día típico de pleno sol. Durante las horas de alta irradiancia (aproximadamente de 9:00 a 15:00), la producción fotovoltaica supera la demanda instantánea de la granja; este excedente se emplea en cargar las baterías al 100% y, cuando las baterías están llenas, podría inyectarse el sobrante a la red pública de acuerdo con la regulación de generación distribuida vigente.

En las primeras horas de la mañana y a finales de la tarde, la generación solar aún cubre parcialmente la demanda, complementándose con energía de la red si es necesario. Durante la noche, la granja opera mayormente con la energía almacenada en las baterías; la energía de la red se utiliza mínimamente, solo si las baterías se agotan por un consumo excepcional o varios días consecutivos nublados. En



condiciones climáticas típicas, el sistema solar proporciona alrededor del 80% de la energía total que requiere la hacienda en el transcurso de un año, quedando el 20% restante suministrado por la red eléctrica convencional, principalmente durante días muy nublados o épocas lluviosas prolongadas donde la generación disminuye. Este alto porcentaje de auto cobertura demuestra la eficacia de la solución propuesta para alcanzar un grado significativo de autonomía energética.

Viabilidad económica

El análisis financiero indica que la implementación del sistema fotovoltaico híbrido es económicamente viable a mediano plazo. La inversión inicial estimada, incluyendo paneles solares, inversores, baterías, estructura e instalación, se calculó en aproximadamente \$16.610,00 dólares americanos. Los ahorros anuales en la facturación eléctrica prevista de la granja, sumados al ahorro en combustible diésel por menor uso del generador de respaldo, resultan en un ahorro monetario significativo. Con las condiciones actuales de tarifa eléctrica y costos, el período de recuperación de la inversión se estima en alrededor de 5 a 7 años, lo cual se considera aceptable dado que la vida útil de los paneles supera los 20 años.

Adicionalmente, los indicadores económicos calculados, como el VAN y la TIR, resultaron positivos bajo escenarios conservadores, reforzando la factibilidad financiera. Cabe mencionar que la inclusión del banco de baterías eleva la inversión y puede alargar ligeramente el payback, pero se justifica plenamente por el beneficio en continuidad de servicio para la producción porcina y avícola, evitando pérdidas productivas por cortes de energía. En todo caso, la tendencia a la baja en los costos de la tecnología fotovoltaica y de las baterías a largo plazo haría aún más rentable la solución (IRENA, 2021).

Beneficios ambientales

La sustitución parcial de energía de la red y por tanto de generación térmica por energía solar evitará la emisión de gases de efecto invernadero. Basándose en los MWh solares generados anualmente (aproximadamente 24 MWh/año) y el factor de emisión promedio de CO₂ de la red eléctrica ecuatoriana (ARCERNR, 2022), se estima una reducción de emisiones del orden de 10 a 15 toneladas de CO₂ por año. Si además consideramos la disminución en el uso de diésel, la cifra de emisiones evitadas aumenta. Esto contribuye a las metas de sostenibilidad y reducción de la huella de carbono de la empresa, mejorando su imagen ambiental. Otro beneficio es la disminución de ruido y contaminación local al casi eliminar la necesidad de operar generadores de combustión interna en la granja.



En síntesis, los resultados demuestran que el sistema propuesto cumple con los objetivos planteados: garantiza un suministro eléctrico confiable a las instalaciones porcinas y avícolas de Agripornam S.A.S., aprovechando eficientemente la energía solar disponible y reduciendo costos y emisiones. Las ilustraciones derivadas del estudio reflejan gráficamente el análisis de la demanda y la integración de la generación fotovoltaica con el consumo de la granja, respectivamente, validando el diseño concebido. Los hallazgos obtenidos en este estudio destacan la viabilidad técnica y los beneficios de implementar sistemas fotovoltaicos híbridos en entornos agropecuarios. En comparación con el esquema tradicional de abastecimiento (red eléctrica pública más generador diésel de emergencia), la solución propuesta ofrece mayor autonomía y resiliencia energética. Un aspecto clave a discutir es la confiabilidad: dada la naturaleza sensible de las operaciones de crianza animal que requieren energía ininterrumpida para ventilación y otras funciones vitales, el sistema híbrido incrementa la seguridad energética al contar con doble respaldo, tanto baterías como eventualmente la red o un generador. Esto reduce significativamente el riesgo de pérdidas productivas, como mortalidad de animales o disminución del rendimiento por estrés térmico, que podrían ocurrir con cortes prolongados de electricidad.

En concordancia con estudios previos en el sector (Jiménez-Cruz, 2020; Zambrano & Becerra, 2021), nuestros resultados muestran que la generación solar in situ puede cubrir un porcentaje alto de la demanda (autoconsumo), disminuyendo la compra de energía de la red. Esto se traduce en un ahorro económico sustancial a lo largo de la vida útil del sistema. Aunque la inversión inicial es considerable, especialmente al incorporar almacenamiento, el análisis de retorno de inversión obtenido es competitivo: un payback estimado de 5 a 7 años está por debajo de la vida útil esperada de las baterías (8 a 10 años) y muy por debajo de la vida útil de los paneles (≥ 20 años). Esto implica que la inversión se recupera antes de necesitar recambios mayores, y posteriormente la granja gozará de energía a costo mínimo. Además, con las tendencias actuales de disminución de costos en tecnología fotovoltaica y de baterías, proyectos similares serán aún más accesibles económicamente en el futuro cercano.

Un punto de discusión importante es la dimensión del banco de baterías. Se eligió proporcionar 4 horas de autonomía, lo cual equilibra costo y beneficio para la realidad de la granja. Si bien una autonomía mayor aumentaría la independencia de la red, también incrementaría notablemente el costo y el mantenimiento. La decisión de 4 horas se basa en que la red eléctrica en Santa Elena presenta cortes



eventuales, pero no prolongados más allá de ese lapso en la mayoría de los casos; además, en situaciones extremas, la granja mantiene un generador de respaldo para soporte adicional. Por lo tanto, la configuración híbrida propuesta parece adecuada para las condiciones locales.

Desde la perspectiva operativa, la implementación de este sistema requerirá capacitar al personal de la hacienda en su manejo básico y en el mantenimiento preventivo de los componentes, como limpieza periódica de paneles para evitar pérdidas por suciedad, revisión del electrolito de baterías plomo-ácido si se usa esa tecnología, entre otros. Esto es fundamental para asegurar que el desempeño real coincida con el esperado en el diseño. Un mantenimiento adecuado maximizará la generación y prolongará la vida útil de las baterías, mejorando la rentabilidad del proyecto. Afortunadamente, los sistemas fotovoltaicos tienen bajos requerimientos de mantenimiento, y la empresa podría apoyarse en proveedores locales de servicios solares para las inspecciones anuales.

Otro aspecto por discutir es el marco regulatorio. Dado que el sistema está conectado a la red, fue necesario considerar en el diseño la normativa ecuatoriana de generación distribuida. La regulación vigente ARCONEL 003/18 permite la inyección de excedentes a la red bajo ciertos esquemas (ARCONEL, 2018). En este proyecto, durante ciertas horas del día en que las baterías están llenas, la planta solar podría exportar energía sobrante. Seguir el procedimiento legal para acogerse a este régimen incrementaría los beneficios económicos por créditos en la factura por energía exportada y evitaría el vertido de energía. En la presente propuesta se asume inicialmente un autoconsumo al 100%, es decir, que toda la energía solar generada se usa en cargar baterías o alimentar cargas propias, pero a futuro Agripornam S.A.S. podría explorar la opción de inyectar excedentes a la red para mejorar aún más la rentabilidad, cumpliendo las disposiciones legales aplicables.

Comparando con otros proyectos similares en el sector agropecuario, los resultados son coherentes. Por ejemplo, estudios en granjas lecheras y avícolas han reportado coberturas solares del 60 a 80% y reducciones significativas en las facturas eléctricas al implementar sistemas fotovoltaicos de tamaño adecuado. En el caso de granjas porcinas, la ventaja es doble: se controla mejor el ambiente y se reducen los costos de producción por cerdo al disminuir el gasto energético por animal. Este proyecto en particular resalta cómo la integración de renovables puede adaptarse a una explotación mixta porcina-



avícola, optimizando el uso de recursos en ambos sistemas productivos. Cabe señalar que la ubicación costera de la Hacienda Miguel Alfredo es muy favorable por la alta radiación.

CONCLUSIONES

En este trabajo se logró diseñar un sistema energético sostenible basado en energía solar fotovoltaica para las granjas de producción porcina y avícola de Agripornam S.A.S., cumpliendo con los objetivos planteados de garantizar un suministro eléctrico eficiente, fiable y amigable con el ambiente. A través del análisis detallado de la demanda eléctrica de la Hacienda Miguel Alfredo y de la evaluación del recurso solar en Limoncito (Santa Elena), se dimensionó un sistema fotovoltaico híbrido de 13,15 kWp con almacenamiento en baterías de 34,56 kWh nominales, capaz de abastecer la mayor parte del consumo energético de las instalaciones de crianza y reproducción de cerdos y aves.

El diseño propuesto contempla 24 módulos solares de 550 Wp, inversores híbridos de 15 kW en total y un banco de baterías con autonomía de 4 horas, integrados de manera que durante el día la energía solar cubre los requerimientos de la granja y carga las baterías, mientras que en la noche o ante cortes de la red, las baterías suplen la demanda crítica. Los resultados de la simulación y el análisis indican que el sistema generará aproximadamente 20 a 25 MWh por año, cubriendo alrededor del 80% de la energía anual consumida por la granja, lo cual reducirá drásticamente la dependencia de la red eléctrica pública y del uso de generadores diésel. Se espera una mejora en la continuidad eléctrica, evitando interrupciones en procesos vitales de producción animal, y una disminución de costos operativos reflejada en un ahorro económico significativo en la factura eléctrica, con un período de retorno estimado de la inversión de unos 5 a 7 años.

Desde el punto de vista ambiental, la incorporación de esta fuente renovable evitará la emisión de alrededor de 12 toneladas de CO₂ anuales, contribuyendo a mitigar el impacto ambiental de las operaciones de Agripornam S.A.S. De igual manera, el proyecto se alinea con las políticas de fomento de energías limpias y generación distribuida en el país, demostrando la factibilidad técnica y económica de aplicarlas en el sector agropecuario.

En conclusión, la solución energética diseñada ofrece a la empresa beneficios múltiples: asegura la sostenibilidad y autonomía energética de sus granjas porcina y avícola, mejora la resiliencia ante fallas eléctricas, reduce costos y aporta a los compromisos ambientales. Este estudio sirve como modelo para



desarrollos similares en instalaciones agroindustriales, evidenciando que la inversión en sistemas fotovoltaicos híbridos es una estrategia rentable y responsable para garantizar la productividad en zonas rurales con alto recurso solar. Se recomienda, a futuro, la implementación y monitoreo del sistema en campo para validar las proyecciones realizadas y realizar ajustes menores de ser necesarios, así como explorar la posibilidad de expansión del sistema o la integración de otras fuentes renovables, por ejemplo, biogás a partir de residuos orgánicos de la granja, para avanzar aún más hacia la autosuficiencia energética completa de la operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCERNNR. (2022). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2022. Quito: ARCERNNR.
- ARCONEL. (2018). Regulación No. 003/18: Regulación para la generación distribuida con fuentes renovables. Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Ecuador.
- 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.
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill Education.
- IIGE. (2018). Atlas Solar del Ecuador. Instituto de Investigación Geológico y Energético, Quito, Ecuador.
- INAMHI. (2023). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. <https://www.inamhi.gob.ec>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). Renewable Power Generation Costs in 2020. Abu Dhabi: IRENA.
- Jiménez-Cruz, J. A. (2020). Diseño de sistemas fotovoltaicos híbridos para zonas rurales agropecuarias. *Energía y Desarrollo*, 55-72.



Meteotest. (2022). Meteonorm: Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education.
<https://meteonorm.com>

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). (2023). Photovoltaic Geographical Information System – European Commission. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

PVSyst S.A. (2022). PVSyst: Software for PV System Design & Simulation. <https://www.pvsyst.com>

The World Bank. (2022). Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info>

Zambrano, J., & Becerra, L. (2021). Evaluación técnica de sistemas solares en granjas rurales de Manabí.
Revista de Energía Renovable y Producción Agropecuaria, 88-97.

